

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKYAZI 'DAKİ JEOTERMAL ENERJİDEN
YARARLANMA VE EKONOMİKLİK ETÜDÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Göksel ATEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA

Şubat 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKYAZI 'DAKİ JEOTERMAL ENERJİDEN
YARALANMA ve EKONOMİKLİK ETÜDÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Göksel ATEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 01.02/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doc. Dr. Ekrem Büyükkaya
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Fethi Halıcı
Üye

Yrd. Doç. Dr. Sefik Ramazanoglu
Üye

TEŞEKKÜR

Tüm dünyada özellikle gelişme çabasındaki ülkelerde enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Bu nedenle ülkeler, alışılmış enerji kaynaklarının yanı sıra yenilerinin bulunup işletilmesi için yoğun araştırmalara yönelmişlerdir. Yeni enerji kaynakları arasında gelenlerden biri de jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji, yerkabuğunun işletilebilir derinliklerinde, olağan dışı bir şekilde birikmiş bulunan ısının meydana getirdiği bir enerji türüdür.

Bu çalışmada coğrafya prensiplerinden yola çıkarak jeotermal enerjinin tanım, bulunuş biçimleri, dünya’da ve Türkiye’deki potansiyeli, yararlanma yöntemleri, çevre ile olan ilişkileri verilmiştir. Akyazı bölgesindeki jeotermal enerjinin elektrik eldesin de, bölgenin ısıtılmasında ve kullanma sıcak suyu eldesin de kullanılması, projelendirilmesi ve etüt edilmesi sağlanmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen Sayın; Doç. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA, Kuzuluk kaplıcaları / AKYAZI ‘da inceleme ve çalışma fırsatı tanıyan genel müdürü Osman ÖZER ve ısı merkezi sorumlusu Mustafa DEMİREL ’e, Doğan jeotermal şirketler gurubu / Ankara müdürü Hüseyin KÖKSAL ’a, Nimka jeotermal / Ankara genel koordinatörü Talip ULUTAŞ ’a, Akyazı da MTA / Ankara ‘nın yapmış olduğu çalışmaları ve raporlarını incelememde yardımcı olan yüksek jeofizik mühendisi Alper KIYAK ’a, ve son olarak Akyazı da bulunan fabrikaların kurulu güç kapasitelerini temin etmemde yardımcı olan ve isimlerinin açıklanmasını istemeyen birçok firma yetkilisine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Jeotermal Enerji.....	4
1.2. Jeotermal Kaynak.....	7
1.3. Jeotermal Sahaların Sınıflandırılması.....	7
1.4. Jeotermal Araştırmalarda Uygulanan SistematiK.....	7
1.5. Jeotermal Aramalarda Kullanılan Jeofizik Yöntemler.....	8
1.5.1. Elektrik ve elektromagnetik yöntemler.....	8
1.5.2. Gravite araştırmaları.....	8
1.5.3. Manyetik araştırmalar.....	9
1.5.4. Sismik yansıma yöntemi.....	10
1.6. Çalışmanın Önemi, Amacı ve Gerekliliği.....	11

BÖLÜM 2.

JEOTERMAL'İN DÜNYA VE TÜRKİYEDEKİ DURUMU.....	17
2.1. Dünya'da Jeotermal Enerji.....	17
2.2. Jeotermal ve Hidrojen.....	19
2.3. Türkiye'de Jeotermal Enerji.....	20

2.3.1. Türkiye’de jeotermal enerji kullanım alanları.....	21
2.3.2. Jeotermal enerji çevresel değerlendirme.....	23
2.3.3. Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli.....	23
2.3.4. Türkiye’de elektrik üretimine uygun sahalar.....	24
2.3.5. Türkiye’de konut ısıtmacılığına uygun sahalar.....	25

BÖLÜM 3.

JEOTERMAL UYGULAMALAR VE ZORLUKLARI.....	26
3.1. Jeotermal Enerjide Yaşanan Sorunlar.....	26
3.1.1. Kabuklaşma sorunları.....	26
3.1.2. Kabuklaşma oluşumu.....	27
3.1.3. Kalsiyum karbonat (CaCO ₃) kabuklaşması.....	28
3.2. Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃) Kabuklaşmasının Önlenmesi	28
3.2.1. Karbondioksit (CO ₂) kısmi basıncının kontrolü.....	28
3.2.2. Akışkan pH’nın düzenlenmesi.....	29
3.2.3. Kabuklaşmayı önleyici kimyasal katkı maddeleri kullanmak.....	29
3.3. Silikti Kabuklaşması.....	30
3.3.1. Silika kabuklaşmasının önlenmesi.....	31
3.4. Kabuklaşmanın Önlenmesi İçin Diğer Yöntemler.....	31
3.5. Jeotermal Uygulamalarda Korozyon Sorunu.....	33
3.5.1. Jeotermal uygulamalarda karşılaşılan korozyon türleri.....	33
3.5.2. Jeotermal akışkanlardaki korozif etkili maddeler.....	34
3.5.3. Katodik koruma.....	37
3.6. Jeotermal Akışkanların Konut Isıtmasında Kullanılması.....	38
3.7. Jeotermal Enerjide Reenjeksiyon Olayı.....	39
3.8. Kondensersiz ve Kondenserli Kuru Buhar Çevrimleri.....	40
3.8.1. Tek ve çift püskürtmeli çevrimler.....	42
3.8.2. İkincil çevrim.....	45
3.8.3. Birleşik püskürtmeli / ikincil çevrim.....	47
3.9. Çevrimlerin Verimleri ve Geliştirilme Potansiyelleri.....	48
3.10. Ekonomik Veriler.....	49

BÖLÜM 4.	
SAKARYA VE KUZULUK JEOTERMAL BÖLGESİ.....	51
4.1. Jeotermal Enerjide Sakarya'nın Konumu.....	51
4.2. Kuzuluk Kaplıcaları.....	52
4.2.1. Kuzuluk sıcak su kaynakları.....	53
4.2.2. Kuzuluk sondaj kuyuları.....	56
BÖLÜM 5.	
AKYAZI İÇİN JEOTERMAL EKONOMİKLİK ETÜDÜ.....	65
5.1. Akyazı'da Jeotermal Genel Bilgi.....	65
5.2. Akyazı'daki Konutların Isı Enerjisi Taleplerinin Belirlenmesi.....	66
5.2.1. Konut için genel veriler.....	66
5.2.2. Binalarda ısı yükü hesabı.....	66
5.2.3. Binalarda sıcak su yükü hesabı.....	69
5.3. Akyazı'daki Fabrikaların Elektrik Enerjisi Tüketim Miktarları.....	70
5.4. Sonuç ve Öneriler.....	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MTA	: Maden Teknik Arama
kwe	: Kilo Watt Elektrik
mwe	: Mega Watt Elektrik
TL	: Türk Lirası
°C	: Santigrad Derece
SP	: Doğal Potansiyel
DES	: Doğru Akım Özdirenc
mwt	: Mega Watt Isı
%	: Yüzde
m ³	: Metreküp
CO ₂	: Karbondioksit
g/kwh	: Gram / Kilo Watt Saat
\$: Dolar
m ²	: Metre kare
vb	: Ve benzeri
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
kwh	: Kilo Watt Saat
mwt	: Mega Watt Isı
m	: Metre
H ₂ O	: Su Buharı
H ₂ S	: Hidrojen Sülfid
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
HCL	: Hidro Klor
pH	: Asidik Değer
A.Ş.	: Anonim Şirket
kcal / h	: Kilo kalori / Saat

kw	: Kilo watt
w	: Watt
+	: Toplama
-	: Çıkarma
x	: Çarpma
=	: Eşittir
s	: Saniye
kw/kg °C	: Kilo Watt / Kilogram Santigrad Derece
mwh	: Mega Watt Saat
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
KDV	: Katma Değer Vergisi
km	: Kilometre
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
P-h	: Basınç Entalpi
K	: Kelvin

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Jeotermal enerji oluşumu.....	5
Şekil 1.2.	Sismik yansıma yöntemi arazi uygulaması.....	11
Şekil 1.3.	Üretilen kwh başına düşen sera gazı emisyonları.....	16
Şekil 2.1.	Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Kuşaklar	18
Şekil 2.2.	Dünyada jeotermal doğrudan kullanımı (elektrik dışı).....	19
Şekil 2.3.	Shell hidrojen istasyonu Tokyo.....	20
Şekil 2.4.	Zorlu enerji grubunun Denizli ‘deki jeotermal elektrik santrali....	24
Şekil 3.1.	Jeotermal enerjinin kullanıldığı termodinamik çevrimler.....	40
Şekil 3.2.	Kondensersiz kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santrali.....	41
Şekil 3.3.	Kondenserli kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santrali.....	42
Şekil 3.4.	Suyun basınç - entalpi diyagramı.....	43
Şekil 3.5.	Tek püskürtmeli çevrim jeotermal elektrik santrali.....	44
Şekil 3.6.	Çift püskürtmeli çevrim jeotermal elektrik santrali.....	45
Şekil 3.7.	İkincil çevrim jeotermal elektrik santrali.....	46
Şekil 3.8.	Birleşik püskürtme/ikincil çevrim jeotermal elektrik santrali.....	48
Şekil 4.1.	Sakarya ili jeotermal alanları.....	52
Şekil 4.2.	Kuzuluk jeotermal alanının jeolojik haritası	54
Şekil 4.3.	Kuzuluk K-3 kuyusu litoloji ve kuyu donanımı.....	55
Şekil 4.4.	Kuzuluk kaplıcasına ait kuyunun dıştan görüntüsü.....	57
Şekil 4.5.	Kuzuluk kaplıcasına ait kuyunun içten görüntüsü.....	58
Şekil 4.6.	Kuzuluk kaplıcasına ait kuyudan basınçla su çıkış görüntüsü.....	58
Şekil 4.7.	Kuzuluk kaplıcasındaki konutlar.....	59
Şekil 4.8.	Kuzuluk kaplıcasının sıcak su depoları.....	60
Şekil 4.9.	Kuzuluk kaplıcasının kazan dairesi.....	60
Şekil 4.10.	Kuzuluk kaplıcasının kazan dairesindeki ısı plakaları.....	61
Şekil 4.11.	Kuzuluk kaplıcasının soğutma kuleleri.....	61

Şekil 4.12. Kuzuluk kaplıcasının kazan dairesindeki sirkülasyon pompaları..	62
Şekil 4.13. Kuzuluk kaplıcasının kireçlenmiş sirkülasyon pompaları.....	63
Şekil 4.14. Kuzuluk kaplıcasının yeni sistem sirkülasyon pompaları.....	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Türkiye’de jeotermal enerji ile ısıtılabilir potansiyel yerleşim birimleri	14
Tablo 1.2.	Sera etkisi yaratan CO ₂ emisyonları (g/kwh).....	15
Tablo 1.3.	Jeotermal sistem kullanımı ile sağlanacak CO ₂ emisyon azalımı..	15
Tablo 2.1.	Dünyada jeotermal enerji kullanımı kapasite artışı	18
Tablo 2.2.	Linda diyagramı	22
Tablo 3.1.	CaCO ₃ kabuklaşmasını önleyici katkı maddeleri.....	29
Tablo 3.2.	Silika parçalarının ayrılması için uygun yöntemler.....	32
Tablo 4.1.	Akyazı’daki jeotermal kuyulara ait veriler.....	56
Tablo 5.1.	Akyazı’daki nüfus ve konut adetleri.....	68
Tablo 5.2.	Akyazı nüfus yapısı.....	68
Tablo 5.3.	Tablo 5.3. Akyazı’da 100.000 kwh’ten fazla elektrik tüketimi yapan firmalar (2008).....	71

ÖZET

Anahtar kelimeler: Jeotermal, Akyazı, Kuzuluk

Jeotermal enerji, günümüzde doğrudan veya elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Jeotermal projelerin değerlendirilmesinde en önemli adım, teknik ve ekonomik fizibilite olmaktadır.

Bu çalışmada; ilk önce jeotermal enerjinin oluşumu ve kullanım alanları verilmiştir. Jeotermal enerjinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumundan bahsedilmiştir. Jeotermal bölge ısıtma sistemleri ve bu sistemlerin proje niteliği üzerinde durularak, fizibilite etütlerinde izlenilecek yöntemlere değinilmiştir. Akyazı / Kuzuluk jeotermal bölge ısıtma sistemi'nin teknik analizi ve bu analizin değerlendirmesi yapılmıştır. Teknik fizibiliteye göre sistem tasarım yükü 751.716.964,94 kwh olarak hesaplanmıştır. Sistemin ısı ihtiyacını sağlamak için saniyede 99,98 litre değerindeki jeotermal akışkan debisinin uygun olduğu görülmüştür. Sistem için gerekli donanımın ön keşfi çıkartılmıştır.

USAGE AND ECONOMIC ANALYSIS OF GEOTHERMAL ENERGY IN AKYAZI

SUMMARY

Key Words: Geothermal, Akyazı, Kuzuluk

Today geothermal energy is used directly or for the purpose of electricity production. The technical and economical feasibility is the most important step for the evaluation of geothermal projects.

In this study, first of all , the formation and utilization fields of geothermal energy are given. The statuses of geothermal energy in the world and particularly in Turkey are mentioned in detail. The methods that will be followed in feasibility studies are indicated in different chapters which emphasize the geothermal district heating systems and the project characteristic of these systems. The technical and economical analysis of Akyazı / Kuzuluk geothermal district heating system and the evaluation of the analysis were carried out. The system design load was calculated according to the technical feasibility as 751.716.964,94 kwh It has been seen that 99,98 lt flow rate is the most appropriate value to supply the heat requirement of the system. At last; equipment requirement of the system has been investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tarihi kayıtlara göre Türklerin, Romalıların, Japonların, İzlandalıların ve bir kısım Avrupalıların jeotermal enerjiyi yıkanma, ısınma ve pişirme gibi amaçlarla kullandıkları görülmüştür. Roma imparatorluğundaki banyolar, Osmanlı dönemindeki Türk hamamları, ılıca ve kaplıcalar toplumların sosyal yaşamlarında sağlık ve yıkanmaya yönelik geleneklerde jeotermal enerjinin kullanıldığının ispatıdır.

İlk çağlardan günümüze kadar sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da asit borik elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1904 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü 250 kwe olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur.

1930'larda ise bu enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlayan sığ sondajlara daha sonra, elektrik elde etmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılın da 200 mwe kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960'da Amerika'da, 1961'de Meksika'da ve 1966'da da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında yayılmıştır.

Jeotermal akışkanı içeren rezervuar kaya ve onu çevreleyen ortam, jeofizik yöntemlerle kolayca algılanıp haritalanabilecek fiziki özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden yararlanılarak yeraltının yapısını ortaya çıkarmak, hidrojeolojik koşulları ve örtü kalınlığını saptamak, jeotermal akışkan taşıyan kırık-çatlak ve fayların ortaya çıkarılması ve önerilecek sondaj yerlerinin tespiti mümkündür. [1].

Büyümekte olan ve gelişmiş ülkeler için enerji toplumsal gelişimleri ve refah seviyelerinin yüksekliği için çok önemlidir. Hızla artan enerji ihtiyacı için yeni kaynakların tespiti amacıyla arama çalışmalarının yapılması, mevcut olan ve sürekli artmakta olan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için vazgeçilmezdir. Bu bağlamda ülkemizde enerji kaynaklarının aranması ve ülke envanterine kazandırılmasında önemli bir misyonu gerçekleştiren Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğüdür.

Sakarya ilinin Akyazı ilçesi bölgesinde 1987 ile 1997 yılları arasında MTA tarafından yapılan jeolojik ve jeofizik etüdler sonucu belirlenen lokasyonlarda beş adet sondaj yapılmıştır. [2].

MTA'nın bölgede ruhsat alanı bulunmadığından veriler bu tarihlerde yapılan çalışmalar ile sınırlıdır. Bölgede MTA ve / veya özel kurumlar tarafından ruhsat izni alınarak jeofizik çalışmalar yapılmalı ve bunun neticesinde bölgenin jeotermal açıdan potansiyelinin ortaya çıkarılarak yapılması planlanan jeotermal amaçlı projelerin tespit edilmesi ve bunun neticesi olarak bu enejiden en uygun şekilde faydalanma ve bölgenin enerji tüketim potansiyelinin tespit ve etüd edilmesi hedeflenmiştir.

Rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi doğal kaynaklar yurdumuzda yöresel bazda kullanılmaktadır. Büyük oranda açığı kapatabilecek kaynaklar nükleer ve doğal gazdır. Bu iki kaynağın Türkiye de olmaması ve yurt dışına bağımlılığı enerji ihtiyacında dışa bağımlılığa sebep olmaktadır. Uzun vadeli çözümler için her iki kaynağıda kullanmak gerekmektedir. Nükleer santrallerin çevreye olumsuz etkileri olmaktadır.

Yenilenebilir enerji; Dünyanın enerji ve iklim değişikliğiyle ilgili sorunları için dikkatlerini yönelttiği en önemli kaynaklardan biridir. Gelişmiş ülkelerde, Japonya'daki Fukishima nükleer santral kazasından sonra elektrik üretimi politikalarında öncelikli ve tercih edilen bir kaynak haline gelmiştir. [3].

Gelişmiş ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük çoğunluğunu nükleer enerjiden elde etmektedir. Nükleer enerji üretilen ülkelerde bile halen tartışılan ve tam anlamıyla

kabul görmeyen çevreye zararları ve riskleri büyük olan bir yöntemdir. Bu zararlar yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önem ve ihtiyacı arttırmaktadır.

Doğal gaz yakıt olarak temiz olması ve çevre dostu olarak tanınması ilgi toplamasına sebep olmuştur. Fakat yakıtın taşıma ve depolama zorluğu ve dünya rezervlerinin toplam ömrünün 65 yıl kadar olması sebebiyle bu yakıt daha çok sınır bölgelere yakın ve kolay temin edilebilecek yerlerde kullanılması uygun olacaktır. Ülke ekonomisine katkıda bulunabilmenin ilk şartı ithal ettiğimiz yakıtları ve yerli yakıtları daha ekonomik kullanmak ve havayı daha az kirleterek çevreye zarar vermeden gelecek nesillere temiz bir gelecek sağlamaktır.

Yapılan çalışmalara göre, 1993 fiyatları ile Türkiye’de her yıl 300-350 trilyon liralık enerji tüketilmektedir. Bu miktarın yaklaşık 150 trilyon liralık kısmını kömür ve petrol, 150 trilyon TL’sını elektrik enerjisi oluşturmaktadır. [4].

Elektrik üretim kapasitemizi arttırmak, ihtiyaç duyulan elektriği üretmek için çalışmalar yapmak zorunluluktur. Bunun için doğal kaynaklar kullanılmalıdır. Sakarya ilinde bu ilin de adını aldığı Sakarya nehri üzerinde gerçekleştirilmeye halen devam edilen ve inşaatı süren baraj Siemens ile Sakarya Büyükşehir belediyesi işbirliği ile gerçekleştirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, çevreye en az zarar vererek, hava kirliliğinin optimum değerlerin altında kalmasını sağlayacak alternatif enerji üretim yöntemlerinde bulunduğunu ve bunun bize çok yakın olduğunun görülmesini sağlamaktır. Türkiyedeki mevcut enerji kaynaklarımızdan kömür ve linyitlerimizin tükenen kaynaklar ve çevreye havayı kirleterek olumsuz zarar veren kaynaklardır. Odun, fuel-oil, güneş, rüzgâr, hidrolik yanı sıra jeotermal enerji ile evler kışın ısıtılabilir. Ayrıca jeotermal ile elektrik üretilebilmektedir. Bu projeleri kullanıma sokmak ve ithal edilen yakıt ve enerjiyi azlatmanın mümkün olduğu gösterilmiştir.

İşte bu çalışma; Sakarya ilinin Akyazı ilçesi bölgesinde bugüne kadar yapılan jeolojik ve jeofizik etüdümler sonucu jeotermal kapasite ve sondaj raporlarının

aydınlatması ile global ısınma (sera etkisi) denen felaketin kısmen azaltılmasına ve durdurulmasına katkıda bulunmuş olacaktır. Böylece gelecek nesillere yaşanabilir temiz bir çevre bırakılabilir.

Yukarıdaki belirtilenlerin ışığı altında yerli kaynaklarımızı kullanılabilir hale getirerek ekonomimize kazandırmak, gelecek nesillerinize temiz bir gelecek sağlayacaktır.

Bölüm 1’de çalışmanın genel mantığı ve amacı irdelenmiş, jeotermal enerji tanıtılmıştır.

Bölüm 2’de dünyada ve Türkiyede jeotermal enerji potansiyeli ve bu kaynakların kullanımı anlatılmıştır.

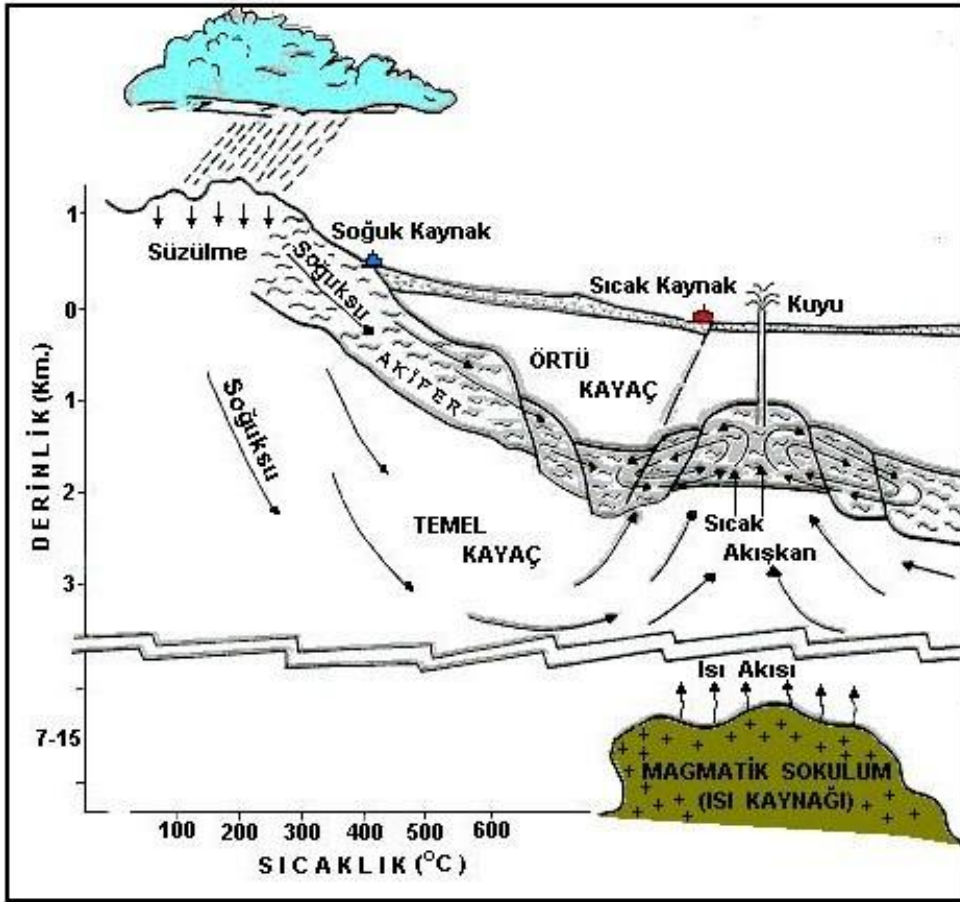
Bölüm 3’te jeotermal enerjide yaşanan sorunlar izah edilmiştir.

Bölüm 4’te ise jeotermal enerjinin Akyazı ’daki konumu üzerinde durulmuştur.

