

# **BOR KİRLİLİĞİ VE İYON DEĞİŞTİRİCİLER VASITASIYLA BU BORUN KIZILDERE JEOTERMAL SANTRALI ATIK SULARINDAN BERTARAFI**

**Nazım YILDIRIM**

*Yıldırım Jeotermal Ltd., ANKARA*

**Önder AYDOĞDU**

*MTA, Enerji Dairesi, ANKARA*

## **ÖZET**

Türkiye’de tek kurulu jeotermal santral olan Denizli Kızıldere jeotermal güç santralından boşalan 850 ton/saat atık akışkanın Sarayköy kenti ve çevresinde ısıtmada kullanımından sonra Büyük Menderes nehrine emniyetle verilebilmesi için içerdiği aşırı bor elementinin akışkandan uzaklaştırılması gerekir. Özellikle Büyük Menderes Nehrinin su seviyesinde azalmalar olduğu yaz dönemlerinde yöredeki jeotermal sahalarından boşalan atık akışkanlar Menderes suyunda bor konsantrasyonunda artışlar meydana getirmektedir. Bor yüklü Büyük Menderes Nehri suyu Menderes Ovasındaki zirai alanlarda zararlara yol açmakta ve ovadaki bitkilerde bor seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır.

Bu nedenle jeotermal atık suda bor seviyesinin düşürülmesi ya da tamamen giderilmesi gerekmektedir. Sulardan bor uzaklaştırılmasının çeşitli yolları vardır. Bu çalışmada jeotermal akışkandan Bor giderimi Japonya’nın Mitsubishi firması tarafından üretilen N-glukamin Diaion CRB 02 reçinesi kullanılarak incelenmiştir. Sürekli adsorpsiyon testleri 79 °C sıcaklık ve 15 yatak hacmi/saat akışkan debisi ile Kızıldere jeotermal sahasında, 10 kez tekrarlanan adsorpsiyon-yıkama- rejenerasyon - tekrar yıkama döngüsü işlemleri ile reçinenin ekonomik kullanılabilirliği incelenmiştir.