Bölüm 5’te sonuçlar ve öneriler kısmı yer almaktadır.

1.1. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji; yerkabuğunun işletilebilir derinliklerinde, olağan dışı bir şekilde birikmiş bulunan ısının meydana getirdiği bir enerji türüdür. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen ısısından yararlanılan yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalarda jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1.1. Jeotermal enerji oluşumu [5]

Oluşum biçimi Şekil 1.1’de verilen jeotermal kavramsal modelde, jeotermal akışkanın etkin olarak bulunduğu ortamlar, bunların bitişik seviyelerinde, bağlantı yollarında bazı fiziksel ve kimyasal değişiklikler oluşturacağı tabidir. Bunlar;

- Sıcaklık ayrılığı
- İletkenlik ayrılığı
- Basınç ayrılığı
- Yoğunluk ayrılığı
- Mineralizasyon ayrılığı
- Akışkanlık ayrılığı
- Potansiyel ayrılığı

Jeotermal aktivitelerin oluşturduğu bu ayrılıkların yer içinde ve yeryüzünde meydana getirdiği anomaliler çeşitli jeofizik yöntemlerle ölçülen değişkenlerin

değerlendirilmesi, haritalanması ve yorumlanması ile saptanırlar. Sahaların jeolojik ve topografik yapısına, büyüklüğüne ve amaca göre çok sayıda jeofizik araştırma yöntemi uygulanmaktadır. Jeotermal enerji yerkabuğunun derinliklerinde bulunan bir magma odağı tarafından ısıtılan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş madde içeren sıcak su ve buharın taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilir.

Yerkabuğunun derinliklerinde var olan ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütleli veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yüzeiden kırık ve çatlaklar aracılığı ile derinlere süzülen meteorik kökenli sular değişik derinliklerde yer alan ve geçirimsiz örtü kayalarla kontrol edilmiş olan gözenekli veya ikincil permeabilitesi olan rezervuar kayalarda birikerek söz konusu ısı kaynağı vasıtasıyla ısıtılır ve mineralce zenginleşirler. Yerkabuğunun derinliklerinde ısınan bu meteorik sular kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaştıklarında sıcak su kaynakları olarak belirirler. Kırık ve çatlaklara bağlı olarak yeraltında dolaşan, normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş madde içeren jeotermal akışkan, sondajlar yoluyla yeryüzüne aktarılabildiğinde sıcak su veya buhar egemen hidrotermal sistemler ortaya çıkar. Söz konusu hidrotermal sistemlerin rezervuar sıcaklığı 150 °C'yi aşıyorsa (yüksek entalpili sistem) elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Bu sıcaklığın altındaki (20-150 °C) hidrotermal sistemler (orta-düşük entalpili sistem) ise doğrudan veya ısı değiştiriciler yardımıyla ısıtmacılık ve çeşitli endüstri dallarının yanı sıra kaplıcalarda da kullanılır.

Yerkabuğu için doğal sıcak su dolaşımına olanak sağlayabilecek sıklıkta kırık ve çatlakların mevcut olmamasına karşın, buralarda olağan dışı ısı birikimi varsa, oluşturulacak yapay kırıklar vasıtasıyla yerkabuğunun derinliklerine gönderilerek oralarda dolaştırılan meteorik kökenli sularla da enerji üretimi mümkün olabilir. Bu tür sistemler 'kızgın kuru kaya' tipi jeotermal sistemler olarak adlandırılır.

Jeotermal enerji tükenmeyen ve yenilenebilen bir alternatif enerji kaynağıdır. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli oldukları için yeraltında ki rezervuar kayaları sürekli beslemekte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça bu kaynakların tükenmesi söz konusu olmamaktadır. [6].

1.2. Jeotermal Kaynak

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20 °C'den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar'a jeotermal kaynak denir.

Jeotermal sistemlerin oluştuğu elemanlar şöyle sıralanabilir;

- Isı kaynağı
- Isıyı taşıyan akışkanlar (Meteorik su kaynağı)
- Tektonizma (Jeolojik yapı)
- Permeabilite ve poroziteli rezervuar
- Örtü kayacı [6].

1.3. Jeotermal Sahaların Sınıflandırılması

Jeotermal sahaların sınıflandırılması kabaca şu şekilde sıralanabilir;

- Sıcaklığa göre
 - o Düşük sıcaklıklı sahalar (20 - 70 °C sıcaklık)
 - o Orta sıcaklıklı sahalar (70 - 150 °C sıcaklık)
 - o Yüksek sıcaklıklı sahalar (150 °C 'den yüksek)
- Su veya buhar durumuna göre
- Kimyasal bileşimine göre

1.4. Jeotermal Araştırmalarda Uygulanan Sistemik

- Literatür tarama
- Uzaktan algılama, fotojeoloji ve jeoloji
- Jeokimya
- Hidrojeoloji
- Jeofizik araştırmalar
- Sondaj

1.5. Jeotermal Aramalarda Kullanılan Jeofizik Yöntemler

Jeotermal aramalarda kullanılan başlıca jeofizik yöntemler şu şekilde sıralanabilir;

- Elektrik ve Elektromanyetik (DES, SP, MT, AMT, TEM)
- Gravite
- Manyetik
- Sismik Yansıma

1.5.1. Elektrik ve elektromagnetik yöntemler

Jeotermal sahalarda en çok kullanılan elektrik ve elektromanyetik yöntemler; doğal potansiyel (SP), manyetotellürik, AMT, CSAMT, doğru akım öz direnç (DES), ve TEM gibi yöntemler sıralanabilir. Bu yöntemler birçok uygulama alanlarına sahiptir. Bunların bir kısmı doğal enerji kaynaklı, bir kısmı ise yapay enerji kaynaklıdır.

Manyetotellürik yöntem yüzeyden çok derin yapıları 0-100 km araştırma olanakları sunarken, doğru akım rezistivite yaklaşık 0-3 km, AMT-CSAMT yöntemleri yaklaşık 0-4 km, TEM azami 0-1 km arası bir araştırma olanağı sunmaktadır. Doğal potansiyel ise sığ bir derinlikte bilgi almaya müsaittir. Yaklaşık 400 m [6].

1.5.2. Gravite araştırmaları

Gravite araştırmaları havzalardaki dolgu derinliğini araştırmak ve sokulum kayaç kütlelerinin yerlerini belirlemek, jeotermal araştırmalar sırasında yeraltındaki ısı kaynağını temsil eden derin magmatik yapı ile ilişkili yanal yoğunluk değişimlerinin tanımlanması amacıyla kullanılır.

Gravite yöntemi, jeolojik birimler arasındaki yoğunluk farkı özelliklerini kullanarak taban topografyasını, yapısını, derinliğini çıkarmak, magmatik sokulumların yerini, yayılımını saptamak ve yer yapısı hatlarını belirlemek amacı ile uygulanır. Diğer jeofizik yöntemlere göre hem daha ucuz, hem de hızlı olması nedeniyle; jeotermal bir alanın yapısal durumunun belirlenmesinde ön araştırma amaçlı olarak ilk kullanılacak yöntemlerden birisidir.

Jeotermal uygulamalarda, gravite verileri üzerine ayrıntılı çalışmaların birincil amacı yer altı jeolojik yapısının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Gravite ölçümleri yeraltındaki kayaçların yoğunlukları hakkında bilgiler sağlar. Kayaç türleri arasındaki yoğunluk değerleri geniş bir aralıkta yer alır ve bundan dolayı jeologlar yer altı katmanlarının dağılımı hakkında bir sonuca ulaşabilirler. Jeotermal alanlarda genellikle yeraltındaki fayların haritalanması amaçlanır. Faylar çoğunlukla yoğunlukları farklı birbirine bitişik kayaçlar içerdiğinden, gravite yöntemi araştırma için en uygun seçimdir. [7].

1.5.3. Manyetik araştırmalar

Jeotermal uygulamalarda manyetik araştırmaların temel amacı, yeraltında manyetik özelliğe sahip kayaçların neden olduğu anomalilerin yorumlanmasıyla alanın stratigrafi, yer yapısı ve jeotermal etkinlik arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktır (Escobar, 2005). Kayaçların çoğu manyetik özellik göstermezler, buna karşın bazı kayaç türleri de önemli manyetik anomaliler yaratan manyetik mineraller içerirler. Bir alanda manyetizasyonun varlığının yarattığı farklar veri yorumunda özellikle fayların ve jeolojik yapıların yerlerinin belirlenmesinde rol oynar (Blakely, 1995). Manyetik anomaliler topoğrafik yükseltiler, kıvrımlar, faylar ve mıknatıslanmış yapıların kalınlıklarındaki değişimler ile litolojik farklılıklar nedeniyle oluşabilir. Bu anlamda, manyetik araştırmaların değeri verilerin ilk yorumlarıyla tamamlanmaz, çalışma alanının jeolojisinin daha iyi bilinmesiyle değeri artar.

Başlangıçta bir fayın veya sokulum yapısının varlığının saptanması bu yapıların biçimlerinin veya derinliklerinin belirlenmesinden daha önemlidir. Sokulumların lav akıntularından daha fazla manyetik özellik göstermesi nedeniyle yarattığı manyetik veriler belirlenmesinde oldukça yararlıdır. Fayların yarattığı boşluklardan sıcak akışkanlar yer değiştirirler ve bu nedenle çevre kayaçlar altere olur. Hidrotermal sistem sıcaklığı ve oksijen uçuculuğu kırık bölgelerinde varolan mıknatıs taşı miktarını ve buna bağlı olarak da oluşan manyetik tepkiyi belirler. Manyetik yöntem, jeolojik yapıların haritalanması amacıyla jeotermal araştırmalarda sismik kırılma ve gravite yöntemleriyle birlikte sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. [7].

1.5.4. Sismik yansıma yöntemi

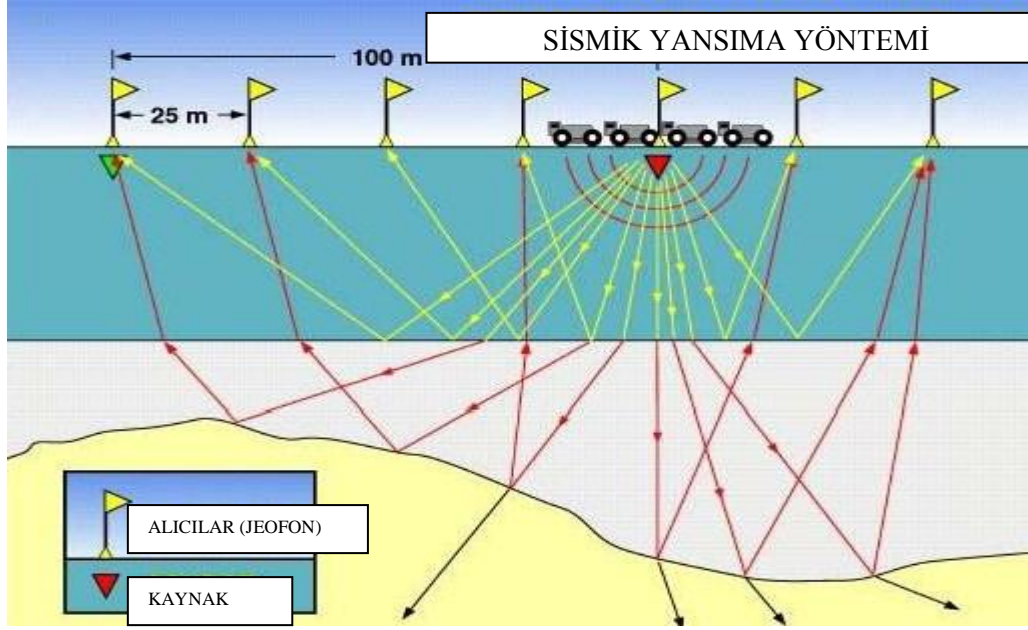
Sismik yöntemler yere titreşim sinyali yollar ve tabakalarda kırılan ve yansıyan sinyaller kayıt yapılarak ortam ile ilgili bilgi edinilir. Bu da elastik dalgaların arz içinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır. Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağına (dinamit, ağırlık düşürme, vibro, gun vb) yeryüzüne veya deniz sismiğinde bir düzen içinde yerleştirilmiş alıcılara (jeofon veya hidrofona) ve bu alıcılara gelen dalgaları kaydeden bir alete gerek vardır.

Enerji kaynağından gelen dalgaların zamana göre genlikleri kaydedilir. Varış zamanları yer altındaki tabakaların konumu ve kayaçların fiziksel özelliklerine bağlıdır. Kayıtlarda gözlenen varış zamanları, frekans ve genlik değişimleri, tabakaların konumları ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi verir. [6].

Bir kaynaktan yayılan dalgalar farklı uzaklıktaki alıcılara izlenirken yayılım geometrisine bağlı olarak;

- Doğrudan gelen dalgalar
- Saçılmaya uğrayan dalgalar
- Kırılan dalgalar
- Yansıyan dalgalar

Araştırmalarda sismik kırılma ve sismik yansıma yöntemi olmak üzere iki şekilde kullanım alanı bulmaktadır. Jeotermal sahalarda sismik yansıma yöntemi kullanılmaktadır. (Şekil 1.2)



Şekil 1.2. Sismik yansima yöntemi arazi uygulaması.

1.6. Çalışmanın Önemi, Amacı ve Gerekliliği

Jeotermal enerji temiz ve yenilenebilir sınıfta bulunan bir enerji kaynağı olması nedeniyle gün geçtikçe daha çok önem kazanan ve aranan enerji kaynakları arasında yer almaktadır.

Günümüzde dünyada enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan (petrol, doğalgaz, kömür vb) karşılanmaktadır. Buna karşın bu kaynakların özellikle petrolün belli coğrafyalarda toplanmış olması bu kaynakların elde edilmesi için sıcak ve soğuk savaşların çıkmasına varabilen durumlara neden olmaktadır. Ayrıca bu yakıtların tüketilmeleri ile atmosfere saldıkları sera gazları küresel ısınmanın ve iklim değişikliklerinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır.

Fosil yakıtların bu yan etkileri göz önüne alındığında yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımına olan yöneliş her geçen gün artmaktadır. Oldukça geniş kullanım alanlarına sahip olan jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada yer almaktadır.

Arama, bulma, tesis ve üretim aşamalarının neticesinde temiz enerjiye ulaşılmaktadır. Bahsedilen bu aşamaların her biri kendi içerisinde farklı disiplinleri barındıran detaylı olarak yürütülmesi gereken çalışmalardır.

Ülkemiz jeotermal enerji açısından önem arz eden bir potansiyeli barındırmaktadır. Mevcut bulunan bu potansiyelin ortaya çıkarılmasında MTA Genel Müdürlüğü öncü rol üstlenmekte ve her yıl pek çok sahada çeşitli projeler altında multidisipliner çalışmalar yürütülmektedir. Türkiye'nin hesaplanan tahmini jeotermal potansiyeli 31500 mwh olarak kabul edilmektedir. Bu potansiyel ile;

- 5 milyon konut ısıtma eşdeğeri veya 150 bin dönüm sera ısıtması
- 1 milyonun üzerinde kaplıca yatak kapasitesi
- 29 milyar \$/yıl fuel-oil eşdeğeri (30 milyon ton/yıl)
- 30 milyar m³/yıl doğalgaz eşdeğeri

Dünyada jeotermal zenginliği ile beşinci 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.

Toplam jeotermal potansiyelimizin (2.000 mwe, 31.500 mwth) elektrik üretimi, şehir ısıtma, soğutma, sera ısıtma, termal tesis ısıtma, kaplıca kullanımı, kimyasal maddeler üretimi, sanayide kullanım vb uygulamalarda tam değerlendirilmesi ile sağlanacak hedef yıllık net yurtiçi katma değer 25 milyar \$ civarındadır.

Türkiye, 1995 yılında, jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarında dünyada 11nci sırada iken, 2000 yılında 5nci sraya yükselmiş, 2005 yılında 5nciliğini sürdürmüştür.

Haziran 2007 itibariyle, jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak % 7'si değerlendirilmektedir.

Türkiye’de jeotermal enerji ile ısıtılacak potansiyel yerleşim birimlerinin toplamının meydana getirdiği 1 milyon konutluk kapasite, sadece şehir ısıtmasına yöneliktir. Sera ve kaplıca ısıtma, soğutma, endüstriyel kullanım, mineral üretimi, balık üretimi vb için kullanılan enerji bu değerin dışındadır. Bazı jeotermal kaynaklarımızın yerleşim birimlerine uzaklığı ve küçük yerleşim birimleri olmaları nedeniyle 5 milyon konut eşdeğeri ısı potansiyelinin yaklaşık 1 milyon konutu bugünün teknik ve ekonomik şartlarına göre ısıtma amaçlı olarak değerlendirilebilecektir. [8].

Ancak jeotermal sahalara yakın bölgelerde sera ısıtması, endüstriyel kullanım, kaplıca amaçlı kullanım, kimyasal madde üretimi, balık çiftlikleri vb kullanımları uygulamak mümkündür. Jeotermal merkezi ısıtma / soğutmadan arta kalan potansiyelimiz ile de yukarıda adı geçen değerlendirmeleri gerçekleştirerek potansiyelimiz tam olarak değerlendirilebilecektir.

Türkiye’deki mevcut jeotermal kullanım; jeotermal merkezi ısıtma (şehir, konut, termal tesis, sera vb) 117.000 konut eşdeğeridir. (983 mwt) (Ocak 2006) (www.epdk.gov.tr) Türkiye jeotermal derneği verilerine göre revize edilmiştir. [19].

Tablo 1.1. Türkiye’de jeotermal enerji ile ısıtılacak potansiyel yerleşim birimleri

İzmir	220.000 konut
Denizli ve civarı	100.000 konut
Aydın ve civarı	90.000 konut
Bursa ve civarı	75.000 konut
Balıkesir ve civarı	65.000 konut
Afyon ve civarı	65.000 konut
Manisa Turgutlu	50.000 konut
Kütahya ve civarı	35.000 konut
Çanakkale ve civarı	35.000 konut
Sakarya – Akyazı – Kuzuluk	30.000 konut
Salihli	30.000 konut
Bolu ve civarı	28.000 konut
Yozgat ve civarı	25.000 konut
Nazilli	25.000 konut
Erzurum	25.000 konut
Şanlıurfa – Sivas	20.000 konut
Kırşehir	20.000 konut
Dikili – Bergama (İzmir)	15.000 konut
Alaşehir (Manisa)	10.000 konut
Aliağa (İzmir)	10.000 konut
Diğer yerleşim birimleri toplamı	27.000 konut
ARA TOPLAM (konut ısıtması)	1 milyon konut
Termal tesis ve sera ısıtması	250000 konut eşdeğeri*
GENEL TOPLAM	1250000 konut** eşdeğeri (10000 mwth)
Fuel-oil (kalorifer yakıtı) tasarrufu	2.800.000 ton/yıl (2.7 milyar \$/yıl)

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

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

Türkiye’de hedeflenen 1 milyon konutun jeotermal ile ısıtılmasında, 8000 mwth kurulu güç olarak karşılaştırıldığında, 1400 mwe’lik bir nükleer santralin beş (5) katı,

yıllık ısı enerjisi ikamesi olarak karşılaştırıldığında üç (3) katı olmaktadır. Bir başka yaklaşımla, 2 tane Mavi akım projesine eşdeğer enerjidir. Mavi akımda 16 milyar m³/yıl doğalgaz teminine karşı, jeotermal ısı potansiyelimiz 30 milyar m³/yıl'dır. [8].

Çevre dostu bir enerji türü olan jeotermal enerji ile yapılan ısıtma, elektrik üretimi vb gibi uygulamalarda, hiçbir atık çevreye ve atmosfere atılmamaktadır. ABD enerji bakanlığı'nın verilerine (1998, jeotermal enerji stratejileri ve hedefleri yayını) göre sera etkisi yaratan karbondioksit emisyonu;

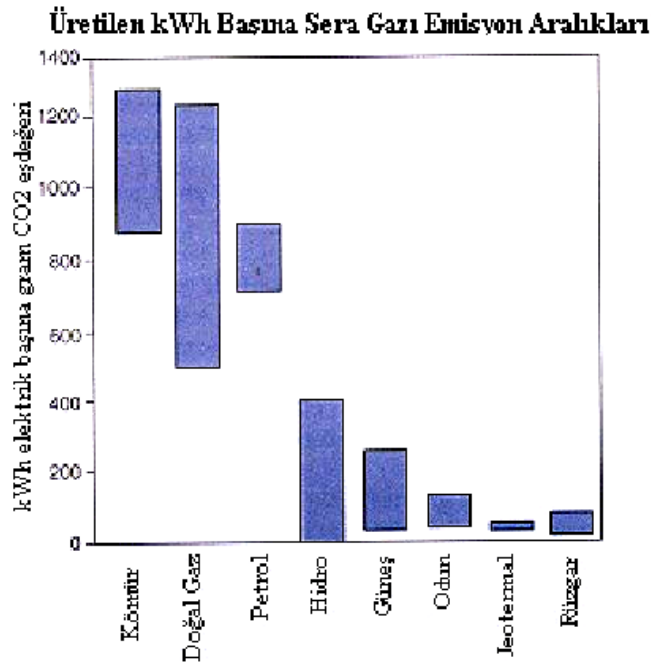
Tablo 1.2. Sera etkisi yaratan CO₂ emisyonları (g/kwh)

Kömürde	900 - 1300 g/kwh
Doğalgazda	500 - 1250 g/kwh
Güneş enerjisinde	20 - 250 g/kwh
Rüzgar enerjisinde	20 - 50 g/kwh
Jeotermal enerjide	20 - 35 g/kwh

Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri ve jeotermal elektrik üretim santrallerinde fosil yakıt kullanılmadığından, azot emisyonu ve sülfür dioksit emisyonu sıfırdır.

Tablo 1.3. Jeotermal sistem kullanımı ile sağlanacak CO₂ emisyon azalımı

Jeotermal Merkezi Isıtma	CO ₂ Emisyonu Azalımı	Motorlu Taşıt Eksoz Gazı Eşdeğeri
Mevcut 117 bin Konut eşdeğeri	1.1 milyon ton/yıl	650 bin adet motorlu taşıt
Bugünün şartlarında uygulanabilir 1 milyon konut eşdeğeri	8 milyon ton/yıl	5 milyon adet motorlu taşıt
Toplam ısı potansiyeli 5 milyon konut eşdeğeri	48 milyon ton/yıl	30 milyon adet motorlu taşıt



Şekil 1.3. Üretilen kWh başına düşen sera gazı emisyonları [9].

Bütün bu bilgiler ışığında görüldüğü üzere; temiz, ucuz, fiyat politikalarında ve temininde dışa bağımlılığı olmayan, jeotermal enerji ülkemiz için önem arz eden bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağının etkin olarak tespit edilebilmesi için çeşitli jeofizik yöntemler ile potansiyel sahaların ortaya çıkarılmasına yönelik çalışmaların yapılması gereklidir. Yapılacak çalışma ile yönlendirilecek sondajlar neticesinde ülkemiz jeotermal kaynaklar envanterine yeni bir jeotermal sahanın kazandırılması beklenmektedir.

BÖLÜM 2. JEOTERMAL'İN DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

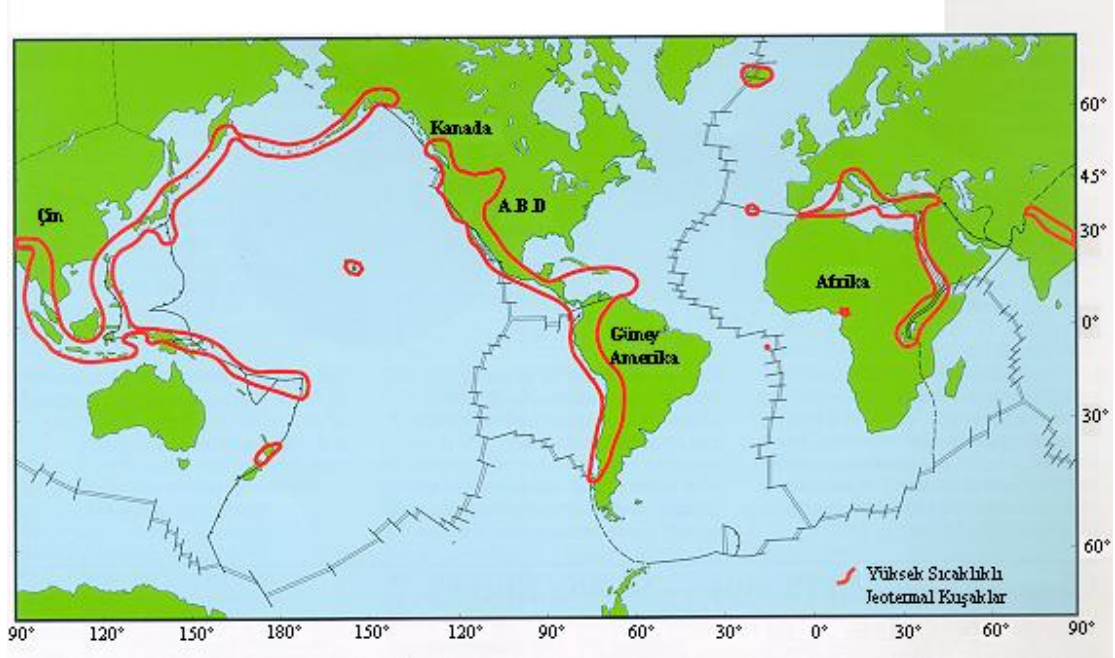
2.1. Dünya'da Jeotermal Enerji

Dünya enerji sektörü radikal bir değişimin eşiğindedir. Özellikle fosil kaynaklara sahip olmayan ve enerjide dışa bağımlılığı artan sanayileşmiş ülkeler bu değişim sürecinde hem güvenli enerji kaynaklarına yönelmek hem de yenilenebilir enerji teknolojilerini satarak bu yeni dönemde ekonomilerini güçlendirmek istemektedirler. Gelişmiş ülkelerin hükümetlerinin "temiz enerji ekonomisi" olarak adlandırdıkları bu sektör çok ciddi olarak desteklemekte, yenilenebilir enerji konusunu enerji güvenliğinin yanı sıra gelecek için önemli bir ekonomik yatırım, istihdam ve teknoloji egemenliği alanı olarak görülmektedir.

Dünyadaki ekonomik durgunluğa rağmen yenilenebilir enerjinin toplam enerji yatırımları içinde 2010 yılında yeni bir rekor kırarak ve bir önceki yıl 160 milyar dolar olan yenilenebilir enerji ve yakıtlarla ilgili yatırımların % 32 artışla 211 milyar dolara ulaştı. Yenilenebilir enerji kaynaklarında en fazla üretim kapasitesi artışı yapan Çin'in yenilenebilir enerji kaynakları ekipman üretim piyasasında rüzgar ve fotovoltaik ekipman üretiminde öne geçti ve bu alanda öncülük Avrupa'dan Asya'ya kaydı. [3].

Dünyada jeotermalden faydalanmada; Filipinler'de toplam elektrik üretiminin %27'si, Kaliforniya eyaleti'nde %7'si, Papua Yeni Gine'de 56 mwe kapasiteli jeotermal elektrik üretimi yapılmakta olup, altın madenciliği İşletmesinin enerji ihtiyacının %75'i jeotermalden karşılanmaktadır. İzlanda'da toplam ısı enerjisi (şehir ısıtma) ihtiyacının % 86'sı jeotermalden karşılanmaktadır. Yüksek sıcaklıklara sahip jeotermal kuşaklar Şekil 2.1'de görünmektedir. Dünyadaki jeotermal elektrik üretiminde ilk 5 ülke sıralaması; ABD, Filipinler, Meksika, Endonezya ve İtalyadır.

Jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke ABD, İsveç, Çin, İzlanda ve Türkiye'dir. [8].



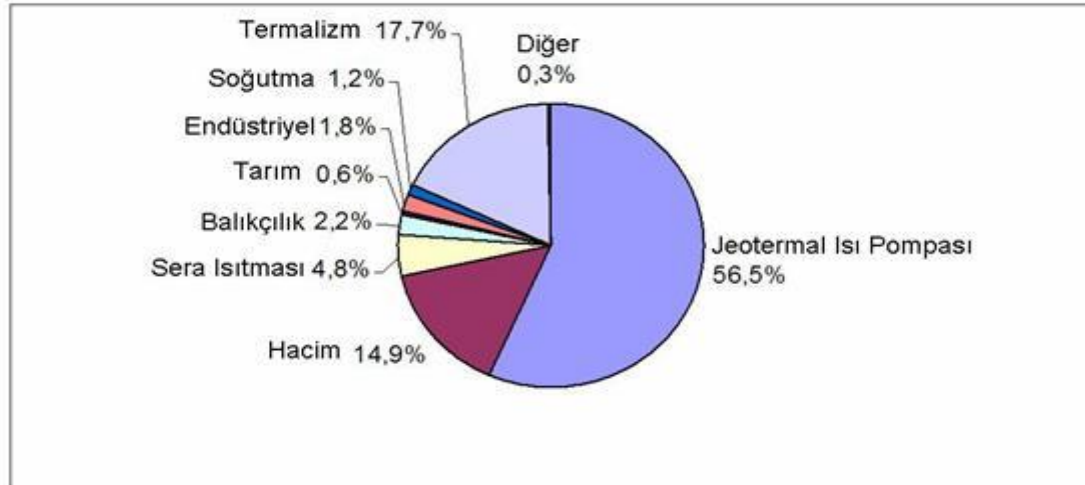
Tablo 2.1. Dünyada Jeotermal enerji kullanımı kapasite artışı [8].

	1995	2005	% artış
Hacim ısıtma (konut, termal tesis vb)	2579 mwt	4158 mwt	61
Sera ısıtması	1085 mwt	1348 mwt	24
Elektrik üretimi	6798 mwe	9732 mwe (2007 yılında)	43
Balneolojik uygulamalar	1085 mwt	4911 mwt	Yak.350

2005 yılı itibariyle, dünyadaki jeotermal elektrik üretimi 8912 mw elektrik kurulu güç olup, 72.6 milyar kwh/yıl üretimdir. Jeotermalin elektrik dışı kullanımı ise 27825 mw termal olup, 5 milyon konut ısıtma eşdeğeridir.

Jeotermal ısıtmada dünyada 2010 - 2013 yılı hedefleri;

- Türkiye’de 500 bin konut (2013 yılı hedefi)
 - Avrupa’da 3 milyon konut (2010 yılı hedefi)
 - ABD’de ise 7 milyon konutun (2010 yılı hedefi)
- jeotermal enerji ile ısıtılmasıdır.



Şekil 2.2.Dünyada jeotermal doğrudan kullanımı (elektrik dışı) [8].

2.2. Jeotermal ve Hidrojen

Geleceğin yakıtı olarak bilinen hidrojenin üretimi, jeotermal kaynaklar aracılığı ile de mümkündür. Jeotermalden üretilen elektriğin reaktörde ve jeotermal akışkanın su olarak kullanılması ile hidrojen üretimi pilot çalışmaları İzlanda’da başlamıştır. İzlanda, jeotermal zenginliği nedeniyle, bu işe başlamak için en ideal yer olarak görülmüştür. 24 Nisan 2003’de özel sektör (Shell) belediye işbirliği ile dünyanın ilk hidrojen gaz istasyonu Reykjavik - İzlanda’da açılmıştır. Doğal ve ucuz kaynak olan jeotermalden üretilen hidrojen petrolün yerini alarak şehirdeki hava kirliliğini önleyecek ve ekonomi sağlayabilecektir. Shell Tokyo’da belediye işbirliği ile bir dolmuş istasyonu açmış (Şekil 2.3) bunu Amerika Kaliforniya ve Lüksemburg izlemiştir. [8].



Şekil 2.3. Shell hidrojen istasyonu Tokyo [8].

2.3. Türkiye’de Jeotermal Enerji

Türkiye’de enerji güvenliğinin artırılması için teknik ve finansal imkanların el verdiği tüm olanaklar kullanılarak yerli birincil kaynaklara yönelmesi ve yenilenebilir kaynaklardan da akılcı bir planlama çerçevesinde azami ölçüde yararlanılması gerekmektedir. Enerji talebinin büyük bölümünü ithal kaynaklarla karşılanması, bu oranın azaltılmasının gerekliliği ve son yıllarda tüm dünyayı saran sera gazlarının azaltılması yönündeki kuvvetli inisiyatifin ülkemizde de yenilenebilir kaynakların daha fazla kullanılması için yeni bir dönem başlatmaktadır.

Ülkemizin yüzde 74’ler seviyesine ulaşan enerjide dışa bağımlılığını ciddi ölçülerde azaltması söz konusu olabilecektir. Türkiye yenilenebilir enerji açısından zengin kaynaklara sahiptir. 2011 yılı ortası itibarı ile kurulu güçler, hidrolik enerjide 16 bin 159 megawatt, rüzgârda 1.466 megawatt’a ulaşmıştır. EPDK analizlerine göre Türkiye’nin 2010–2030 döneminde yapılacak enerji yatırımları toplamı 225–280 milyar. [3].

Yeni, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerji, bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de önemli ölçüde kullanılır duruma gelmiş, doğrudan kullanım kapasitesi 1077 mwt’a ulaşmıştır. Günümüzde jeotermal enerjiden; konut, sera, termal tesis ısıtması gibi (750 mwt) elektrik dışı uygulamalarda ve balneolojik kullanımda (327 mwt) yararlanılmaktadır. Ancak ülkemizin sahip olduğu jeotermal enerji potansiyeli göz önüne alındığında hak ettiği düzeyde olmadığı görülmektedir. Bunun önemli nedenlerinden birisi de bilgi eksikliğidir. [2].

Jeotermal enerjiye dayalı kullanımların artması, bu kaynağın araştırılması yönünde yoğun talep artışına neden olmaktadır. Gerek araştırmacılar, gerekse kaynağa dayalı yatırım yapmak isteyen girişimciler kaynağın özelliklerine yönelik bilgi edinme ihtiyacı duymakta, bu bilgileri de büyük ölçüde daha önce yayımlanmış olan Türkiye jeotermal ile ilgili bu projenin benzeri araştırmalar, MTA tarafından hazırlanmış raporlardan ve araştırmalardan elde etmektedirler.

2.3.1. Türkiye’de jeotermal enerji kullanım alanları

Jeotermal sahalarda üretilen akışkan, sıcaklık değerlerine göre oldukça geniş bir yelpazede kullanım olanağı sunmaktadır. (Tablo 2.2) Düşük ve orta sıcaklıklı sahalardan üretilen akışkan sera, konut, tarımsal kullanımlar gibi ısıtmacılık uygulamasında, yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayi, dericilik ve soğutma tesislerinde kullanımlar olmak üzere endüstriyel uygulamalarda ve borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su ve akışkandaki CO₂’den kuru buz elde edilmesi gibi kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen akışkanda ise elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da yararlanılmaktadır. [2].

Tablo 2.2. Linda Diyagramı [5].

SICAKLIK (°C)	KULLANIM ALANLARI
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması
170	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfür elde edilmesi
160	Kereste, balık ve benzeri yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer's metodu ile alüminyum eldesi
140	Konservecilik, çiftlik ürünlerin çabuk kurutulması
130	Şeker endüstrisi, tuz endüstrisi
120	Distilasyonla temiz su elde edilmesi
110	Çimento kurutmacılığı
100	Organik maddeleri kurutma, yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma
SICAKLIK (°C)	KULLANIM ALANLARI
80	Yer ve sera ısıtmacılığı
70	Soğutma (Alt sıcaklık limiti)
60	Sera ahır ve kümes ısıtmacılığı
50	Mantar yetiştirme, balneolojik kullanımlar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermantasyonlar, damıtma ve soğutma
20	Balık çiftlikleri

Jeotermal aramalarda birincil amaç enerji ‘‘elektrik enerjisi’’ üretmektir. Bu amacın yanı sıra sıcak su kaynağının veya sondajdan elde edilen akışkanın sıcaklığına bağlı olarak hemen tüm ısıl derecelere sahip jeotermal akışkanı pratikte kullanmak mümkündür. [2].

2.3.2. Jeotermal enerji çevresel değerlendirme

Enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar yakılma olayından sonra ardında bir miktar katı ve gaz şeklinde artıklar bırakılmaktadırlar. Bunlar herhangi bir şekilde değerlendirilemediği gibi çevre kirliliğindedir. Sahalara göre değişiklik göstermekle beraber en önemli kirleticilerden biri olan CO₂ çıkışı en az jeotermal enerjiden olmaktadır. Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal santrallerde CO₂, NO_x, SO_x atımı çok düşüktür. Merkezi ısıtma sistemlerinde ise sıfırdır. Modern jeotermal santrallerinde, yoğunlaşmayan gazların buharın içinden alınıp, kullanılmış jeotermal akışkan ile birlikte yeraltına geri veren reenjeksiyon uygulaması kirlenici unsurların atmosfere ulaşmasını önlemektedir. Bu özellikler jeotermal enerjinin kullanımının çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlaması bakımından önemlidir. [2].

2.3.3. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli

Türkiye'de yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan içeren sahalar Ege bölgesinde veya genelde batı Anadolu da yer almakta, düşük ve orta sıcaklıklar da orta ve doğu Anadolu'da yer almakla birlikte Türkiye'nin kuzeyine de uzanmaktadır. Kısaca Türkiye'nin tüm sathında jeotermal enerji az veya çok mevcuttur.

Jeotermal sistemlerin geliştiği ülkeler, bilinen bazı tektonik ve/veya aktif volkanik kuşaklar üzerinde bulunmaktadır. Ülkemizde de genç tektonizma ve volkanizma yaygın olarak gelişmiştir. Buna bağlı olarak gelişen sistemler oldukça zengin jeotermal enerji potansiyeli yaratmıştır. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak gelişen doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı 25–103 °C arasında değişen 600 'ün üzerindeki sıcak su kaynağının varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından, Avrupa'da ilk, dünyada ise beşinci ülke konumundadır. Sadece kaynakların boşalımaları değerlendirildiğinde potansiyel 600 mwt civarındadır. MTA Genel müdürlüğünün açtığı 393 adet

jeotermal amaçlı sondaj ile 2775 mwt potansiyel kullanılabilir hale getirilmiştir. Kaynaklarla beraber potansiyel, Şubat 2005 itibarı ile 3375 mwt'a ulaşmıştır. [2].

2.3.4. Türkiye'de elektrik üretimine uygun sahalar

Denizli-Kızıldere sahası (242 °C), Aydın-Germencik-Ömerbeyli (232 °C), Manisa-Alaşehir-Kurudere sahası (184 °C), Manisa-Salihli-Göbekli sahası (182 °C), Çanakkale-Tuzla sahası (174 °C), Aydın-Salavatlı sahası (171 °C), Kütahya-Simav sahası (162 °C), İzmir-Seferihisar sahası (153 °C), Manisa-Salihli-Caferbey sahası (150 °C), Aydın-Yılmazköy sahası (142 °C), İzmir-Balçova sahası (136 °C) ve İzmir-Dikili sahası (130 °C), içerdiği akışkan sıcaklığına göre elektrik üretimine uygundur.[2].



Şekil 2.4. Zorlu enerji grubunun Denizli 'deki jeotermal elektrik santrali [10].

Zorlu enerji grubu, Denizli'nin Sarayköy ilçesi yakınlarındaki Kızıldere mevkiinde, 230 milyon dolar yatırımla Türkiye'nin en büyük jeotermal santralini yapacaktır. Santralin yapılacağı 70 dönümlük arazi, valilikte Denizli Kızıldere tarıma dayalı ihtisas sera organize sanayi bölgesi ile imzalanan protokolle Zorlu enerji'ye devredilmiştir. Zorlu enerji grubu, yılda 575 milyon kwh elektrik enerjisi üretecektir. 70 dönümlük arazi üzerine kurulacak jeotermal santral için önümüzdeki günlerde çalışmalar başlayacaktır. 2013 yılı ortasında tamamlanacaktır. Türkiye'nin en büyük jeotermal santrali olacaktır. Ekonomiye yılda 60 milyon dolar katkı sağlayacaktır. Zorlu enerji grubu şirketi, 245 °C sıcaklığı barındıran Kızıldere jeotermal santrali'nde 2008 yılında ihale ile devraldığı 15 mwe kurulu güçte bir jeotermal santrali daha bulunmaktadır. [10].

2.3.5. Türkiye'de konut ısıtımına uygun sahalar

Türkiye'nin elinde bulundurduğu jeotermal kaynaklarla ülke genelinde 5 milyon konutun ısıtılabilmesi mümkündür. Türkiye'nin jeotermal kaynakları ile Avrupa'nın birinci ve dünyanın da beşinci büyük potansiyele sahip merkezi konumundadır. Türkiye'de jeotermal enerji kaynaklarına sahip 20 merkezden biri de Nevşehir Kozaklı'dır. İlçede 2500'ü aşkın konut, işyeri, kamu kurum ve kuruluşunun bu yolla ısıtılması sağlanmaktadır. Jeotermal enerji hiçbir şekilde çevre kirliliği ve sağlık sorunları taşımamaktadır. Diğer yandan, geri dönüşümlü bir enerji de olan bu kaynağı gelecek nesiller de yüzyıllar boyunca kullanabilir ve ülke kaynakları önemli oranda bir tasarrufa yönlendirilebilir. Yeraltı kaynaklarımızın en etkin ve verimli şekilde kullanılmalıdır.

Türkiye'deki jeotermal sahaların % 55'i gibi önemli bir bölümü konut ısıtımına uygun sıcaklıkta jeotermal akışkan içermektedir. 50 °C alt sınırına göre konut ısıtımına uygun 92 adet saha bulunmaktadır. [2].

BÖLÜM 3. JEOTERMAL UYGULAMALAR VE ZORLUKLARI

3.1. Jeotermal Enerjide Yaşanan Sorunlar

Jeotermal uygulamalarda, akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan kabuklaşma ve korozyon, sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan önemli sorunlardır. Bu bölümde, akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan farklı kabuklaşma oluşumları ve korozyon türleri incelenmiş ve bu sorunların giderilme yöntemleri anlatılmıştır.

Jeotermal akışkanlar, kullanım sırasında termodinamik davranışlarıyla metal yüzeylere etki ederek, kabuklaşma ve korozyon sorunlarına neden olan çözünmüş gaz ve katı maddeler içermektedir. Bu akışkanların kimyasal bileşimleri; saf su veya buhardan, eriyik katı içeren sıcak tuzlu su arasında değiştiği için, kabuklaşma ve korozyon genellikle yüzeye bağlı olup, tek bir çözüm bulmak oldukça güçtür. Bununla birlikte, jeotermal akışkanların kimyasal bileşimleri ve buna bağlı olarak kabuklaşma ve korozyon sorunları, kaynakları bulunduğu bölgeye özgü olsa da bazı genel ilke ve öneriler verilebilir.

3.1.1. Kabuklaşma sorunları

Kabuklaşma, jeotermal kaynaklardan yararlanma sırasında oluşan en önemli sorunlardan birisidir. Silika ve silikat, karbonat, sülfat ve kükürt genel olarak kabul edilen esas kabuklaşma türleridir.

Silika, genellikle opal gibi amorf silis şeklinde olup, silikatlar (SiO_2) da amorf ile yarı amorf arasındadırlar. Karbonat kabuklaşması esas olarak, düşük magnezyum kalsitlerden oluşmakla birlikte bazı durumlarda yüksek magnezyum ve aragonit ($CaCO_3$) içerenler de belirlenmiştir. Sülfatlar esas olarak, kalsiyum sülfat ve baritler

(BaSO₄) dir. Yüksek sıcaklıklarda anhidrit (CaSO₄) baskındır. Kükürtlü olanlar genellikle düzgün kristalleşmişlerdir ve daha çok faz şeklinde oluşurlar. [11].

3.1.2. Kabuklaşma oluşumu

Kabuklaşma oluşumunun sebebi hakkında çok az şey bilinmekle birlikte, esas olarak üç ortam arasında ayırım yapılabilir:

- Tek fazlı bir akışkandan kalan çökeltiler (geri dönüş boru hatları)
- Fıskıran akışkandan kalan çökeltiler (kuyular, ayırıcılar, iki fazlı boru hatları)
- Buhar taşınması sonucunda kalan çökeltiler (türbinler, buhar boru hatları)

Belirtilen bu çökelti türlerinden 1. ve 3. türdekiler anlaşılması en kolay olanlardır, fakat birçok kabuklaşma sorunu 2. tür çökeltilerden kaynaklanmaktadır. Tek fazlı bir akışkandan katı maddelerin çökertilmesi uzun yıllardan günümüze kadar araştırılmıştır. Akışkan bulunduğu faza göre aşırı doymuş halde bulunduğu çökeler. Çekirdekleşme ve birikimin kinetiği; aşırı doygunluk derecesine, basınca, sıcaklığa ve bazı elementlerin bulunmasından kaynaklanan katalitik ve tutucu etkilere bağlıdır.

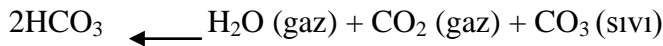
Fıskıran akışkandan kalan çökeltiler, kabuklaşmanın esas nedeni olmasına karşın bu durumdaki mekanizma çok az anlaşılmaktadır. Fıskırma, basınç düşmesiyle veya türbülanslı akış nedeniyle başlar ve kalsit kabuklaşmasına neden olur. Fıskırma aşağıdaki mekanizmalardan birisi aracılığı ile aşırı doygunluğu artırır:

- Sıvı fazdan buhar kaybı, çözünen maddeleri derişimini attırır
- Genleşme sırasındaki sıcaklık düşüşü
- CO₂ veya H₂S gibi kararlı gazların kaybı, pH'ı artırır

Buhar taşınmasından oluşan birikintiler, türbinler ve buharla temas halinde olan diğer birimlerde kabuklaşmaya neden olur. Bu tür kabuklaşma tamamen buharlaşmaya bağlı olduğundan, barot ve halit gibi bazı minerallere rastlanabilir.

3.1.3. Kalsiyum karbonat (CaCO₃) kabuklaşması

Bütün jeotermal akışkanlarda CO₂ bulunur ve Henry yasasına göre; bir su çözeltisindeki CO₂ miktarı, CO₂'nin buhar basıncıyla doğru orantılıdır. Çözünmüş CO₂ derişimin de H₂CO₃ şeklinde karbonik asit de bulunur ve genellikle toplam olarak % 3 kadardır. Jeotermal işletim, buhar fazı içermeyen statik CO₂ yüklü bir sıvıyla başlar ve üretim başladığında basınç düşer ve denge sağa kayar. [11].



CO₃₋₂ iyonu derişimi artar ve çözünürlük çarpanına göre $[\text{Ca}^{+2}] \cdot [\text{CO}_3-2] = K_p$, CaCO₃ çökmesine neden olabilir. Bu nedenle CO₃ çökmesi fişkırmaya ile başlar. Fişkırmaya üretim kuyusunda başladığında, kabuklaşma kuyu içerisinde başlayacak eğer yüzeydeki aletlerde başlarsa katmanlar bu aletler üzerinde oluşacaktır. [12].