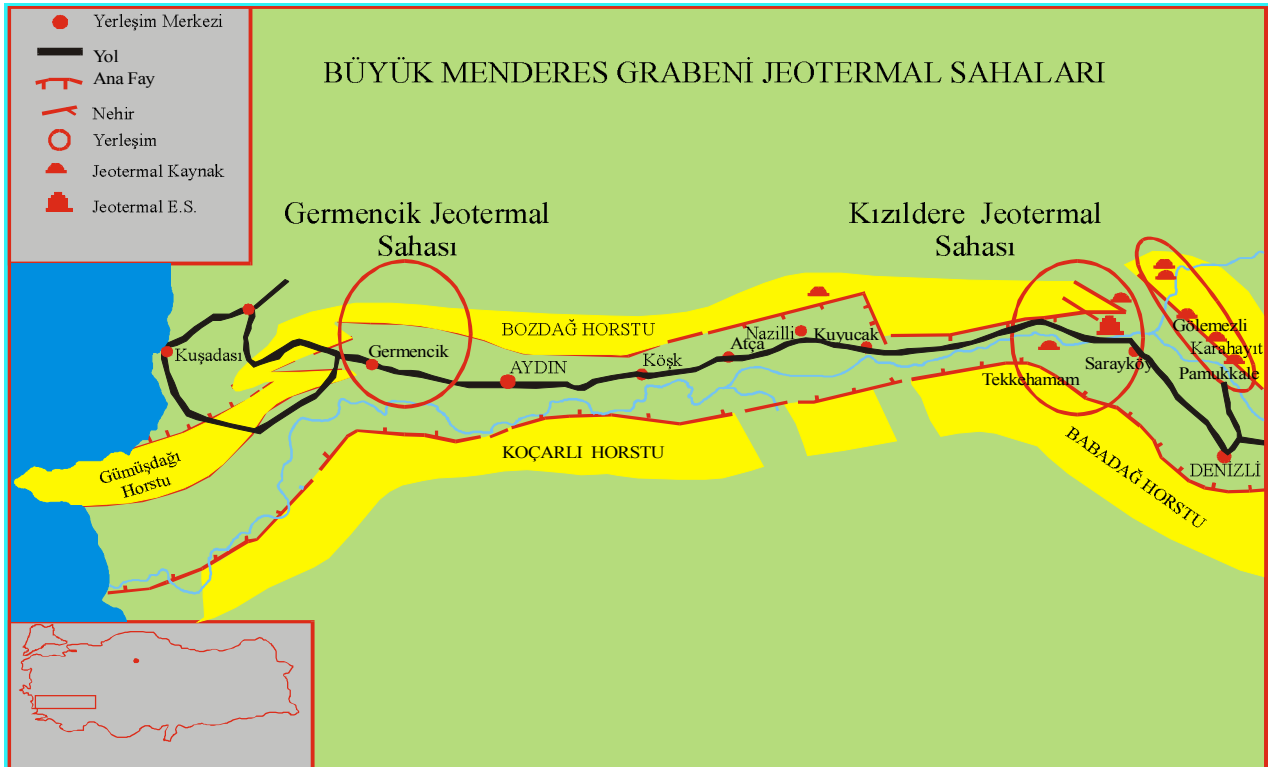
# 1- KIZILDERE ATIK SU PROBLEMİ

## 1.1 Bor ve Menderes Vadisi

Büyük Menderes Havzası, Büyük Menderes Nehri ve kollarının hayat verdiği tarımsal potansiyeli yüksek Ege bölgesinin önemli havzalarındandır (Şek 1). Havzada sosyo-ekonomik hayatın temelini tarım oluşturmaktadır. Nüfusun büyük bir çoğunluğu (% 57) geçimini çiftçilikten kazanmaktadır (Oruç 1994). Bu nedenle havzanın önemli sulama kaynağı olan Büyük Menderes Nehrinin sanayi ve özellikle bor açısından kirletici potansiyel olan Kızıldere atık suyundan korunması son derece önem arz etmektedir. Kızıldere'de kuyulardan üretilen jeotermal akışkanın sadece % 12 si buhar haline getirilerek türbinlere gönderilmekte, yaklaşık % 8 civarında buhar buharlaşma ile atmosfere atılmaktadır. Geriye kalan % 80 civarındaki akışkan ya re-enjeksiyonla yeraltına gönderilmeli ya da nehre verilmeden önce bor tasfiye işleminden geçirilmelidir. Aksi takdirde atık akışkan

içinde bol miktarda bulunan Bor mineralinin nehre zararı büyük olacaktır. Bor bitki gelişimleri için mutlak gerekli bir element olmasına karşın, aşırılığı sorun yaratmaktadır. Toprakta bor fazlalığının başlıca kaynağı, genellikle bor kapsamı yüksek sulama ve endüstriyel atıklarla oluşmaktadır. Endüstride atığı bor kirlenmesine sebep olan başlıca imalathaneler, yalıtım ve tekstil lifleri, bor silikat camları, yanmayı geciktirici materyaller, sırlar ve tarım ürünleri üreten imalathanelerdir. B. Menderes Nehri bölgede bulunan bu tür imalathaneler neticesinde bor elementince 0,3 mg/lt mertebesine kadar kirlenmektedir. Kurak mevsimlerde bu kirlilik 0,5 mg/l seviyesine kadar yükselmektedir.

Jeotermal akışkandaki Bor sorununun üstesinden gelebilmek için MTA Genel Müdürlüğü ile Japonya'dan NEDO'nun desteklediği Kyudensangyo Şirketi arasında imzalanan sözleşme ile ortak bir uluslararası çalışma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Menderes Grabeni jeotermal sahaları ve Büyük Menderes Nehri

Projenin uygulama alanı olarak jeotermal akışkandaki bor miktarı yüksek olan ve atık suyu Büyük Menderes Nehrine verilmesi nedeniyle sulama sularını etkilemesinden dolayı EÜAŞ jeotermal santralının bulunduğu Denizli-Kızıldere jeotermal sahası seçilmiştir.

### **1.1.1 Türkiye Bor Madeni ve Jeotermal Sulardan İleri Gelen Bor Kirliliği**

Dünya bor rezervinin % 60'na sahip olan Türkiye'de (Helvacı 1997) derinden gelen ve bol miktarda bor içeren jeotermal akışkanların işletilmesi sırasında gerekli ve yeterli önlemler alınmadığında çevredeki akarsu ve toprakların bor kapsamının arttığı ve yöredeki bitkilerin bor fazlalığından zarar gördükleri çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı olarak ortaya konmuştur. Bor bitkiler için mutlak gerekli elementler arasında olmasına karşın fazlalığı problem yaratmaktadır. Bor fazlalığı, bor içeriği yüksek sularla sulama veya endüstriyel atıklardan oluşmaktadır.