3.2. Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) Kabuklaşmasının Önlenmesi

3.2.1. Karbondioksit (CO₂) kısmi basıncının kontrolü

Jeotermal akışkanın basınç ve sıcaklığı, jeotermal kuyudan doğal akışla iletim yerine akışkanın pompalanarak iletilmesiyle kolay bir şekilde düzenlenebilir. Kuyu içi pompası kullanılarak, kuyu içinde fişkırmaya sonucunda oluşan basınç ve sıcaklık düşmesi önlenebilir. Mekanik bir kuyu içi pompası yardımıyla, üretilen akışkan tek fazlı sistem olarak sürdürülebilir. Böylece, CaCO₃ gibi "basınca duyarlı" kabuklaşma oluşumu önlenebilir ve BaSO₄ gibi "sıcaklığa duyarlı" kabuklaşma oluşumu da geciktirilebilir. Bu tip pompaların kullanımı akışkan sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, yaklaşık 190 °C 'nin üzerindeki kuyularda bu pompaların çalışabileceği garanti edilmemektedir.

Kabuklaşmanın önlenmesinde diğeri önemli bir yöntem de, üretilen CO₂'in bir kısmının tekrardan üretim kuyusuna geri gönderilerek, yüksek CO₂ kısmi basıncının yapay olarak sürdürülmesidir. Bu yöntemle yapılan denemeler ABD'de başarılı sonuçlanmıştır, ancak sadece düşük CO₂ içeren akışkanlar için geçerlidir. [11].

3.2.2. Akışkan pH'nın düzenlenmesi

Kabuklaşmanın önlenmesi için diğer bir yöntem de, jeotermal akışkanın kimyasal bileşimini özellikle pH'ını düzenlemektir. Akışkanın pH'ını CaCO_3 kabuklaşmasının oluşmayacağı bir değere düşürmek için akışkana HCl eklenmesi teknik olarak mümkün olmakla birlikte, ekonomik bir uygulama değildir. pH'daki çok az bir düşüş için çok miktarda asit eklemek gerekir. Torre Alfina'da yapılan denemeler, CaCO_3 kabuklaşmasını önlemek için litre başına 0,1 N, 200 cm^3 HCl gerekli olduğunu göstermiştir.

3.2.3. Kabuklaşmayı önleyici kimyasal katkı maddeleri kullanmak

Tablo 3.1'de kabuklaşmayı önleyici bazı kimyasal katkı maddeleri verilmiştir. Bu kimyasalların bazıları İtalya'daki çalışmalarda denenmiş olup, en iyi sonuçlar Dequest 2066 ve Sequion 40 Na 32 gibi organik fosfanatlarla alınmıştır. [12].

Tablo 3.1. CaCO_3 kabuklaşmasını önleyici katkı maddeleri [12].

Katkı Maddeleri	Kimyasal Yapısı
Dequest 2060	Organikfosfanik asit
Dequest 2066	Organikfosfanik asit
Ecostabil 4001	Organikfosfanik asit
Ecostabil 4004	Organikfosfanik asit
Ecostabil EP/85	Organikfosfanik asit
Ecopol4014	Poliakrilat
Ecopol 4022	Poliakrilat
Nadar 4053	Organikfosfanik asit
Nadar 4054	Organikfosfanik asit
Flocon 247	Polikarboksilik asit
Chelone DPNA	Organikfosfanik asit
Sequion 40 Na 32	Organikfosfanik asit
Procedor ST90	Kaşık
Sodium Fumate	-

Kimyasal katkı maddeleri kullanılarak günümüze kadar yapılan çalışmalardan belirlenen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ergimiş tuzlar ve bazı eser elementlerin (Mn, Fe, As) bulunması ürün etkinliğine etki etmemektedir
- Kimyasal katkı maddesi, çekirdekleşmenin başlamış olduğu iki fazlı bir akışkana ilave edildiğinde etkili olmaktadır
- Fosfanatların etkinliği, 180 - 200 °C 'ye kadar sürmektedir. Bazı sonuçlar 210 °C 'den sonra bozulma olduğunu göstermiştir ve bu nedenle katkı maddesinden aynı etkinin sağlanması için iki misli derişim kullanılmalıdır
- Kimyasal katkı maddelerinin etkinliği bir kaç saat sürebilir, bu nedenle geri besleme sorun oluşmaksızın devam edebilir

3.3. Silikti Kabuklaşması

CaCO₃ kabuklaşması orta sıcaklıktaki jeotermal kaynaklarda, üretim kuyularında ve yüksek sıcaklık altında çalışan ekipmanlarda oluşmasına karşın, silis kabuklaşması yüksek sıcaklıktaki kaynaklarda, özellikle geri dönüş hatlarında, ayırıcılarda ve bazen de kuyularda oluşur.

Silikanın sulu çözeltilerdeki davranışları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Jeotermal uygulamalarda önemli olan silika şekilleri, kuvars ve amorf silikadır. Genellikle jeotermal kaynaklarda akışkanın kuvars ile akışkan sıcaklığında dengede olduğu varsayılır. Jeotermal uygulamalar için, akışkan içerisinde erimiş olan kuvars miktarı sıcaklıkla artar ve derişimle azalır. pH < 8 durumunda, kuvars çözünürlüğünün pH'dan bağımsız olduğu dikkate alınabilir.

Soğutulduğu zaman jeotermal akışkan, kuvars bakımından doygun duruma gelir. Bununla birlikte, kuvars'ın kinetiği çok yavaştır ve düşük sıcaklıklardaki silika birikimi, belirli sıcaklıktaki çözünürlüğü kuvars dan daha fazla olan amorf silika dengesiyle kontrol edilir. Bu nedenle silika birikimi, amorf silika dengesi için gerekli

doygunluk sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda oluşur. Amorf çözünürlüğü sıcaklıkla artar, derişimle azalır ve pH ile belirgin bir şekilde artar. Amorf silika birikimlerinin oluşma hızı, silikanın polimerleşme hızıyla kontrol edilir. Silikanın polimerleşme hızı, doygunluk derecesi ve sıcaklığa bağlıdır. Tepkimeler, klorür ve hidroksitlerle katalizlenen zincirleme tepkimeler şeklinde olabilir ve durumda sodyum, potasyum ve sülfat iyonlarının çok az etkisi vardır. [11].

Ortam sıcaklıklarında kabuklaşma oranı çok yavaş olduğundan, kabuklaşmanın oluştuğu bölge aşırı doygun akışkanın tutunma süresine bağlıdır. Çalışmalar asitleşmenin çökme hızını yavaşlattığını göstermiştir.

3.3.1. Silika kabuklaşmasının önlenmesi

Silika kabuklaşmasının oluşumu dikkate alındığında, kabuklaşma oranını azaltmak veya ortadan kaldırmak için esas olarak çözeltinin pH'ını değiştirmek yeterli olmaktadır. Bu yöntem, jeotermal akışkana HCl veya NaOH eklenerek Meksika ve ABD'de denenmiştir. Her iki durumda da ümit verici sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte, kullanılan kimyasalların fiyatları çok yüksek olduğundan bu konuda yeni yaklaşımların denenmesi gereklidir. Basınç, sıcaklık ve akış hızı düzenlenerek ekipman içerisinde oluşan silika kabuklarını hareket ettirme olanağı vardır, ancak bu uygulamalar kabuklaşma sorununu tamamen ortadan kaldırmamaktadır.

3.4. Kabuklaşmanın Önlenmesi İçin Diğer Yöntemler

Kabuklaşma sorununu gidermek için kimyasal katkı maddelerinin etkili olmadığı durumlarda, farklı yöntemler denenebilir. Kabuklaşma oluşumunu önlemek yerine, üretim kuyuları başında ve enjeksiyon kuyuları arasında sıcaklık ve basıncı dikkatli bir şekilde kademeli olarak azaltarak özel olarak tasarlanmış bir ekipman içerisinde kabuk birikimine olanak sağlanabilir. Bu yöntem için, toplam basınç ve istenilen basınç düşmesine bağlı olarak bir çok ekipman kullanılabilir. Örneğin,

kabuklaşma fişkırtma tankında (flash-tank) oluşuyorsa özel bir fişkırtma kristallendirici kullanılabilir.

Bu kristallendiricinin çalışma ilkesi, çözeltinin kabuklaşmaya uygun olmayan ortamdaki kabuklaşma için uygun olan ortama ani olarak gönderilmesi ve tankın iç duvarları yerine yeterli miktarda eklenen kristal çekirdeği üzerinde katı maddelerin çökmesinin sağlanmasıdır. Bu nedenle, sıvı içerisindeki duvarlar üzerinde katı madde birikiminin önlenmesi için eklenen çekirdeklerle geniş bir yüzey alanı oluşturulmalıdır. Duvarlar üzerindeki kabuklaşma, duvar tarafından oluşturulan değişik bir çekirdekten veya eklenen çekirdeklerden bazılarının duvarlara yapışmasından kaynaklanabilir.

Bununla birlikte, bu yaklaşım akışkan geri dönüş borularında sıcaklık azalmasından kaynaklanan silika parçacıklarına bir çözüm sağlamamaktadır. Bu gibi durumlarda; birikintilerin yüzdürülmesi, filtrasyon veya siklonla ayırma gibi geleneksel su arıtma yöntemleri uygulanabilir. Jeotermal uygulamalardaki yüksek akış hızları, bu yöntemlerin kullanılmasında arıtma tesislerinin büyüklüğü bakımından bazı sorunlar yaratabilir. Tablo 3.2 'de bu konuda uygun olabilecek bazı çözümler verilmiştir. [12].

Tablo 3.2. Silika Parçalarının Ayrılması için Uygun Yöntemler [12].

Yöntem	Hidrolik Yük (m^3/m^2h)	Öneriler
Çökeltme (yoğunlaştırıcı + durulama)	1-2	Hidrolik ve konvektif türbülans
Yüzdürme	10-15	Konvektif hareketten kısmen etkilenme
Süzme	0.5-1	Pahalı
Tuz süzme	10-15	Kuvvetli bağlanmış parçacıkların bulunduğu derişimler için uygun değil
Hidrosiklon	> 10	Etkinliği düşük

3.5. Jeotermal Uygulamalarda Korozyon Sorunu

3.5.1. Jeotermal uygulamalarda karşılaşılan korozyon türleri

Jeotermal uygulamalarda kullanılan malzemelerde karşılaşılan korozyon türleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

- Düzgün genel korozyon, metal yüzeylerin daha çok klorür, amonyaklı ürünler veya hidrojen iyonları tarafından daha sonra "pas" şekline dönüşen genel bir saldırıya uğramasıdır
- Çukur korozyonu, metal yüzeyinde aşınmaya neden olan bölgesel bir etkidir. Genellikle yüzeydeki bir tabakanın veya kabuklaşmanın parçalanmasıyla ilgilidir. Ama başlangıcını ve oluşma hızını önceden tahmin etmek mümkün değildir
- Aralık korozyonu, aşınma korozyonuna benzer şekilde bölgesel bir etkidir. Diğer korozyon türlerinden farklı olarak, geometriye bağlı ve ekipmanın yapımından kaynaklanan çatlaklarda veya kabuk kalıntıları altında oluşur
- Gerilmeli korozyon çatlaması, malzemenin gerilme altında kalması ve ortamda klorür iyonunun bulunmasından kaynaklanır ve jeotermal uygulamalardaki en tehlikeli korozyon türüdür. Ortamda bulunan oksijen ve yüksek sıcaklık gerilme çatlamasını arttırır
- Kükürlü gerilim çatlaması, sulu fazda H₂S içeren ortamlarda dayanımı yüksek çelik malzemelerin gerilme altında kalması sonucunda oluşur. Gerilme çatlamasının aksine, oksijen ve yüksek sıcaklığın etkisi yok denecek kadar azdır. pH'ın düşük olması durumunda olay hızlanmasına karşın, bu tür korozyon jeotermal uygulamalardan çok petrol endüstrisinde görülür
- Hidrojen kabartması, düşük dirençli çeliklerin H₂S içeren sulu çözeltilerle karşılaşması sonucunda oluşur. Boşluklara sıkışan hidrojen birikerek, yeterli basınç uygulandığında yırtılmalar oluşabilir. Hidrojen kabarcıklarının oluşabilmesi için, malzemenin gerilme altında bulunmasına gerek yoktur
- Örgü arası korozyon, metalin damarlarındaki veya yakınlarındaki bölgesel etkili bir korozyondur. Uygun olmayan ısıl işlemlerden kaynaklanan bu tür korozyonda, alaşım parçalanır (damarlar ayrılır) ve dayanımını yitirir

- Galvanik eşleme, farklı iki metalin elektriksel olarak etkileşiminden oluşur
- Yorulmalı korozyon, korozif bir ortamda malzeme üzerine düzenli olarak gerilme uygulandığında oluşur. Korozyon yorgunluğu sınırı; gerilme, sıcaklık ve korozif koşullar altında bir kaç gerilme uygulamasından sonra yorgunluğa neden olmayacak en fazla birim gerilmedir. Gerilme ve korozyonun birleşik etkileri, bu olayları tek başlarına verdikleri toplam etkiden daha tehlikelidir
- Örozyon korozyonu, yüksek hızdaki akışkanın damlacık veya parçacıklarının çarpması sonucunda hızlı bir şekilde oluşan metal kaybıdır. Türbinlerin giriş ve çıkışlarında veya iki fazlı akışın olduğu yerlerde önemli olabilir
- Oyulma, metal yüzeylerde buhar kabarcıklarının neden olduğu bölgesel bir korozyondur. [11].

3.5.2. Jeotermal akışkanlardaki korozif etkili maddeler

Jeotermal akışkanlarda, metal yüzeylerde korozyona neden olan başlıca kimyasal maddeler; oksijen, hidrojen iyonu (pH), klorür iyonu, hidrojen sülfid, karbondioksit, amonyak ve sülfat iyonudur. Bazı jeotermal akışkanlarda daha az rastlanan veya daha az etkili olan florür iyonu, ağır metaller ve boron gibi diğer bazı bileşenler de korozif etkiler yaratabilir. Bu maddelerin korozif etkilerinin miktarını tahmin edebilmek aşağıdaki nedenlerden dolayı güçtür:

- İki ya da daha fazla korozif etkili maddenin birbirleriyle etkileşimleri, bu maddelerin tek başlarına oldukları durumda verdikleri etkiden farklı olabilir
- Korozif etkili bir maddenin önemi, korozif etkinin türüne bağlıdır

Jeotermal akışkanlardaki en önemli kirletici, çözülmüş durumda bulunan oksijen'dir. Havalandırılmış jeotermal akışkan, karbon çeliğindeki sabit korozyon hızını on kat artırır. Oksijen, klorür iyonuyla birlikte belirli sıcaklıklarda gerilme çatlamasına neden olabilir. Bazı malzemeler özellikle alüminyum alaşımları koruyucu tabakalarını devam ettirebilmek için çözülmüş oksijene gereksinim duyar. Sıcaklığın yükselebileceği geri dönüş hatlarında oksijen kirliliğinin önlenmesi çok önemlidir.

Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin korozyonu, genellikle pH (hidrojen iyonu) ile kontrol edilir. Çeliğin korozyon oranı pH arttıkça azalır. Düşük pH'lı çözeltiler; aşınma, gerilme çatlama gibi korozyon türlerine neden olabilir.

Sabit korozyon oranı, akışkanda klorür iyonunun bulunmasıyla artar. Klorür iyonu, korozyona dayanıklı alaşımların dayanımlarının azalmasına ve östenit paslanmaz çeliğinde gerilme çatlama neden olur. Sıcaklığın 50 °C'nin üzerinde olduğu durumlarda klorür iyonu derişimi, paslanmaz çeliklerde gerilme çatlama başlatmak için yeterlidir. Klorür iyonları çok hareketli olduğundan ve çukur ve çatlaklarda doygunluğa erişebildiğinden, akışkandaki ortalama klorür iyonu derişimi yanıltıcı olabilir. [12].

- Hidrojen sülfid (H_2S)'in en şiddetli etkisi, bazı bakır ve nikel alaşımlarında görülür. Çelik malzemeler üzerindeki etkisini belirlemek güçtür. Havalandırılmış sulara hidrojen sülfid'in oksidasyonu, pH'ı azaltabilir ve korozyonu artırabilir
- Karbondioksit (CO_2), çözünmüş durumda birçok jeotermal akışkanda doğal olarak bulunur ve karbon çeliği ve düşük alaşımlı çelikler üzerinde korozif etkilidir. CO_2 , jeotermal akışkanlarda pH'ı kontrol etmek için en önemli maddedir. Birçok durumda, yoğunlaşmış buharda çözünmüş olarak bulunan CO_2 'den kaynaklanan düşük pH, jeotermal buhar hatlarındaki pH'ı kontrol eden en önemli etmendir. CO_2 kısmi basıncının artması, çözeltinin pH'ını düşürür

Teorik hesaplamalar, 80 °C'ye kadar CO_2 ve $NaCl_2$ 'lü ortamda uniform korozyon oranının yüksek olduğunu gösterir. 80 °C'nin üstünde kararlı demir katmanları oluşur ve bu tabaka korozyon oranını tahmin edilen değerlere göre daha da yavaşlatır. Amonyak, bazı bakır alaşımlarında gerilme çatlama neden olabilir ve soğutma suyunun pH'ını etkiler. Ağır ve geçiş metal iyonları yükseltgenmiş şekillerinde bulunursa korozif etkili olabilirler fakat, genellikle jeotermal akışkanlarda en düşük yükseltgenmiş durumlarında bulunurlar. Sülfat iyonları genellikle jeotermal akışkanlarda bulunur fakat klorür gibi bölgeselleşmiş şiddetli etkilerde bulunmazlar.

Jeotermal uygulamalarda kabuklaşma ve korozyon sorunlarının önlenmesi, projenin sürekliliği için çok önemlidir. Kabuklaşmanın önlenmesi için uygulanacak yöntemler, jeotermal bölgenin kendine özgü özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir. Jeotermal akışkanın kimyasal içeriğinin bilinmesi, bu ortamlarda kullanılacak malzemelerin nasıl davranış göstereceklerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle, jeotermal kaynakların işletilmeye başlatılmadan önce kimyasal analizlerinin yapılması kullanılacak malzemelerin seçimi ve uygulamanın uzun ömürlü olması bakımından büyük önem taşır.

Jeotermal kuyu içerisine yerleştirilen ve kaynaktaki sıcak akışkandan ikincil bir akışkana ısı aktaran, "kuyu içi ısı dönüştürücüler" kabuklaşma ve korozyon sorunlarının önlenmesinde önemli bir paya sahiptir. Bu tip ısı dönüştürücü parçalarının seçimi, yerleşimi ve temizlenmesi kolaydır. Bunların en önemli üstünlüklerinden birisi, jeotermal akışkanın basınç değerinin kullanım alanlarına gönderilen ikincil akışkanın basıncından bağımsız olmasıdır. Bu tip ısı dönüştürücülerin tasarımında; kuyu delik çapı, kolon borusu çapı, ısı dönüştürücü uzunluğu ve çapı, akış hızı ve sıcaklık değerleri dikkatli bir şekilde seçilmelidir. [11].

Jeotermal uygulamalarda kabuklaşmayı önleyici kimyasal katkı maddeleri, yüksek sıcaklık ve derişimden dolayı sorun oluşturmaktadır. En önemli sorun, birçok çeşitli kimyasal arasından en uygun olanının belirlenmesidir. Jeotermal uygulamalarda karşılaşılan farklı korozyon türleri göz önüne alındığında, sistemde kullanılacak uygun malzemeleri seçmek çok zordur. Akışkanların kimyasallar bileşimleri değiştiği için genelleme yapmak mümkün değildir. Kullanılan malzemelerin korozyon oranının ölçülmesi, dayanıklı malzeme seçiminde etkin bir yöntemdir. Malzeme seçiminden önce, akışkanın kimyasal analizini yaparak korozyona dayanıklı alaşım malzemeleri belirlemek, korozyona sebep olan etmenleri ortamdan uzaklaştırmak ve sistemde metalik malzeme kullanımını en aza indirmek korozyonun önlenmesi bakımından önemlidir. Akışkanın geri dönüşü düşük sıcaklıklarda gerçekleşirse, geri dönüş hatları için fiberglas malzeme bir alternatif olarak düşünülebilir.

3.5.3. Katodik koruma

Metallerin birçoğu su veya hava ile temas ettiğinde korozyona uğrar. Bu, özellikle suyun içindeki veya toprağın altındaki metal borular için büyük bir risktir ve bu boruların yapıldığı metalin korozyona uğramaması için birçok koruma yöntemi geliştirilmiştir. Korozyonu önlemek için bu boruların yanına, onlarla temas edecek şekilde, daha reaktif bir metalin yerleştirildiği koruma metoduna ise katodik koruma denir.

Katodik korumanın uygulandığı birçok farklı alan vardır. Katodik koruma, korunacak metal yapıyı oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyinde yürümekte olan anodik reaksiyonların durdurulmasıdır. Katodik korumada amaç, korunacak olan metalin potansiyelini anodun açık devre potansiyeline kadar polarize etmektir. Bunu sağlamak için metale katodik yönde bir harici akım uygulanır. Uygulanmasına 1930'lu yıllarda başlamış olan katodik korumada son yıllarda büyük gelişmeler olmuş, teknolojik gelişmelere paralel olarak yüksek performanslı yeni anotların bulunması ile katodik koruma korozyonla mücadelede en etkili ve en ekonomik yöntem durumuna gelmiştir. Katodik koruma, dış akım kaynaklı ve galvanik anotlu olmak üzere iki şekilde uygulanır. Dış akım kaynaklı katodik koruma metale dıştan bir doğru akım uygulanarak yapılır. Bir transformator redresör sisteminden elde edilen doğru akım (-) ucu korunacak olan metale (+) ucu da bir yardımcı anota bağlanır. Dış akım kaynaklı sistemde yardımcı anot olarak; toprak altı yapılarında en yaygın olarak kullanılan anot tipi silis katkılı demir anotlardır. Bu anotların dışında yurt dışından ithal edilen grafit ve metaloksit kaplı titanyum anotlarda kullanılmaktadır. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde korunması istenilen metal yapıya kendisinden daha negatif potansiyelde metal (anot) bağlanarak bir galvanik pil oluşturulur. Böylece metal yapı katot haline getirilir. Galvanik anotlar kendiliklerinden çözünerek aynen bir pil gibi akım üretirler. Anodun çözünmesi sonucu açığa çıkan elektronlar, dış bağlantıdan katoda (korunan metal yapı) taşınarak katodik reaksiyon için gerekli olan elektronları sağlar. Galvanik anotlar, koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarını kaybederler. Bunları uygun zaman aralıklarıyla yenileyerek koruma işlevine süreklilik kazandırılır. [21].

Galvanik anotlu katodik koruma (Dış akım kaynaklı katodik koruma) genel kullanım alanları;

- Toprak altındaki doğalgaz, akaryakıt ve su boru hatlarında
- Toprak altındaki LPG, akaryakıt tankları ve yeraltına gömülen çalışma konteynirlerinde
- Tatlı su depolama tanklarının iç yüzeylerinde
- Eşanjörde, termosifonda, sıcak su kazanlarının iç yüzeylerinde
- Diğer her türlü tatlı su ve toprak ile temas halindeki özel yapılarda
- Alüminyum Tip Anot
- Magnezyum Tip Anot
- Magnezyum Torba Tip Anot
- Çinko Tip Anot

Katodik koruma sisteminde potansiyel ve akım değerlerini ölçmek için kullanılan ölçü kutularının ölçüm kutup sayıları, uygulanan katodik koruma sistemine göre değişmektedir. Ayrıca isteğe göre ölçü kutularının dış yüzeyleri sıcak daldırma galvaniz veya istenilen renkte boya ile kaplanmaktadır. [21].

3.6. Jeotermal Akışkanların Konut Isıtmasında Kullanılması

Yıllık fosil enerji tüketiminin % 40'ı, özellikle ısıtma ve endüstride olmak üzere, oldukça düşük sıcaklıkları elde etmek için harcanmaktadır. 1000-1500 °C'lik fosil yakıt yanma sıcaklıkları, konut ısıtması ve proses ısısı olarak 250 °C nin altındaki sıcaklıkları üretmek için kullanılırlar. Bununla çok büyük bir kısmı 55-75 °C' ler arası, konut ısıtmacılığında kullanılmaktadır.

Ülkemizin özellikle batı ve orta batı kesiminde çok sayıda düşük entalpili jeotermal kaynak bulunmakta ve bunlardan ekonomik olarak elektrik enerjisi elde etmek bugünkü teknoloji ile mümkün olmamaktadır. Yine aynı bölgemizde nüfus birçok küçük ilçeye dağılmış bulunmaktadır. Bu ilçelerde konut ısıtması için genelde kömür kullanılmakta olup, hava kirliliği yoğun olarak buraları etkisi altında tutmaktadır.

Genelde düşük entalpili kaynaklar bu amaca yönelik olarak doğrudan kullanım adı altında yurtdışında değişik ülkelerde uzun süreden beri kullanılmakta olup ülkemizde de bu tür uygulamalar başlatılmıştır. Bunların bir kısmı gerçekleştirilmiş olup (Gönen, Simav vb) Bir kısmı da proje ya da tasarım safhasındadır. [12].

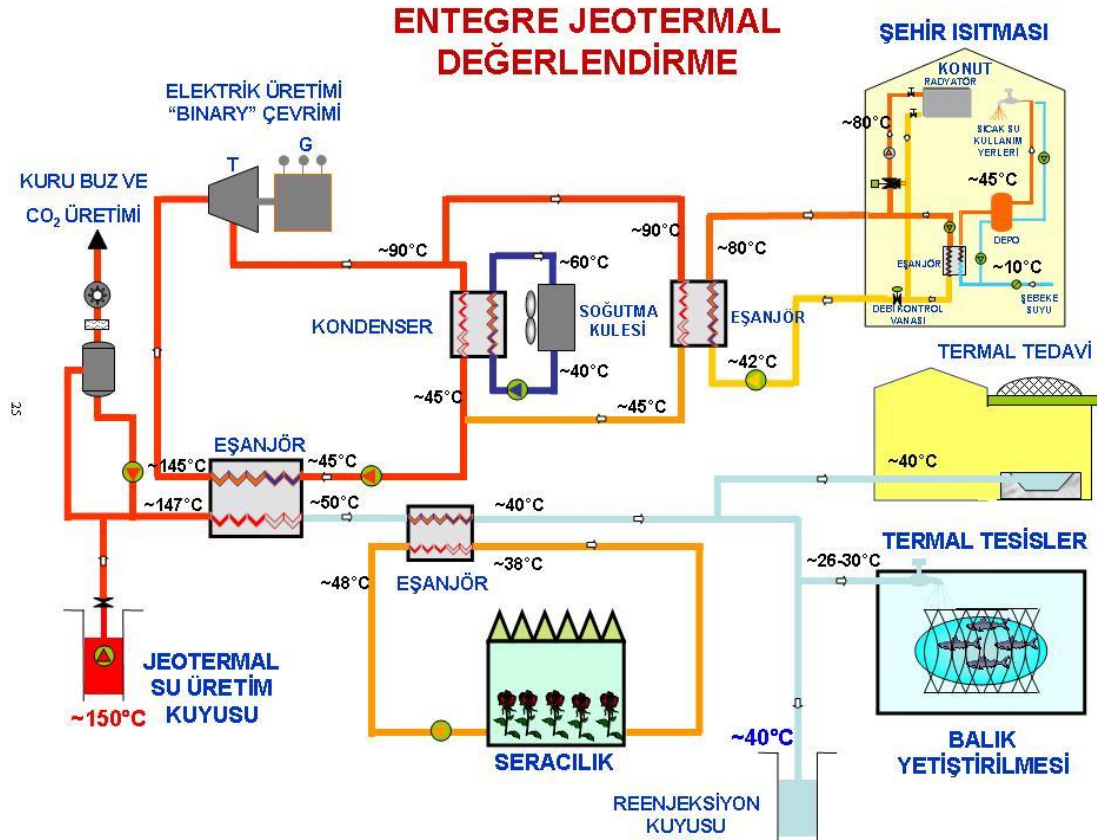
Sonuç olarak, gerek atık jeotermal su, gerekse jeotermal kaynaktan yapılan doğrudan ısıtmanın, kömür ve fueloil ile yapılan ısıtmaya göre daha ucuz olduğu tespit edilmiştir.

3.7. Jeotermal Enerjide Reenjeksiyon Olayı

Reenjeksiyon işlemi en basit anlamda kullanabildiğimiz ve kullanamadığımız jeotermal akışkanın tekrar yer altına basılmasıdır. Aynı sahada yapılan basım işleminin üretim kuyularındaki akışkanın soğumasına neden olabileceği tehlikesini ortaya koymuştur. İlk akla şu konu gelebilir. Bu reenjeksiyon esnasında haznedeki basınçlı su veya buharın akışkanın basılmasına engel olacağı noktasındadır. Halbuki jeotermal kaynakların ilk oluşumu doğal olarak meydana gelen bir enjeksiyon sonucudur. Yağmur suları ile yeraltına sızan akışkan, yerin gözenekli tabakalarına ulaşmakta ve burada karşılaştığı sıcak kütlelerle önce kondüksiyon ile ısı alışverişi yaparak ısınmakta ve sonra konveksiyonla yerin daha üst tabakasına sızarak bir jeotermal haznede toplanmaktadır. Jeotermal enerji üretimi bu büyük hazneden değil daha üst seviyede ısı transferi ile ısınarak oluşan, gözenekli akışkan haznesinden yapılmaktadır. [12].

Reenjeksiyon için ilk akla gelen üretim sahasında üretim dışı kalan kuyular vasıtası ile yapılmaktadır. Fakat böyle bir uygulama; sahada halen üretim yapan kuyuların suyunu soğutmak tehlikesiyle karşı karşıya gelmemize neden olabilir. Diğer bir düşünce yine aynı sahada mevcut daha derin kuyular açmak suretiyle yer katmanlarındaki daha derindeki ısı kaynaklarının beslenmesi düşünülebilir. Diğer bir uygulama ise o sahadan biraz daha uzakta sondaj açmak suretiyle bu işlemin gerçekleştirilmesidir. Burada önemli olan konu; yeraltından mevcut sahaya ısı akışının gerçekleşip gerçekleşmeyeceği konusunda iyi bir araştırmanın yapılması

gerekmektedir. Aksi halde diğer alternatif çözümler üzerinde durulmalıdır. Bu da doğu - batı istikametindeki fay hatlarının dışına taşmak fikrini zorlayacaktır.

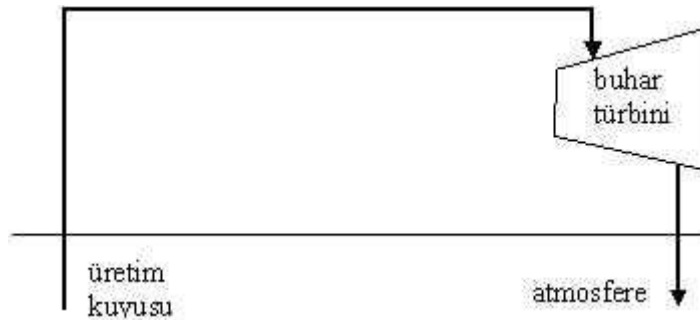


Şekil 3.1. Jeotermal enerjinin kullanıldığı termodinamik çevrimler [10].

Çıkarılan jeotermal akışkanın haline bağlı olarak elektrik üretmek için farklı çevrimler kullanılır. Aşağıda anlatılacak olan çevrimlerin termodinamikteki çevrimin katı tanımına uymadığını belirtmek gerekir. Termodinamikte çevrim bir aracı akışkanın çeşitli hal değişimlerinden geçtikten sonra tekrar ilk haline döndüğü ve bunun tekrarlandığı durumlar için tanımlanmıştır. Bu tanıma Rankine çevrimi tam olarak uyar. Jeotermal elektrik santrallerinde ise jeotermal akışkan yer altından çıkarıldıktan sonra elektrik üretmek için kullanılır ve sonrasında ya atmosfere atılır ya da yer altına enjekte edilir.

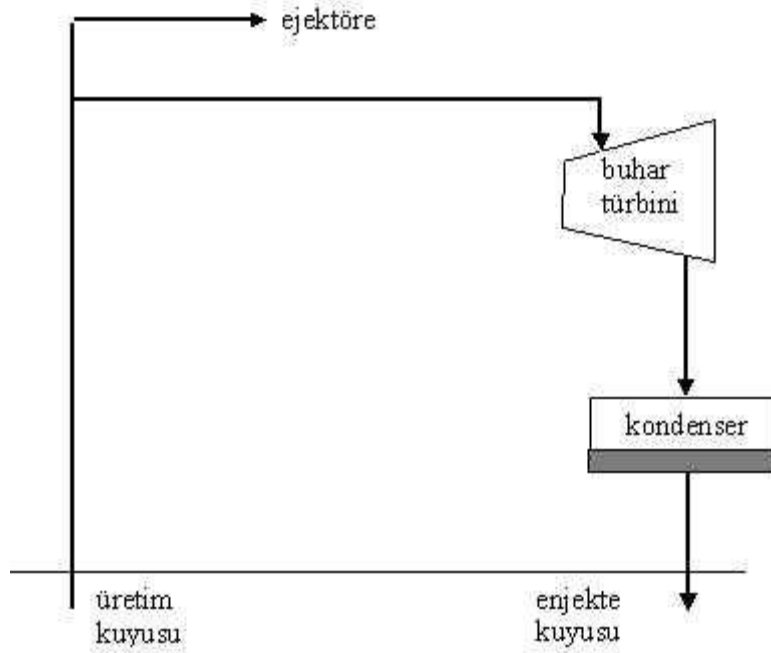
3.8. Kondensersiz ve Kondenserli Kuru Buhar Çevrimleri

En basit ve en ekonomik jeotermal çevrim kondensersiz kuru buhar çevrimidir. (Şekil 3.2) Bu çevrimde, jeotermal kuyudan çıkarılan buhar bir türbinden geçtikten sonra atmosfere atılır. Türbinin çıkışı doğrudan atmosfere açık olduğundan buhar, türbini atmosfer basıncında terk eder. Bu çevrimin avantajı kondenser olmadığı için santralin yapım ve işletme masraflarının kondenserli santrallere göre daha az olmasıdır. Bu çevrimin istenmeyen bir sonucu ise jeotermal buharın doğrudan atmosfere atılmasının çevre kirliliğine yol açmasıdır.



Şekil 3.2. Kondensersiz kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santrali [10].

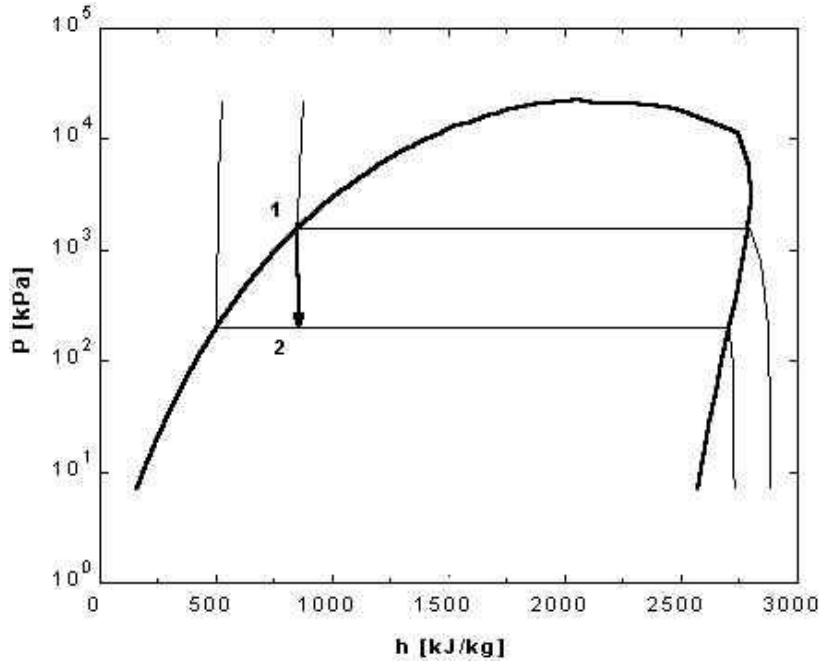
Kondenserli kuru buhar çevrimlerinde, türbinin çıkışında kondenser bulunur. (Şekil 3.3) Jeotermal buhar türbinden geçtikten sonra bir kondensere girer. Kondenserde yoğuşturulan buhar ideal olarak tekrar yer altına enjekte edilir veya atık olarak bir ırmağa veya göle dökülür. Kondenser sayesinde türbinin çıkışında atmosfer basıncının altında bir basınç yani vakum oluşturulur. Buhar, türbini daha düşük basınçta ve daha düşük sıcaklıkta dolayısıyla daha düşük bir entalpide terk eder. Böylece buharın ısı enerjisinin daha büyük bir oranı güce çevrilmiş olur. Bu nedenle kondenserli kuru buhar çevrimleri kondensersiz olanlardan benzer şartlar altında daha çok elektrik üretirler. Fosil yakıtlı buharlı elektrik santrallerinde türbin çıkış basıncının atmosfer basıncının çok altında tutulması aynı nedendir. [10].



Şekil 3.3. Kondenserli kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santrali [10].

3.8.1. Tek ve çift püskürtmeli çevrimler

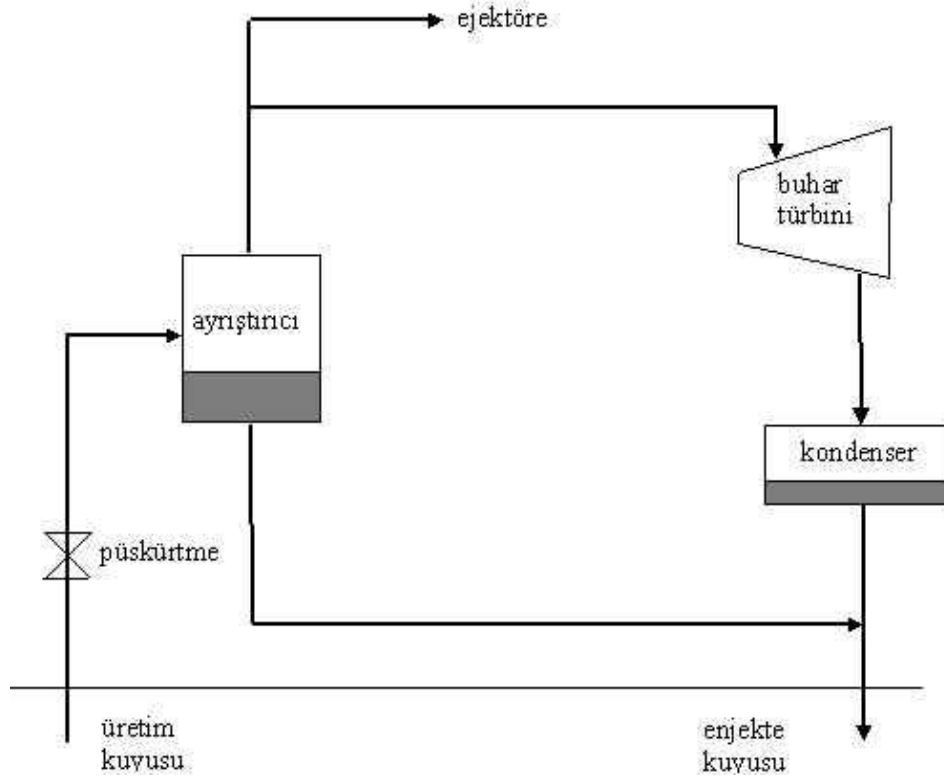
Yer altında çıkarılan jeotermal akışkanın tamamen buhar fazında olması yaygın değildir. Çıkarılan jeotermal akışkan genellikle doymuş sıvı - buhar karışımıdır. Bu durumlarda buhar yüzdesi yeterince yüksekse buhar sıvıdan ayrıştırılır ve buhar türbine gönderilirken kalan sıvı yer altına enjekte edilir. Buhar yüzdesinin düşük olduğu veya jeotermal akışkanın tamamen sıvı fazında olduğu durumlarda püskürtmeli buhar çevrimleri kullanılır. Püskürtme işlemi kısılma vanalarının çalışma prensibine göre püskürtme havuzu adı verilen bir yerde gerçekleştirilir. Püskürtme odasında jeotermal akışkanın basıncı düşürülür. Bu işlem sabit entalpide gerçekleşir. Jeotermal akışkanın püskürtme odasının çıkışında basıncın daha düşük fakat entalpinin girişteki akışkanla aynı olması dolayısıyla sıvının belli bir yüzdesi buharlaşır. Püskürtme işleminden sonra jeotermal akışkanın sıcaklığı düşer. Yeni sıcaklık, yeni basınçtaki doyma sıcaklığıdır. Püskürtme işlemi Şekil 3.4 'de Suyun Basınç - Entalpi (P-h) diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Suyun Basınç - Entalpi diyagramı [10].

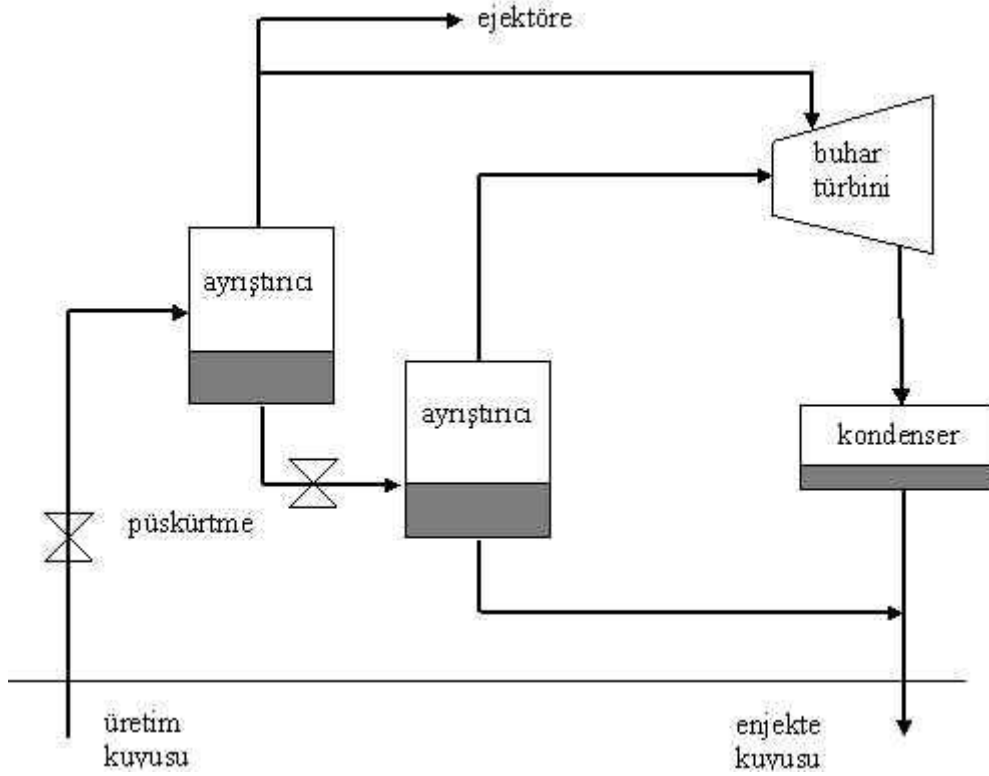
Suyun basınç - entalpi diyagramında püskürtme işleminin görünümü. Su 1 halinde doymuş sıvı, 2 halinde ise doymuş sıvı - buhar karışımıdır.

Şekil 3.5 'de görüldüğü gibi, buhar sıvıdan ayrıştırıldıktan sonra buhar türbine elektrik üretmek için gönderilirken kalan sıvı yer altına enjekte edilir. Türbinden çıkan buhar bir soğutma kulesinde veya püskürtme havuzunda elde edilmiş soğutma suyu ile yoğunlaştırılır ve yer altına enjekte edilir. Soğutma suyu genellikle yer altından çıkarılan ve kullanılan jeotermal akışkandan başka bir şey değildir. Jeotermal santralin bulunduğu yerde ırmak ve göl gibi bir soğuk su kaynağı varsa kondenserde bu suda kullanılabilir. Bütün kondenserli jeotermal buhar çevrimlerinde kondenserler de vakum oluşturmak için buhar ejektörleri kullanılır. [08].



Şekil 3.5. Tek püskürtmeli çevrim jeotermal elektrik santrali. [10].

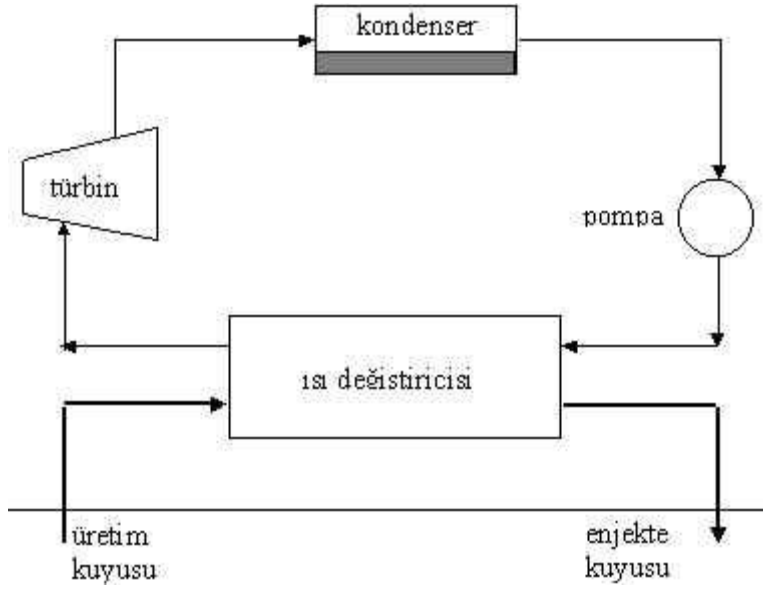
Yer altında çıkarılan jeotermal akışkanın sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda püskürtme işlemi birden fazla tekrarlanabilir. İlk püskürtmeden sonra elde edilen buhar türbine gönderildikten sonra kalan sıvının basıncı veya sıcaklığı hala yüksek ise bu sıvı ikinci bir püskürtme havuzunda tekrar püskürtülür. Sıvının belli bir yüzdesi buharlaşır ve bu buhar türbine gönderilir. İkinci püskürtmeden elde edilen buharın basıncı ilk püskürtmeden elde edilen buhar basıncından daha düşük olduğundan düşük basınçlı buharın, türbine daha düşük bir basınç kademesinde alınması sağlanır. Alternatif olarak santralde düşük basınçlı buhar için ikinci bir türbin kullanılabilir. Püskürtme sayısına göre jeotermal çevrim tek püskürtmeli ve çift püskürtmeli olarak adlandırılırlar. İkinci püskürtme, çevrimden elde edilecek gücü arttırmakla birlikte beraberinde gelen ek yatırım ve işletme masrafları dikkate alındığında ekonomik olmayabilir. Pratikte çift püskürtmeli jeotermal santrallere rastlanmakla beraber ikiden fazla püskürtme ekonomik olmadığı için uygulanmamaktadır. [8].