Jeotermal atık suların Büyük Menderes Nehrine karışmasının Aşağı Büyük Menderes Havzasının tarımsal yapısına etkisi yaklaşık 20 yıl önce Menemen Topraksu Araştırma Enstitüsü tarafından ilk defa olarak incelenmiştir (Oruç 1994). Bu çalışmada Büyük Menderes nehrinde değişik noktalardan alınan su örneklerinde Bor düzeyleri Feslek Regülâtöründe 0,80, Nazilli köprüsünde 0,78, Çine Köprüsünde 0,73, Koçarlı Köprüsünde 0,69, Bağarası Köprüsünde 0,74 ve Balat Köyü Köprüsünde ise 0,74 ppm olarak bulunmuştur.

Bu nedenle atık suyun Büyük Menderes Nehrine Boşaltılması asla bir seçenek değildir. Böyle bir işlem kesinlikle

yöre tarımına büyük bir zarardır. Kızıldere elektrik santralının kapasitesinin artırılması da bir dereceye kadar bor probleminin doğrudan doğruya giderilmesine bağlıdır. Büyük Menderes nehrinin yüksek bor seviyesinin bitkiler üzerindeki etkisi, hemen görülmez. Ancak yıllar geçtikçe büyük zararlara neden olması kaçınılmazdır. Çünkü toprak matrisi, sulama suyunun içerdiği Bor'u absorblar. Yüksek bor içeren suyla sulama devam ederse, toprağın bor muhtevası gittikçe artar ve sulama suyundaki orana eşitlenir.

14/05/2002 tarihindeki çalışma sırasında, Büyük Menderes nehrinin atık su karışımından sonraki çeşitli noktalarında tespit edilen bor seviyeleri Sarayköy köprüsünde 0,6 Buharkent köprüsünde 1,2 ve Feslek regülatöründe 1,2 ppm olarak tespit edilmiştir. Bu tarihte Santral 14 Mwe kapasiteyle çalışarak 850 ton /h atık su deşarj eder durumdaydı.

*Çizelge 1 Bitkilerde bor seviyesi*

<b>Lokasyon</b>	<b>Bitki</b>	<b>Kons.</b> (ppm)
Sarayköy	Portakal	10-86
Sarayköy	İncir	9
Yamalak	Portakal	11-20
Horsunlu	İncir	49
Horsunlu	Erik	17

### **1.1.2 Menderes Nehrinden Sulanan Bitki Yapraklarında Bor Seviyesi**

1984'de işletmeye girdiğinden bu yana, Kızıldere jeotermal akışkanının karıştığı Büyük Menderes nehrinden sulanan ağaç yapraklarında saptanan bor seviyesi aşağıda verilen Çizelge 1'de sunulmuştur. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen analizlere göre, özellikle jeotermal atık

akışkan karışmış Büyük Menderes nehri-nden sulanan ağaç yapraklarında sap-tanan bor seviyesi, 62–568 ppm arasında değişmektedir.

Bu bor oranı normal su ile sulanan bor seviyesine göre 10 kat daha fazladır.

Çalışma sırasında, Haziran 2002'de alınan yaprak örneklerinde MTA Genel Mü-dürlüğü laboratuvarlarında yaptırılan ana-lizlere göre, bulunan bor seviyesi, KHGM tarafından yaptırılan bor seviyesinden oldukça düşüktür. Bunun sebebi son yıl-larda jeotermal akışkanın nehre kontrol-lü bir şekilde deşarj edilmesidir. Çünkü son yıllarda EÜAŞ yetkilileri tarafından, nehirde bor oranının müsaade edilen 1 ppm'den fazla olmamasına özen göste-rilmiştir. Atık jeotermal akışkan nehirde bor seviyesini 1 ppm'in üzerine çıkarması muhtemel Nehir debilerinde santral üre-time kapatılmıştır.

## **KIZILDERE AKIŞKANIN KİMYASAL KARAKTERİSTİĞİ**

Bir jeotermal sistemin temel unsurla-rından biri olan jeotermal akışkanın çev-re ve işletme problemleri yaratan kim-yasal özellikleri, beslenme bölgesinin ve rezervuar kayaçlarının jeolojik yapısına bağlıdır. Kızıldere jeotermal sularının en önemli özelliği yüksek Na, K, B, HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> değerleridir. İçinde erimiş gazlardan dolayı, rezervuarda hafif asidik karakter-de olan jeotermal akışkan yüzeyde gaz-larını kaybetmesi dolayısıyla, bazik karakter almaktadır.