Şekil 3.6. Çift püskürtmeli çevrim jeotermal elektrik santrali. [10].

3.8.2. İkincil çevrim

Düşük sıcaklıkta (genellikle 170°C 'nin altı) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde ikincil çevrim diye adlandırılan bir çevrim kullanılır. Bu çevrimde türbinden geçen aracı akışkan jeotermal buhar değil fakat ikincil akışkan adı verilen ve kaynama sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığından çok daha düşük olan bir akışkandır. Bu çevrimde jeotermal akışkan çevrimin ısı kaynağını oluşturur. İzobütan, izopentan, pentan ve R-114, jeotermal ikincil çevrim santrallerinde yaygın olarak kullanılan ikincil akışkanlardır.



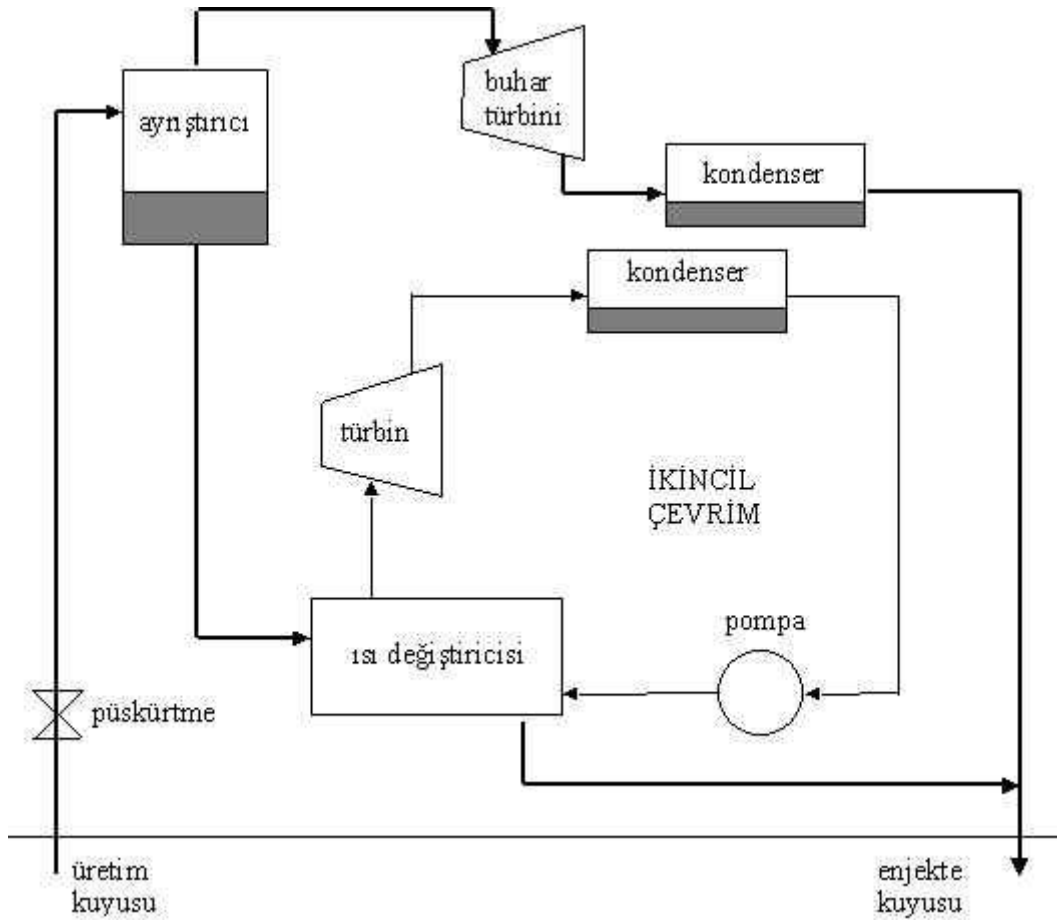
Şekil 3.7. İkincil çevrim jeotermal elektrik santrali. [10].

Jeotermal akışkan kuyu başındaki basıncın yeterince yüksek tutulmasıyla tercihen % 100 sıvı olarak yer altından çıkarılır. Bunun nedeni akışkan akışı için gerekli olan pompa gücünün sıvı fazında daha düşük olması ve pompaların genelde sadece sıvı fazı için tasarlanmış olmasıdır. Jeotermal akışkan bir ısı değiştiricisinden geğirilir ve jeotermal akışkanın ısı enerjisi ısı değiştiricisine diğer uçtan giren ikincil akışkana transfer edilir. Jeotermal akışkan ısı değiştiricisini düşük sıcaklıkta terk eder ve yer altına enjekte edilir. İkincil akışkan ısı değiştiricisinde ısınır ve tamamen buharlaşır ve ısı değiştiricisini doymuş buhar veya hafifçe kızmış buhar olarak terk eder. İkincil akışkan türbinden geçer ve ısı enerjisi dönen mil mekanik gücüne çevrilir. Türbinin mili jeneratörün milini çevirerek mekanik gücün elektriğe dönüşmesini sağlar. Türbini düşük sıcaklıkta ve basınçta terk eden ikincil akışkan kondenser de yoğunlaştırılır. Daha sonra bir pompa yardımıyla basıncı tekrar ısı değiştiricisi basıncına yükselterek ısı değiştiricisine yönlendirilir. Böylece ikincil akışkan termodinamik anlamıyla bir çevrimi tamamlamış olur. İkincil akışkanın tamamladığı bu çevrim aslında Rankine çevrimidir. Jeotermal akışkanın bu santraldeki fonksiyonu sadece Rankine çevrimine ısı kaynak oluşturmaktır. İkincil akışkanın termo fiziksel ve kritik özellikleri ikincil jeotermal çevrimlerin performanslarını etkiler. Bu yüzden, belli bir jeotermal kaynaktan en fazla gücün üretilmesi için en uygun ikincil akışkanın seçilmesi gerekir.

Kondenserde soğutucu ortam olarak genellikle hava kullanılır. Jeotermal santralin yer seçimi jeotermal kaynağın yeriyle sınırlandırıldığından bir ırmak veya göl suyu ile soğutma genelde mümkün olmaz. Havanın soğutucu akışkan olarak kullanılması çevrenin temiz tutulmasına katkı sağlar fakat çevrimin verimini özellikle yaz günlerinde olumsuz olarak etkiler. Hava ile soğutmanın mevsimlere göre çevrim verimine etkisi gerçek bir ikincil çevrim jeotermal santral için önceden incelenmelidir.

3.8.3. Birleşik püskürtmeli / ikincil çevrim

Jeotermal elektrik üretiminde özellikle son 10 yılda popüler olmaya başlayan yeni bir çevrim birleşik püskürtmeli / ikincil çevrimdir. Bu çevrim hem püskürtmeli hem ikincil çevrimlerin avantajlarından aynı anda yararlanmayı amaçlar. Bu çevrim yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar için uygundur ve bu özelliğiyle çift püskürtmeli çevrimlere bir alternatif oluşturur. Jeotermal akışkan püskürtme havuzunda püskürtüldükten sonra elde edilen buhar bir buhar türbininden geçer ve elektrik elde edilir. Kondenserde yoğunlaştırılan jeotermal akışkan tekrar yer altına enjekte edilir. Püskürtme havuzundan çıkan jeotermal sıvı ikincil çevrimin ısı değiştiricisinden geçerek ısı enerjisini ikincil akışkana transfer eder ve yer altına enjekte edilir. İkincil akışkan ikincil çevrimin türbininden geçerek elektrik elde edilir ve ikincil çevrim tamamlanır. [8].



Şekil 3.8. Birleşik püskürtme/ikincil çevrim jeotermal elektrik santrali. [10].

Birleşik çevrimde jeotermal buharın ve ikincil akışkanın geçtiği iki ayrı türbin vardır. Benzer jeotermal kaynakları kullanan çift püskürtmeli ve birleşik püskürtmeli/ikincil çevrimler karşılaştırıldığında birleşik çevrimden daha fazla elektrik üretilebildiği; çift püskürtmeli çevrimin ise yapım ve işletme masraflarının daha düşük olduğu görülür. Benzer bir karşılaştırma tek püskürtmeli ve ikincil çevrim için de geçerlidir. Belli bir jeotermal kaynaktan elektrik üretilmesi planlanıyorsa, en uygun çevrimin seçimi detaylı bir termodinamik ve ekonomik analiz sonucunda yapılabilir.

3.9. Çevrimlerin Verimleri ve Geliştirilme Potansiyelleri

Üretilen net gücün kaynaktaki veya kuyu başındaki jeotermal akışkanın enerjisine oranı olarak tanımlanan buhar çevrimlerinin ısıl verimleri % 10 ile % 17 arasında

değişir. Bu yüzdelerin düşük olmasının nedeni jeotermal kaynakların düşük sıcaklıkta olmasıdır. Aynı şekilde tanımlanan ikincil santrallerin ısı verimleri % 2.8 ile % 5.5 arasında değişir. Bu yüzdelerin daha da düşük olmalarının nedeni ikincil santrallerin daha düşük sıcaklıkta jeotermal kaynakları kullanmalarıdır. Ayrıca ikincil santrallerin çoğu için soğutma ortamı olarak sadece hava mevcuttur ve bu nedenle kondenser sıcaklığı özellikle yaz aylarında yüksektir. Bu durum ısı veriminin düşük olmasına neden olur. Alternatif olarak ikincil santraller için üretilen net gücün ikincil akışkana transfer edilen ısıya oranı olarak bir dönüşüm verimi tanımlanabilir. Aslında tanımlanan Rankine çevriminin ısı verimidir. Dönüşüm verimi % 6 ile % 12 arasında değişir. Yani bir ikincil santral kullanılan jeotermal enerjinin sadece % 6 ile % 12'sini elektriğe dönüştürürken geriye kalan % 88 ile % 94'ünü atmosfere atık ısı olarak atar. [8].

Dünyada olan jeotermal elektrik santrallerinin çoğu 1970 ve 1980'lerde özellikle 1973 petrol krizinden sonra yapılmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından elektrik üretmeye olan aşırı istek ve jeotermal enerjinin bedava olması nedenleriyle bu süreçte jeotermal santrallerin tasarımında gerekli dikkat gösterilmemiştir. Birleşik Püskürtmeli/ikincil çevrimler ancak son on yılda pratiğe sunulabilmiştir. Yeni jeotermal elektrik santrallerinin tasarımı yeni ve ileri teknolojiler kullanılarak yapılmaktadır. Bununla beraber, eskiden yapılmış jeotermal elektrik santrallerinde bugünkü teknolojilerin kullanılmasıyla yapılacak değişiklikler, bu santrallerin performanslarını % 50'ye varan oranlarda arttırabilir. Bu değişiklikler arasında santral için farklı bir çevrimin seçilmesi, çevrimin çalışma şartlarının optimizasyonu, ikincil çevrimlerde ikincil akışkanın değiştirilmesi ve kojenerasyon (birleşik ısı - elektrik üretimi) uygulanması sayılabilir.

3.10. Ekonomik Veriler

Jeotermal uygulamalar ilk masraflarının yüksekliği ve çalıştırma ve bakım masraflarının azlığı ile bilinirler. Elektrik üretimi için olan toplam masrafların yaklaşık % 50'sini jeotermal akışkanın yer altından çıkarılması ve tekrar yer altına enjekte edilmesi; % 40'ını elektrik santralinin yapılması ve kalan % 10'unu ise diğer masraflar oluşturur. Üretim ve enjekte kuyularının delme ve geliştirme masrafları

üretilecek her kw elektrik için 500 dolarla 4000 dolar arasında değişirken elektrik santralının yapım masrafları üretilecek her kw elektrik için 1500 dolarla 1700 dolar arasında değişir. Dolayısıyla toplam masraflar her kw için 2000 dolarla 6000 dolar arasında değişir. Çalıştırma ve bakım masrafları toplam elektrik üretimi masraflarının % 10'u ile % 20'si arasındadır. Elektrik üretim masrafları üretilen her kwh elektrik için 0.03 dolarla 0.12 dolar arasında değişir. Petrol ve kömür yakıtlı ve nükleer elektrik santrallerinde her kwh elektriğin masrafı yaklaşık 0.06 dolarken hidroelektrik santrallerinde bu masraf 0.03 dolarla 0.09 dolar arasındadır. [12].

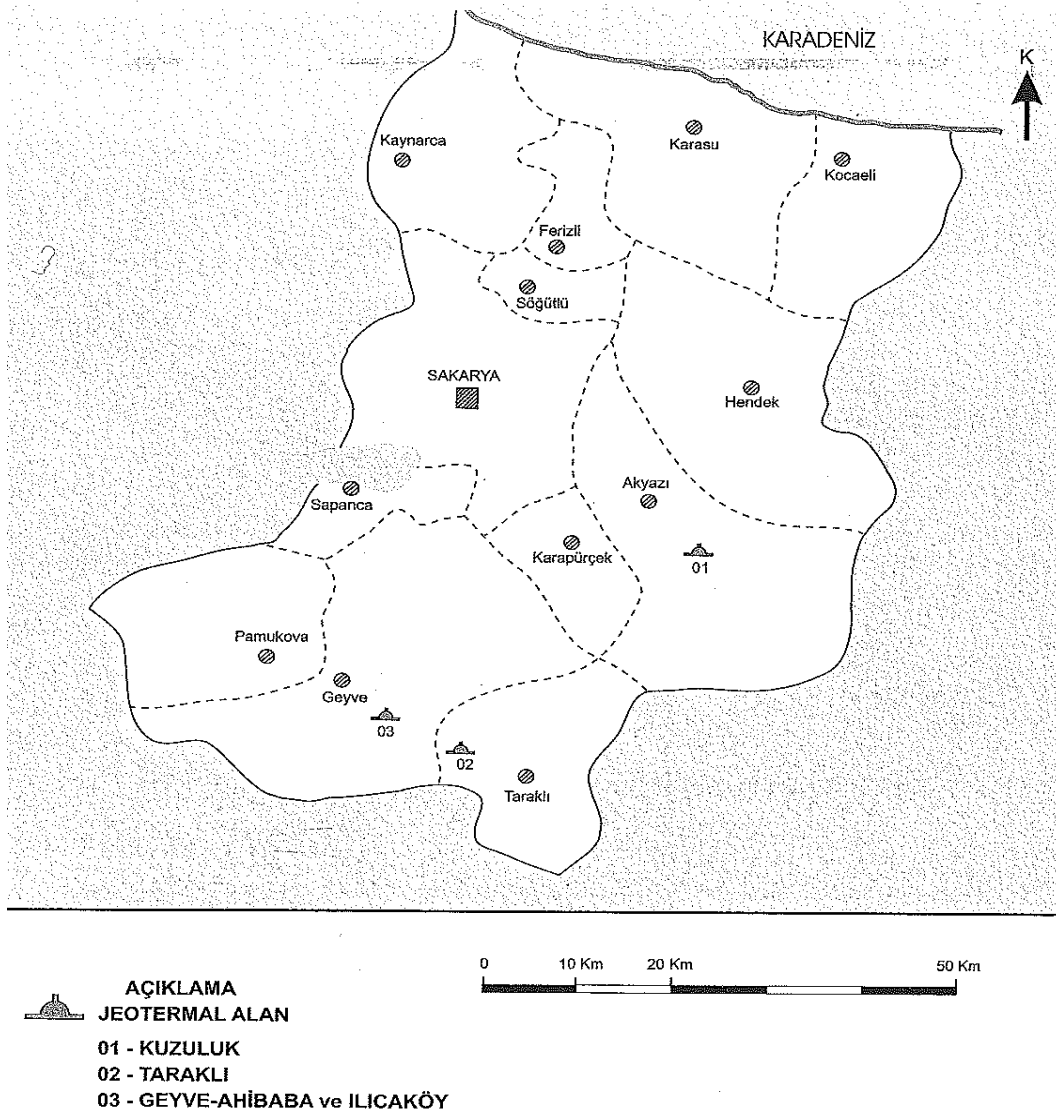
Jeotermal elektrik santralleri hidroelektrik santrallerinden daha ekonomik olarak ve daha küçük boyutlarda yapılabilirler. Kondensersiz bir jeotermal elektrik santralının yapım masrafı üretilecek her kw elektrik için 1050 dolarla 1250 dolar arasındayken kondenserli bir santralin masrafı 1500 dolarla 1700 dolar arasında değişir. İkincil bir santralin masrafı ise yaklaşık 1900 dolardır. Jeotermal enerjinin bölge ısıtması ve soğutmasında kullanılmasıyla karşılaştırıldığında, jeotermal elektrik santrallerinin yapım masraflarının daha düşük olduğu ve kendini amorti etme süresinin daha kısa olmaktadır. [10].

BÖLÜM 4. SAKARYA VE KUZULUK JEOTERMAL BÖLGESİ

4.1. Jeotermal Enerjide Sakarya'nın Konumu

Sakarya ilinde 26 °C ile 51 °C arasında sıcaklığa sahip su kaynakları bulunmaktadır. (Şekil 4.1) Akyazı ilçesinin Kuzuluk köyünde jeotermalde açılan sondajlardan ise; 60 °C ile 84 °C arasında sıcak su elde edilmiştir.

Sakarya termal kaynaklar bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Acı su içmesi, Kil hamamı kaplıcaları, Kuzuluk kaplıcaları (Şekil 4.1), Çökek kaplıcası ve Ilıcak köyü gazlı suyu her yıl binlerce kişiyi ağırlamaktadır. Özellikle Kuzuluk kaplıcaları yörede sağlık turizminin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 4.1. Sakarya ili jeotermal alanları [2].

4.2. Kuzuluk Kaplıcaları

1996 yılında faaliyete geçen Kuzuluk evleri, Kuzuluk köyünde bulunan tek kür merkezidir. Merkezde, toplu kullanıma sunulan 250 kişilik lokanta, 250 kişilik eğlence merkezi, kafeterya, alış - veriş merkezi, 20 araçlık gocart araç pisti bulunmaktadır. Şifalı kaplıca sularından yararlanmak için, kapalı havuz ve dairelerin içinde bulunan kütetler kullanılmaktadır. [13].

Alanın tabanında Paleozoyik yaşlı metamorfitleler yer alır. Bu ayırtlanmamış metamorfitleler muskovit - kuvarşşist, kuvars – albit - mikaşist, mermer ve rekrystalize

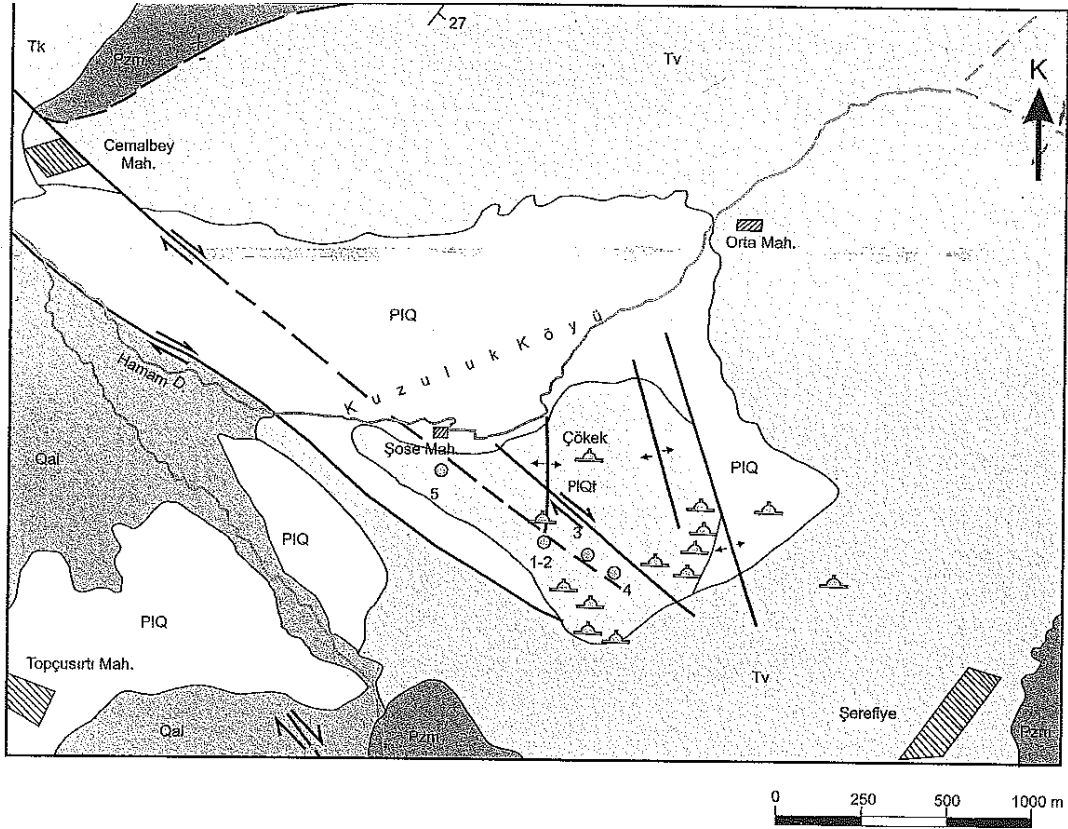
kireçtaşlarından oluşur. Metamorfitlerin üzerinde Paleosen yaşlı ortalama 400 m kalınlığa sahip yer, yer tabakalı, fosilli ve karstik boşluklu kireçtaşları uyumsuz olarak yer alır. Bu kireçtaşı seviyelerini, andezit, bazalt ve tüflerden oluşan Eosen yaşlı ve maksimum 200 m kalınlığa ulaşan volkanik kayalar uyumsuz olarak örter. Birim genellikle yuvarlak şekilli metamorfik ve volkanik kayalar çakılları, killi, kumlu ve karbonatlı çimento ile gevşek olarak tutturulmuş, en çok 70 m kalınlığındaki Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökekler tarafından örtülür. Sahada gözlenen travertenler Pliyo-Kuvaterner yaşlı, alüvyonlar ise Kuvaterner yaşlı birimlerdir. (Şekil 4.2) [2].

Sahada Kuzey Anadolu Fayına bağlı olarak, genellikle kuzey batı, güney doğu uzanımlı faylar gelişmiştir. Ayrıca travertenlerin olduğu alanda yaklaşık kuzey güney doğrultulu bir takım açılma çatlakları gözlenmektedir.

Paleosen yaşlı kireçtaşları rezervuar, Pliyo - Kuvaterner yaşlı çökellerin killi - siltli seviyeleri de örtü kaya özelliğindedir. Açılan kuyulardaki sıcak sular söz konusu rezervuarlardan üretilmektedir.

4.2.1. Kuzuluk sıcak su kaynakları

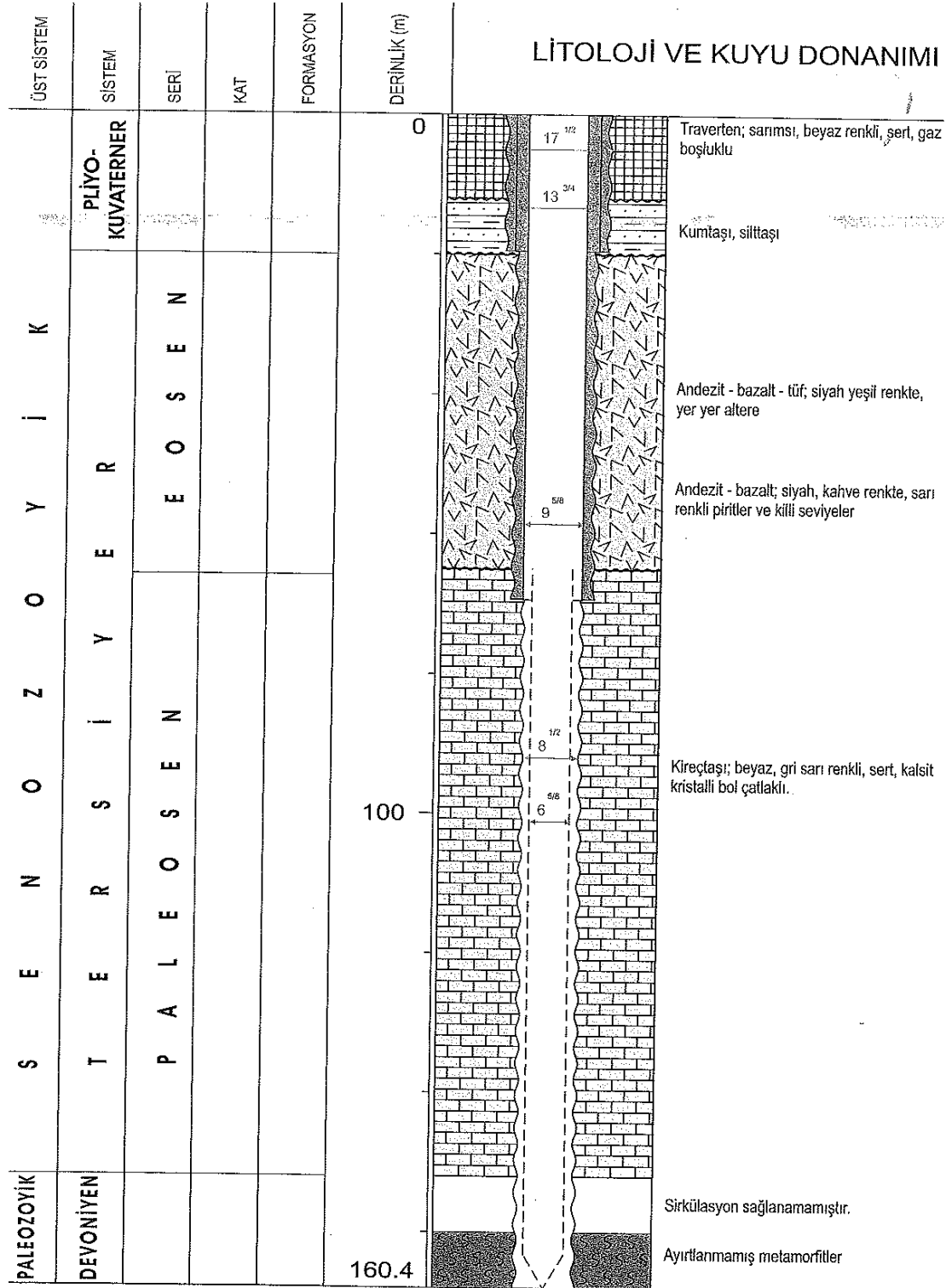
Kuzuluk köyü güneyinde travertenlerin çökeldiği alanda 14 kaynak halinde yüzeyleyen sıcak su kaynakları, sondajlardan sonra kurumuştur.



AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	Kuvaterner	Qal	Alüvyon		Dokanak
	Pliyo-Kuvaterner	PIQt	Traverten		Doğrultu atımlı fay
		PIQ	Çakıltaşı, kumtaşı		Olası doğrultu atımlı fay
	Eosen	Tv	Bazalt, andezit, tuf		Açılma çatlakları
PALEOZOYİK	Paleosen	Tk	Kireçtaşı		Sıcak su kaynağı
		Pzi	Ayrılanmamış metamorfittler		Sıcak su sondajı

Şekil 4.2. Kuzuluk jeotermal alanının jeolojik haritası [15].



Şekil 4.3. Kuzuluk K-3 kuyusu litoloji ve kuyu donanımı [14].

4.2.2. Kuzuluk Sondaj Kuyuları

Akyazı Kuzulukta yapılan jeolojik ve jeofizik etüdler sonucu elde edilen veriler neticesinde bölgeye beş adet açılan kaynağa ait sondaj verileri Tablo 4.1 'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Akyazı'daki Jeotermal Kuyulara Ait Veriler [20].

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Ölçülen En Yüksek Sıcaklık (°C)	Maksimum Üretim Debisi (l/s)	Üretim şekli
K-1	1987	250	84	21	Artezyen tipi
K-2	1987	161	84	20	-
K-3	1994	161	80	140	Artezyen tipi
K-4	1995	191	82	140	Artezyen tipi
K-5	1997	411	60	15	Artezyen tipi

Kuzuluk kaplıcasın da 2 kuyu açılarak işletme devreye alınmıştır. Bu kuyulara ait resimler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 de görülebilir. Açılan kuyulardan birinde yılın büyük bir kısmında pompaya gerek duyulmadan (Basıncılı yer altı suyu tipi) kendi basıncı ile sıcak su yeryüzüne çıkmaktadır. (Şekil 4.6)

Kuyudan çıkan sıcak suyun debisinde ileriki yıllarda azalma gözlenmiştir. Yapılan incelemede reenjeksiyon yapılmadığı (reenjeksiyon ilk kuruluş maliyetini arttıran fakat işletmenin devamlılığını sağlayan önemli bir yöntemdir.) için yeraltında bulunan suyun azaldığı öngörülmüştür. Yeni reenjeksiyon kuyusu açılmıştır. Reenjeksiyon kuyusu ile konut ısıtılmasında kullanılan temiz suyun tekrar yer altına verilmesi sağlanmıştır.

Yeni kuyu devreye alındıktan sonra işletmede çıkan sıcak su debisindeki azalmanın devam ettiği görülmüştür. İşletmenin devamlılığını sağlamak için bir kuyu daha

açılmıştır. Bu açılan kuyu yedek olarak aktif, halen kullanılmaktadır. Yılın büyük kısmında bu kuyudan çıkan sıcak suya ihtiyaç bulunmamaktadır.

Debi azalması incelendiğinde sebebinin kuyunun 6 mt lik borularının kaynak noktalarındaki kireçlenme yapmasının olduğu tespit edilmiştir. Bu kireç tabakası kuyu boru çapını daraltmaktadır. Daralma ile suyun debisinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu kireç tabakaları kuyulara yeni sondaj yapılarak temizlenmiştir. Kireçlenmenin oluşumunu önlemek için ayrıca inhibitör kullanılmaya başlanmıştır. 190 mt lik kuyunun 110 mt sinden kireç oluşumunu önleyici inhibitör kuyuya verilmektedir.

Kullanılan uygun inhibitör (4-8 ppm):Permulsium SL, Sequien D 30 ve Henkel [20].



Şekil 4.4. Kuzuluk kaplıcasına ait kuyunun dıştan görüntüsü.



Şekil 4.5. Kuzuluk kaplıcasına ait kuyunun içten görüntüsü.



Şekil 4.6. Kuzuluk kaplıcasına ait kuyudan basınçlı su çıkış görüntüsü.

Kaplıcada 1470 adet dairede (Şekil 4.7) konut ısıtılmasında ve banyoda küvetlerde kaplıca sıcak suyu olarak 40 °C de sıcak su kullanılmaktadır. 1 adet idari bina, 1 adet otel, 2 adet kaplıca havuzu, 2 adet pastane, 1 adet cami ve buna ait 3 adet lojmanında da sıcak su ihtiyacı sağlanmaktadır.



Şekil 4.7. Kuzuluk kaplıcasındaki konutlar.

Kaplıcada 2 adet kuyudan elde edilen sıcak su kazan dairesinde bulunan ve ebatları 5,5 m x 11 m x 3 m olan beton depolara dökülmektedir. Bu depolardan toplam 3 adet mevcuttur. Depolar Şekil 4.8 'de görülen yerin altında bulunmaktadır.

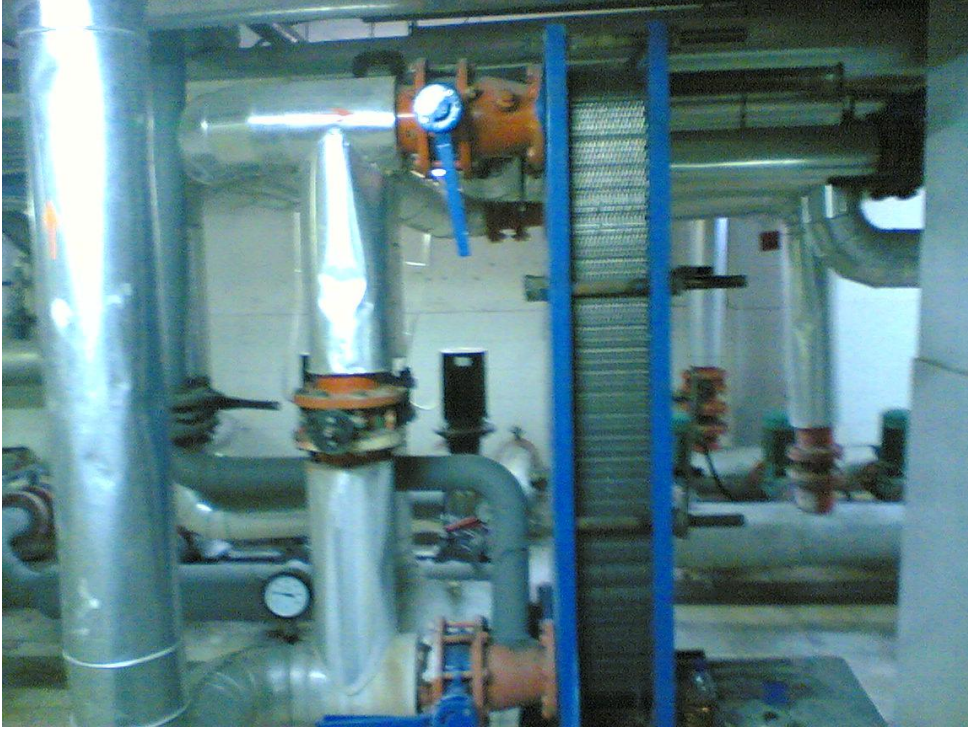
Kaplıcada çıkan sıcak su öncelikle depolarda stoklanmaktadır. Stoklanan su daha sonra Şekil 4.9 'da görülen kazan dairesindeki Şekil 4.10 'de görülen plakalı eşanjörler yardımı ile kapalı çevrimde bulunan konut ısıtma sıcak suyunun ısıtılmasını sağlanmaktadır. Yaz aylarında ise konut ısıtılması yapılmadığı için ihtiyacın üzerinde sıcak su oluşmaktadır. Küvetlere kaplıca suyu 40 °C de verilmektedir. Bu sebepten yaz aylarında Şekil 4.11 de görülen soğutma kuleleri çalıştırılarak suyun sıcaklığı düşürülmektedir.



Şekil 4.8. Kuzuluk kaplıcasının sıcak su depoları.



Şekil 4.9. Kuzuluk kaplıcasının kazan dairesi.



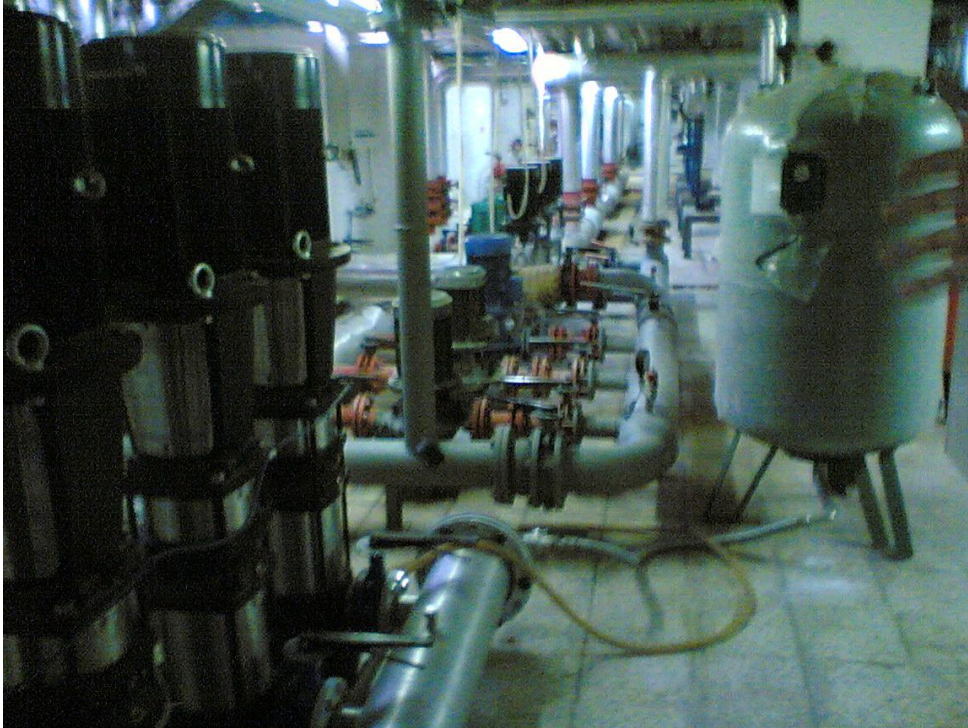
Şekil 4.10. Kuzuluk kaplıcasının kazan dairesindeki ısı plakaları.



Şekil 4.11. Kuzuluk kaplıcasının soğutma kuleleri.

Kuzuluğun kazan dairesinde çok sayıda sirkülasyon pompası mevcuttur. (Şekil 4.12) Bu pompalar yer altından gelen sıcak su ile temas ettikleri için kireçlenmekte ve çok kısa sürede salmastraları arızalanmaktadır. Şekil 4.13 'de görülen sirkülasyon pompaları kısa süre önce temin edilmiştir. Yeni pompalar kireçle kaplanmaya başlamışlardır. Bu oluşumu önlemek için, kireç oluşmadan engellemek gereklidir. Kireç oluşumunun ana sebebi ise yeraltından gelen sıcak suyun içerisinde erimiş çok miktarda mineral mevcuttur. Bu mineraller ani soğuma, şok yada oksijenle temas ettikleri yüzeyde kristalleşerek Pamukkale'deki traverten benzeri tabakalar oluşturmaktadırlar.

Kireç oluşumunu önlemek için bu sıcak suyun hava ile teması kesilerek Şekil 4.14'de görülen sistem uygulamaya alınmıştır. Bu sistemde Sirkülasyon pompalarının salmastralarının bulunduğu yere şebeke suyu verilmektedir. Bu şebeke suyunun basıncı 6 bar dır. Kaplıca suyunun basıncı ise 5 bar basınçta tutulmaktadır. Şebeke suyunun basıncı her zaman kaplıca suyundan yüksek olduğundan kaplıca suyu kesinlikle salmastralar ile temas etmemekte bu da kireç oluşumunu kesinlikle önlemektedir.



Şekil 4.12. Kuzuluk kaplıcasının kazan dairesindeki sirkülasyon pompaları.



Şekil 4.13. Kuzuluk kaplıcasının kireçlenmiş sirkülasyon pompaları.



Şekil 4.14. Kuzuluk kaplıcasının yeni sistem sirkülasyon pompaları.

Kuzuluk harici Sakarya ilinde başka jeotermal alanlar da bulunmaktadır. Bunlar Akyazı, Kaynarca, Söğütü, Ferizli, Karasu, Kocaali, Karapürçek, Sapanca, Pamukova, ve Taraklı bölgelerindedir. Bu bölgelerde tam anlamıyla detaylı bir çalışma olmamakla beraber yapılan çalışmalar 26 °C – 51 °C arası sıcak su kaynaklarının bulunduğunu göstermektedir.

BÖLÜM 5. AKYAZI İÇİN JEOTERMAL EKONOMİKLİK ETÜDÜ

5.1. Akyazı'da Jeotermal Genel Bilgi

Akyazı Kuzuluk Kaplıcaları işletmeciliğini yapan İhlas Holding A.Ş. ile 25.03.1994 tarihinde Sakarya Valiliği ve Kuzuluk belediye başkanlığı arasında imzalanan protokolda İhlas Holding'in imtiyaz sahası 3 km kuzey, güney, doğu ve batı olarak jeotermal alan tespit edilmiştir. [16].

Bu imtiyazlı alandan jeotermalden faydalanma hakkı, sondaj kuyusu açma vb sadece İhlas Holding'e aittir. Bu mesafenin tespitinde mevcut tesisin jeotermal rezervlerini etkileyebileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Ekim 2005 de Orme jeotermal müh. San. ve Tic. A.Ş. tarafından gerçekleştirilen fizibilite raporuna göre bölgede; "Toplam 3150 konut kapasiteli Kuzuluk jeotermal merkezi ısıtma sisteminden konutların sağlayacağı ısı enerjisinin tüketiciye maliyeti en fazla 0,7 cent/kwh'dir. Aynı hizmet kalorifer yakıtı ile 4,3 cent/kwh, doğalgaz ile 3,8 cent/kwh olmaktadır." [16].

Bu çalışmada; Akyazı bölgesinin konut ısıtma ve kullanım sıcak suyu uygulaması için yerleşimin çok dağınık bir yapıya sahip olduğundan yapılacak jeotermal yatırımın minimize edilebilmesi için çok sayıda konutun dahil olduğu ve ayrıca bölgedeki sanayi kuruluşlarının da katıldığı, son olarak daha derinlere sondaj yapılarak daha fazla sıcaklıkta ve debide ve çok sayıda kuyu açılarak yüksek sıcaklıktaki jeotermalden elektrik üretilebileceği ve böylece maliyetlerin çok düşük seviyede olacağı öngörülmüştür.

Jeotermal merkezi ısıtma sistemi yatırımları ticari yatırım olarak değerlendirildiğinde, kendilerini 5 ile 8 yıl içerisinde reel olarak geri ödemektedirler.

Vatandaşın, jeotermale dönüşüm için vermiş olduğu katkı payı, kendisine; diğer alternatif yakıtlarla (kömür, fuel-oil, motorin, doğalgaz) ısınmaya kıyasla 1-3 yılda geri dönmektedir. [16].

5.2.Akyazı'daki Konutların Isı Enerjisi Taleplerinin Belirlenmesi

5.2.1. Konut için genel veriler

Merkezi ısıtma yapılacak yerin

Adı : Akyazı / Kuzuluk köyü – Sakarya

Rakım : + 50 m

Dış hava dizayn sıcaklığı : - 6 °C, Rüzgarlı

Kış sezonu ortalama dış hava sıcaklığı : + 8,73 °C

Ocak ayı en düşük dış hava sıcaklığı : - 9,1 °C

Yıl içinde en düşük dış hava sıcaklığı : - 13 °C (Şubat 1991 5 gün)

Isıtma yapılacak ortalama dış hava sıcaklığı : + 15 °C ve altı

Konfor sıcaklığı (Oda sıcaklığı) : + 20 °C oda

5.2.2. Binalarda ısı yükü hesabı

Kalorifer tesisatı proje hazırlama teknik esaslarına göre

Kuzuluk yerleşim bölgesi 2. ısı bölgesinde bulunmaktadır.

$T_{du} = - 6 \text{ °C}$ (Dış duvar dizayn sıcaklığı)

$T_{kapı} = - 6 \text{ °C}$ (Dış dizayn sıcaklığı)

$T_p = - 6 \text{ °C}$ (Pencere dizayn sıcaklığı)

$T_{dö} = + 8 \text{ °C}$ (Döşeme altı sıcaklığı)

$T_ç = - 4 \text{ °C}$ (Çatı arası sıcaklığı)

$T_{oda} = + 20 \text{ °C}$ (Oda sıcaklığı)

Kuzuluk yerleşim bölgesinde yapılan gözlemler sonucu oluşturulan bir model binanın birim ısı yükü hesabı aşağıdaki gibi olmaktadır

Model binanın özellikleri

Her katta 100 m² lik bir daire

Her dairede 7 m² pencere alanı toplam 2 daire 14 m² pencere alanı

Her dairede 5 m² kapı alanı toplam 2 daire 10 m² kapı alanı

Bodrum yok. Zemin + 1 katlı toplam 2 katlı bina

Binadaki toplam daire sayısı 2

Bina boyutları 8 m x 13 m

Bina oturma alanı 104 m² (4 m² ortak kullanım)

Kat yüksekliği 3 m (net 2,8 m)

$A_{du} = 228 \text{ m}^2$, $A_p = 14 \text{ m}^2$, $A_{\text{ç}} = 104 \text{ m}^2$, $A_{dö} = 104 \text{ m}^2$, $A_{\text{kapı}} = 10 \text{ m}^2$,

Yapı bileşenlerinin TS825 / 22 Mayıs 2008 ısı yalıtımı yönetmeliği'ne göre ısı geçirgenlik katsayısı:

$U_{du} = 1,5 \text{ w/m}^2\text{K}$, U_p (Tek cam ahşap pencere) = 5,1 w/m²K, $U_{\text{çatı}} = 0,48 \text{ w/m}^2\text{K}$,

$U_{dö} = 0,45 \text{ w/m}^2\text{K}$, $U_{\text{kapı}} = 5 \text{ w/m}^2\text{K}$,

İletimsel ısı kaybı

$$Q_{il} = (A_{du} \times U_{du} \times (T_{oda} - T_{du})) + (A_p \times U_p \times (T_{oda} - T_p)) + (A_{\text{ç}} \times U_{\text{çatı}} \times (T_{oda} - T_{\text{ç}})) + (A_{dö} \times U_{dö} \times (T_{oda} - T_{dö})) + (A_{\text{kapı}} \times U_{\text{kapı}} \times (T_{oda} - T_{\text{kapı}}))$$

$$Q_{il} = 228 \times 1,5 \times (20 - (-6)) + 14 \times 5,1 \times (20 - (-6)) + 104 \times 0,48 \times (20 - (-4)) + 104 \times 0,45 \times (20 - (+8)) + 10 \times 5 \times (20 - (-6))$$

$$Q_{il} = 13.808,08 \text{ w (İletimsel ısı kaybı)}$$

İnfiltrasyon ısı kaybı zamsız iletimsel ısı kaybının % 20 'si kabul edilmiştir.

$$Q_{inf} = 13.808,08 \times 0,2$$

$$Q_{inf} = 2.761,62 \text{ w (İnfiltrasyon ısı kaybı)}$$

Bu binanın toplam ısı kaybı

$$Q_{Top} = Q_{il} + Q_{inf}$$

$$Q_{Top} = 13.808,08 + 2.761,62$$

$$Q_{Top} = 16.569,7 \text{ w (2 dairenin ısı yükü)}$$

100 m² 'lik evin ortalama ısı yükü = 8.284,85 w' dır.

100 m² 'lik evin ortalama ısı yükü = 8,28 kw' dır.

1 saatlik enerji ihtiyacı 8,28 kw x 1 h = 8,28 kwh (1 dairenin yükü)

(Isıtma 203 gün boyunca ve günlük 18'er saat süre ile kullanıldığı varsayılmıştır. Kalorifer tesisatı proje hazırlama esasları tmmob makine mühendisleri odası yayınına göre)

1 yıllık toplam ısıtma için enerji ihtiyacı

$$8,28 \text{ kw} \times 203 \text{ gün} \times 18 \text{ Saat} = 30.255,12 \text{ kwh}$$

Dış hava ortam sıcaklığı + 15 °C ve altında ısıtma yapılacağı esası ile ısıtma sezonu 20 Ekim – 10 Mayıs arası 203 gündür. (Şubat ayı 29 gün alınmıştır.) [16].

Tablo 5.1. Akyazı'daki Nüfus ve Konut Adetleri

SAKARYA İLİ	NÜFUS (1997)	Şehir	Köy	Konut Sayısı (Şehir)	Konut Sayısı (Köy)
Adapazarı	356129	183265	172864	42422	31487
Akyazı	72574	23033	49541	4799	9024
Ferizli	20080	7308	12772	1523	2326
Geyve	41993	15610	26383	3252	4806
Hendek	58271	24456	33815	5095	6159
Karapürçek	9897	3826	6071	797	1106
Karasu	45910	17706	28204	3689	5137
Kaynarca	23798	4203	19595	876	3569
Kocaali	27337	13145	14192	2739	2585
Pamukova	22347	12232	10115	2548	1842
Sapanca	29829	16653	13176	3469	2400
Söğütli	13273	4839	8434	1008	1536
Taraklı	10362	5155	5207	1074	948
TOPLAM	731800	331431	400369	73290	72927

Tablo 5.2. Akyazı Nüfus Yapısı [18].

Akyazı Nüfusu			
Toplam	Şehir	Belde	Köy
83.747	41.157	13.405	29.185

Son nüfus sayımında Akyazı ilçesinin nüfusu 83.747 olarak belirlenmiştir. 1997 yılına göre merkezin nüfusunda artış köy ve belde nüfusunda ise azalma mevcuttur.

Bu yeni nüfus sayımında konut adetleri bildirilmediği için 1997 yılı ile ilişkilendirerek konut sayılarını 15.950 konut olarak 2011 de öngörülmüştür.

5.2.3. Binalarda sıcak su yükü hesabı

Sıcak su kullanım ihtiyacı çok değişkendir. Örneğin konutlardaki sıcak su kullanımı bile, sadece kişi sayısına ve konut büyüklüğüne bağlı değildir. İnsanların yaşam düzeyi, yaşı, sistemin yapısı ve mevsime göre de değişir. Kullanım değişkendir. [17].

Ortalama sıcak su tüketiminde Isısan çalışmalarını no.147 Sıhhi tesisat kaynağına göre aşağıdaki kabuller yapılmaktadır.

- Musluk (DN 15) kişi başı 1 sefer kullanıldığı (1 sefer 18 Litre) ve tam açıldığı varsayılmaktadır. 40 °C de 1 dakika (süre)
- Evye İki gözlü kişi başı 1 sefer kullanıldığı (1 sefer 50 Litre) ve 40 °C de 5 dakika (süre)
- Lavabo tek gözlü kişi başı 1 kez kullanıldığı (1 sefer 15 Litre) ve 40 °C de 3 dakika (süre)
- Banyo (tip orta) kişi başı 4 günde 1 kez kullanıldığı (1 sefer 150 Litre) ve 40 °C de 15 dakika (süre)
- Şebeke suyu sıcaklığı : 10 °C
- Kullanım suyu sıcaklığı : 40 °C
- Birim toplam tüketim : 120,5 litre/kişi-gün (12,75 dakika da kullanım)
- Özgül ısı (cp) : $1,163 \times 10^{-3}$ kw/kg °C
- Tüketim süresi günlük : 12,75 Dakika = 0,21 saat günlük kullanım
- Bir yıl boyunca (365 gün) sıcak su kullanılmakta

(Özgül ısı x Birim tüketim x tüketim zamanı 1 günde x sıcaklık farkı x 1 dairede 4 kişi yaşamakta x 1 saat (h))

$0,001163 \times 120,5 \times 0,21 \times (40-10) \times 4 \times 1 = 3,53$ kwh 1 dairenin günlük ortalama sıcak su yükü

1 yıllık toplam enerji ihtiyacı $3,53 \text{ kw} \times 365 = 1.288,45$ kwh

1 dairenin toplam yıllık enerji ihtiyacı; ısıtılması ve kullanım sıcak suyu için gereksinim duyulan yıllık enerji ihtiyaçlarının toplamı olmaktadır.

$30.255,12 \text{ kwh} + 1.288,45 \text{ kwh} = 31.543,57 \text{ kwh}$ (1 dairenin yıllık toplam ısı yükü ihtiyacıdır.)

Akyazı da ki tüm konutların toplam ısı ihtiyacını bulmak için aşağıdaki hesap yapılmaktadır.

$31.543,57 \text{ kwh}$ 1 dairenin yıllık sıcak su ve ısıtma yükü ile toplam konut sayısı çarpılmaktadır.

$31.543,57 \text{ kwh} \times 15.950 \text{ konut adeti} = 503.119.941,5 \text{ kwh}$ Akyazı'nın tüm konutların 1 yıllık ısı yükü ihtiyacıdır.

5.3. Akyazı'daki Fabrikaların Elektrik Enerjisi Tüketim Miktarları

2011 güncel elektrik tüketim değerlerini tespit etmek için şu varsayımlar bölgenin elektrik dağıtım yöneticilerine danışılarak gerçekleştirilmiştir.

- Her yıl 2008 yılı elektrik tüketim verilerine % 5 oranında kapasite artışı öngörülmüş ve eklenmiştir
- % 55 sanayi, % 45 ev kullanıcısı olarak varsayım yapılmıştır

2008 yılına ait Akyazı'daki 100.000 kwh ten daha fazla tüketime sahip sanayi kurumlarının elektrik tüketim değerleri aşağıda Tablo 5.3 'te ayrıntılı olarak belirtilmektedir.

Tablo 5.3. Akyazı’da 100.000 kwh’ten fazla elektrik tüketimi yapan firmalar (2008)

No	Firma Adı	Elektrik Tüketimi (kwh)
01	Altındere Alabalık Ltd.Şti.	127.150,00
02	Ak Damla Su Dağ.Paz.Ltd.Şti.	119.520,00
03	Battal Köylü Gıda Tarım Paz.	120.271,88
04	5.İletim Grup Müd. Kuzuluk TM TEİAŞ	101.040,88
05	Kuzuluk Maden Suyu İşl.A.Ş.	133.500,00
06	Kuzuluk Belediyesi	101.710,00
07	Yazaki Otomotiv Yan. San.	1.077.683,40
08	Ottoman Teks.San.ve Tic. A.Ş. Sakarya Şb.	5.026.740,39
09	Kuzuluk Kaplıca İnş.Turiz.	513.981,00
10	İşmont Tekstil Ür.Paz.San.	144.450,00
11	Kuzuluk Kaplıca İnş.Turiz.	143.760,00
12	Kuzuluk Kaplıca İnş.Turiz.	343.838,72
13	Kuzuluk Gıda ve Hayv.A.Ş.	138.825,60
14	Azizler Holding A.Ş.	157.762,40
15	Karacanlar İnş.Hafr.Nak.	422.160,00
16	Ayyat Yatak Mobil Teks.	385.490,40
17	Karacanlar İnş.Hafr.Nak.	807.954,96
18	Halit Beşer	150.150,00
19	Akyazı Belediyesi	178.150,00
20	İl Sağlık Müdürlüğü	123.780,00
21	Bizon Ağaç Sanayi	1.141.041,60
22	Tever Metal Boru San.Tic.A.Ş.	3.395.276,10
23	Başer Gıda San.Tic.A.Ş.	1.243.664,28
24	İhsan Başer	303.600,00
25	Yılpar Parke San.Tic.Ltd.Şti. Yıldırım	342.320,00
26	Sakarya Zir.Ürn.Yem.Hayvancılık	513.466,26
27	Tever Metal San.Tic.A.Ş.	1.369.567,20
28	Della Gıda San.ve Tic.A.Ş.	22.552.857,00

Tablo 5.3. Akyazı’da 100.000 kwh’ten fazla elektrik tüketimi yapan firmalar (2008) (Devamı)

29	Aytaş, Mobilya İnş.Tur.Mobilya İnş.Tur.	740.094,30
30	Birol Atasoy	389.520,00
31	İl Telekom Müdürlüğü	447.496,24
32	TCK.Akyazı Gişeler TEM.Otoyolu Akyazı	179.580,00
33	Ada Su Genel Müdürlüğü	1.385.580,37
34	Karacanlar İnş.Haf.Yapı	134.550,00
35	Mustafa Eleman	9.010.158,00
36	Akyazı Hazır Beton San. Tic.Ltd.Şti.	233.160,00
37	T.C.Akyazı Kaymakamlığı	101.117,00
38	Akyazı Devlet Hast.Fizik Tedavi Reh. Mrk.	581.440,23
39	Mustafa Eleman	565.296,30
40	Milkon Süt ve Gıda Mam.	3.972.219,60
41	Spor Yapı İnşaat Taahhüt	113.198,40
42	GSF Gıda Sanayi Fabrika	4.381.920,90
43	Semih Şahin Kavakçılık Or.	224.150,00
44	Fiskomar Gıda Temizlik	238.750,00
45	Coşkun Atasoy	278.160,00
46	Şerefiye Kaynak Suyu tes.	597.540,00
47	Uzunlar Çakıl mıcır ocak	680.400,00
48	Della Gıda San.Tic.A.Ş.	118.939,00
49	Ada Su Genel Müd. Kuzuluk İçme Su Tesisi	941.060,00
50	Baysan Boya Tekstil San.	1.712.987,10
51	Çak Tekstil San.Tic.A.Ş.	8.072.846,82
52	Aydın Örme San.ve Tic.A.Ş.	8.476.500,00
53	Aydın Yılmaz – Parke Kereste Yılmaz	161.600,00
54	Alimex Alüminyum San.Tic.	1.219.492,20
55	Asaş Alüminyum San.	29.038.420,00
56	Karapürçek Belediyesi	110.064,00
57	Subor Boru San.ve Tic.A.Ş.	3.565.242,42
	TOPLAM	118.111.100,65

136.728.362,9 kwh bölgedeki sanayide 2011 yılı toplam elektrik tüketim kapasitesidir. (Her yıl için % 5 artış öngörülerek hesaplanmıştır.)

248.597.023,44 kwh bölgenin 2011 yılı toplam elektrik tüketimidir. (% 55 sanayi - % 45 ev kullanıcısı olarak varsayım yapılarak hesaplanmıştır.)

Tüketim miktarına konut ısıtması ve sıcak su tüketimi (503.119.941,5 kwh) yüklerini de eklenmiştir.

Toplam Akyazı'nın ihtiyaç duyduğu yıllık enerji yükü 751.716.964,94 kwh dır.

5.4. Sonuç ve Öneriler

Jeotermal enerji temiz ve yenilenebilir sınıfta bulunan bir enerji kaynağı olması nedeniyle gün geçtikçe daha çok önem kazanan ve aranan enerji kaynakları arasında yer almaktadır.

Dünyada jeotermal zenginliği ile beşinci 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.

Jeotermal sahaların tespitine yönelik yapılacak jeofizik çalışmalar yapılacak sondajların doğru yönlendirilmesi için gerek koşullar arasında yer almaktadır. Jeofizik çalışma sonuçlarının çeşitli tekniklerle yorumlanarak değerlendirilmesi hem yorumlara zenginlik katılması hem de doğru sonuca ulaşılması için gereklidir.

Hedeflenen bu amaçlara ulaşabilmek için öncelikli olarak aşağıda verilen saptamaların gerçekleştirilmesi ön koşuldur.

- Jeotermal enerji aktivitesinin olduğu yerleri belirleyerek, sıcak alanın sınırlarını ve kapsam bölgelerini saptanmalıdır
- Sıcak akışkanın yüzey jeolojisi, yeraltı yapısı ve tektonizma ile olan ilişkisini belirleyerek jeotermal sistemi ve özelliklerini açıklanmalıdır

- Sahada açılacak her mekanik sondajdan sonra, sondaj verileri ile jeofizik veri uyumu yeniden değerlendirilerek yeni açılacak kuyulara yön verilmelidir

Akyazı'da tüm yük yıllık 751.716.964,94 kwh dır. Elektrik üretimi için 180–250 °C sıcaklık arasında jeotermal kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır.

Özgül ısı (cp) : $1,163 \times 10^{-3} \text{ kw/kg } ^\circ\text{C}$

$Q = M \cdot C \cdot \Delta T$ den

$751.716.964,94 \text{ kwh} = M \times (1,163 \times 10^{-3} \text{ kw/kg } ^\circ\text{C}) \times (250 - 45) ^\circ\text{C}$

250 derecede su çıktı geri 45 derecede döndü varsayılırsa yılda 3.152.976.804,9 litre sıcak suya gereksinim olmaktadır.

$3.152.976.804,9 / (365 \text{ gün} \times 24 \text{ saat} \times 60 \text{ dakika} \times 60 \text{ saniye}) = 99,98 \text{ litre saniyede}$ ihtiyaç duyulan jeotermal sıcak su miktarıdır.

248.597.023,44 kwh bölgenin 2011 yılı toplam elektrik tüketimidir. Aralık 2011 elektrik ev aboneliği birim fiyatı 1 kwh 0,160028 TL dır. (% 18 KDV + Kayıp kaçak vb diğer vergiler dahil faturada % 38 lik ilave miktar ödenmektedir.)

$248.597.023,44 \text{ kwh} \times 0,160028 \text{ TL/kwh} \times 1,38 \text{ KDV}$ ve diğer vergiler

54.899.828,56 TL Elektrik için ödenecek toplam paradır.

503.119.941,5 kwh yıllık ısıtma ve kullanma sıcak suyu için enerji tüketimidir.

Aralık 2011 deki doğalgaz ev aboneliği birim fiyatı 1 kwh 0,06381607 TL dır.

(Faturada % 18 lik ilave KDV miktarıda ödenmektedir.)

$503.119.941,5 \text{ kwh} \times 0,06381607 \text{ TL} \times 1,18 \text{ KDV}$

37.886.422,14 TL Doğalgaz ile ısıtma için ödenecek para.

Orme jeotermal firmasının 2005 yılında bölgede yaptığı fizibilite çalışmasına göre jeotermal ısıtma ile bölgede yapılacak ısıtmada en fazla 0,7 cent/kwh'dir. Aynı hizmet kalorifer yakıtı ile 4,3 cent/kwh, doğalgaz ile 3,8 cent/kwh olmaktadır. Bu verileri 2011 yılındaki döviz kurlarına göre güncellendiğinde;

15 Aralık 2011 Türkiye Cumhuriyeti Merkez bankası \$ döviz kuru alış 1,87 TL dır.

Satış 1,87 TL dır. [22].

503.119.941,5 kwh ısıtma ve kullanma sıcak suyu tüketim değeridir.

0,7 cent/kwh jeotermal ile ısıtma birim maliyetidir. Jeotermal ile ısıtmada Toplam 3.521.839,59 \$ harcanmaktadır. Kur'un TL ye dönüşümü 6.585.840,03 TL dir.

4,3 cent/kwh kalorifer yakıtı ile ısıtma birim maliyetidir. Kalorifer ile ısıtmada Toplam 21.634.157,48 \$ harcanmaktadır.

Kur'un TL 'ye dönüşümü 40.455.874,50 TL dir.

3,8 cent/kwh doğalgaz ile ısıtma birim maliyetidir. Doğalgaz ile ısıtmada Toplam 19.118.557,78 \$ harcanmaktadır. Kur'un TL ye dönüşümü 35.751.703,04 TL dir.

Jeotermal elektrik üretiminde akışkan sıcaklığı 150 °C ve yukarısında olan 30 mw tan büyük kapasiteli jeotermal santral için 2,5 – 5 cent / kwh birim maliyettir. [23].

248.597.023,44 kwh bölgenin 2011 yılı toplam elektrik tüketimidir. Jeotermalden elektrik üretim maliyeti 4 cent/kwh birim maliyet sonuç 9.943.880,94 \$ elektrik maliyetidir. Kur'un TL ye dönüşümü 18.595.057,35 TL dir.

Yukarıdaki hesaplamalardan da görüldüğü üzere ilk yatırım maliyeti göz ardı edildiğinde Jeotermal enerjinin ne kadar ekonomik bir enerji olduğu görülmektedir.

- 54.899.828,56 TL yıllık elektrik tüketimi için şuan ödenmekte olan yaklaşık bedeldir. Jeotermal ile bu miktar % 66 azalarak 18.595.057,35 TL olmaktadır.
- 37.886.422,14 TL yıllık Doğalgaz ile ısınma ve kullanma sıcak suyu kullanım bedelidir. Jeotermal ile bu miktar % 83 azalarak 6.585.840,03 TL olmaktadır.
- 40.455.874,50 TL yıllık Kalorifer yakıtı ile ısınma ve kullanma sıcak suyu kullanım bedelidir. Jeotermal ile bu miktar % 84 azalarak 6.585.840,03 TL olmaktadır.

CO2 Emisyon miktarları kömür, doğalgaz ve jeotermal için kıyaslama

Akyazı'da tüm yük 751.716.964,94 kwh dir.

Tablo 1.2 'deki verilere göre

Kömürden 1.100 g/kwh CO₂ emisyonu öngörülmektedir.

826.888,66 ton CO₂ emisyonu 1 yılda çevreye atılmaktadır.

Doğalgazdan 800 g/kwh CO₂ emisyonu öngörülmektedir.
601.373,57 ton CO₂ emisyonu 1 yılda çevreye atılmaktadır.

Jeotermalden 28 g/kwh CO₂ emisyonu öngörülmektedir.
21.048,08 ton CO₂ emisyonu 1 yılda çevreye atılmaktadır.

- Jeotermalde doğalgaza göre % 3 oranında CO₂ emisyonu 1 yılda çevreye atılmaktadır.
- Jeotermalde kömüre göre % 4 oranında CO₂ emisyonu 1 yılda çevreye atılmaktadır.

Tüm bu yukarıdaki hesaplamalardan görüldüğü üzere jeotermal enerji çok değerli ve yenilenebilir enerji olduğu, çevreye ne kadar az zarar verdiği ispatlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] TEMİMİHAN, S., Salihli Kurşunlu kaplıcaları ve civarının jeotermal potansiyelinin araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005
- [2] AKKUŞ, İ., AKILLI, H., CEYLAN, S., DİLEMRE, A., TEKİN, Z., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye jeotermal kaynakları envanteri, Envanter Serisi 201, Ankara, 2005
- [3] Mühendis ve Makina dergisi, Cilt 52, Sayı 622, Kasım 2011
- [4] ÇABUKOĞLU, S., Konutlardaki ısıtma sistemlerinin enerji ekonomisi ve hava kirliliği yönünden incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1999
- [5] ŞAHİN, H., Jeofizik mühendisi, kamp şefi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Sakarya, Akyazı, Kuzuluk sahası jeotermal enerji aramaları jeoelektrik etüdü, MTA Genel Müdürlüğü, No 9653, 10, Ek 1 Arşiv No 43004 1, Aralık, 1993
- [6] ÜÇER, A., Jeotermal alanlarda elektrik elektromanyetik ve sismik yöntemler, Tmmob jeofizik mühendisleri odası jeotermal ve mineralli sular belgelendirme kursu eğitim ders notları, İzmir, 2011
- [7] SARI, C., Jeotermal alanların araştırılmasında gravite ve manyetik yöntemlerin yeri ve önemi, Tmmob jeofizik mühendisleri odası jeotermal ve mineralli sular belgelendirme kursu eğitim ders notları, İzmir, 2011
- [8] <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>, erişim tarihi Aralık, 2011
- [9] U.S. Department of Energy, Office of Geothermal Technologies, Strategic Plan for the Geothermal Energy Program, DOE GO 10098 572 <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/>, erişim tarihi Aralık, 2011
- [10] <http://enerjienstitusu.com/>, erişim tarihi Aralık, 2011
- [11] ŞAMİLGİL, E., Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Jeotermal enerjinin aranması ve işletilmesi, Ankara, 1973

- [12] KOÇAK, A., Kozanlı (Nevşehir) jeotermal alanının su kimyası ve rezervuar sıcaklığının incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin Jeoloji (Hidrojeoloji) Anabilim Dalı için öngördüğü Doktora Tezi, 1997
- [13] Sakarya Valiliği alternatif turizmin yeni adresi, Sakarya, 2007
- [14] YÜCEL, B., AYDOĞDU. Ö., Akyazı, Sakarya, Kuzuluk sıcak su sondajı (K3) kuyu bitirme raporu, MTA Derneği Rapor No 9839, yayımlanmamış), Ankara, 1994
- [15] YÜCEL, B., YILDIRIM, T., Kuzuluk, Akyazı (Sakarya) bölgesinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları MTA Derneği Rapor No 9426, (yayımlanmamış), Ankara, 1990
- [16] Orme Jeotermal Mühendislik San.ve Tic. A.Ş., Kuzuluk 1. etap 650 1650 konut, 2. etap toplam 3150 konut kapasiteli jeotermal merkezi ısıtma ve sera ısıtması sistemi teknik ve ekonomik fizibilite Raporu, Ekim, 2005
- [17] KÜÇÜKÇALI, R., Isısan çalışmaları no.147 sıhhi tesisat, Şubat, 1997
- [18] T.C. Sakarya il Özel idaresi Sakarya ili stratejik planı 2010 2014, Ekim, 2009
- [19] TMMOB Jeotermal kongresi bildiriler kitabı kongre sekreteryası jeofizik mühendisleri odası, Ankara, 2009
- [20] GÜLGÖR, A., Kuzuluk jeotermal sahasının jeoloji, hidrojeoloji, jeofizik etüdü ve kuyuların yeni verilerle yorumlanması, Ekim, 1998
- [21] <http://elektroteknoloji.com>, erişim tarihi Aralık, 2011
- [22] www.tcmb.gov.tr, erişim tarihi Aralık, 2011
- [23] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Yayın No DPT 2794 Dokuzuncu kalkınma planı 2007 2013 Madencilik özel ihtisas komisyonu, Ankara, 2009

ÖZGEÇMİŞ

Göksel ATEŞ, 02.06.1978'de Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya' da tamamladı. 1995 yılında Adapazarı Atatürk lisesi'nden mezun oldu. 1996 yılında Edirne, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü'ne başladı. 1997 yılında yatay geçiş ile Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne 2. sınıftan devam etti ve 2000 yılında mezun oldu. 2000 – 2002 yılları arasında Demireller Makine Tekstil Sanayi ve Tic. A.Ş. Sakarya da Kalite güvence müdürü olarak çalıştı. 2001 yılında Çağsan Isıtma sistemleri İmalat ve Pazarlama Ltd. Şti. Burdur / Bucak 'ta 25.000 kcal/h lik kazanın TS 497 standardına uygun olarak tasarımı, projesinin çizimi ve hesaplarının yapılması ve TSE den üretim izin belgesinin alınması çalışmalarını danışman olarak yürüttü. 2002 – 2003 yılları arasında Bayramlar Grup (Marya Ambalaj San. ve Tic. A.Ş.) Sakarya da Teknik müdür olarak iş hayatına devam etti. 2004 yılında askerliğini mekanik tesisat subayı ve Makine mühendisi olarak Jandarma İstihkam İnşaat Grup Komutanlığı Güvercinlik / Ankara da yaptı. 2005 yılında Berke Plastik San. ve Tic. A.Ş. / Sakarya da depo ve sevkiyat sorumlusu olarak görev aldı. 2005 – 2006 yıllarında ASAŞ Alüminyum Akyazı / Sakarya da Kalite güvence ve proje mühendisi olarak görev aldı. 2006 – 2008 Berke Plastik San. ve Tic. A.Ş. / Sakarya da üretim müdürü olarak görev aldı. 2008 yılında Sırma Kaynak Suları Kırkpınar / Sapanca / Sakarya da bakım mühendisi olarak görev aldı. 2008 yılında, şunda halen devam etmekte olduğu ÜLKER / Piyale Makarna / Bellini Gıda San. A.Ş. Hendek / Sakarya da bakım mühendisi olarak görevine başladı. Fabrikada makine ve ekipmanlarda oluşan arızaların giderilmesi ve oluşmasının önlenmesi çalışmalarında aktif rol almaktadır.

SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını halen sürdürmektedir.