Kızıldere jeotermal akışkanının kim-yasası orta derecede toplam erimiş madde içermekte olup, (5000 mg/l), bikarbonat ve sülfat yönünden zengin, klor açısından fakirdir (Çiz 2) (Yıldırım 2003). Giderimi

bildiriye konu olan bor, Kızıldere atık su-yunda ortalama 26 mg/l mertebesinde bulunmaktadır. Akışkan soğuyunca çö-kelimi problem olan SiO<sub>2</sub> konsantrasyo-nu ortalama 370 mg/l civarındadır. Flor değerleri bütün kuyularda yüksek sayıla-bilecek kadar fazladır (17.8-26.4 mg/l).

Üçgen diyagramı sınıflamasına göre Kızıldere jeotermal suları hiper-bikarbonatlı sülfatlı sular sınıfında yer al-maktadır. Alkalinite değeri çok yüksektir, Klor içeriği toplam anyon içersinde % 5 den az bir bölüm teşkil etmektedir. Bu klor oranı, alanı besleyen suların meteo-rik kökenli olduğunu göstermektedir

Kızıldere jeotermal akışkanında ana katyon sodyumdur (1220–1556 mg/l). Bu mineral yapısı ile Kızıldere jeotermal akışkanı Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> özelliklerinde bir kimyasal yapı taşımaktadır. 12 MWh or-talama elektrik üretimi için, 26 mg/l bor içeren böyle bileşimli akışkandan, kulla-nımdan sonra 147 °C sıcaklıkta, yaklaşık 6x10<sup>6</sup> ton/yıl ortaya çıkmaktadır.

## **1.2 Su Arıtma İşlemler ve KD-6 Kuysunun Genel Kimyası**

Yüksek konsantrasyonda bulunan bor mineralini sudan uzaklaştırmak genelde zordur ve pek pratik değildir. Yine de jeo-termal akışkan, reçineyi tıkayacak kadar yüksek miktarda safsızlıklar içermiyor ise boru istenilen seviyeye düşürmek, pratik olarak imkansız değildir. Reçinenin ger-çek bor uzaklaştırma kapasitesini saptamak üzere Kızıldere sahasının güneyinde yer alan ve genelde diğer derin kuyulara nazaran daha az safsızlıklar içeren KD-6 kuyusunda denemeler yapılmıştır. Bu kuyuda bor minerali yanında reçine üz-erine olumsuzluklar yaratan SiO<sub>2</sub>, Ca, Mg ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları diğer kuyulara göre düşüktür. Denemede bu maddelerin de reçine üzerinde nasıl bir etki yarattık-

Çizelge 2. Kızıldere jeotermal akışkanın kimyasal özellikleri

	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	R1 SV
<b>Rez.(°C)</b>	196	195	207	205	211	201	202	202	202	242
<b>Örn (°C)</b>	92.5	92.1	93.6	94.2	96	89.6	92.3	96	96	96
<b>µS/25°C</b>	5830	5940	6160	5890	5835	6180	5940	5830	5830	5820
<b>pH/25°C</b>	8.97	8.89	8.96	8.82	8.94	8.92	9.02	9.3	9.3	8.8
<b>Na</b>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>K</b>	1220	1300	1410	1340	1400	1375	1325	1275	1275	1556
<b>Ca</b>	116	138	152	138	148	140	131	140	140	245
<b>Mg</b>	1.0	2.0	1.2	1.2	3.2	1.6	1.8	1.2	1.2	2.67
<b>B</b>	0.36	0.25	0.2	0.15	0.24	0.15	0.24	0.24	0.24	0.23
<b>SiO<sub>2</sub></b>	20.4	26.5	24.4	24.6	24	24.1	24.5	25	25	30
<b>HCO<sub>3</sub></b>	336	344	392	393	398	367	387	392	392	416
<b>CO<sub>3</sub></b>	1586	1525	2403	1464	1525	1159	1220	1586	1586	3074
<b>SO<sub>4</sub></b>	540	600	720	660	730	780	780	600	600	100
<b>Cl</b>	560	773	737	730	714	710	710	729	729	792
<b>F</b>	124	128	144	140	136	140	140	136	140	134
	17.8	20.0	24.8	22.3	23.5	22.5	21	22.5	22.5	26.4

ları adım adım izlenmiştir. Bu maddelerin yüksek konsantrasyonda olması, teknik zorluklar yükleyerek, maliyet artırıcı önlemler alınmasını gerektirmektedir. Böyle bir durumda, bu erimiş maddeleri düşük düzeyde içeren su ile atık su birbirine karıştırılarak reçine üzerinde olumsuzluk yaratmayan karışımlar meydana getirilmek suretiyle problem aşılabılır.

## BOR GİDERİMİ

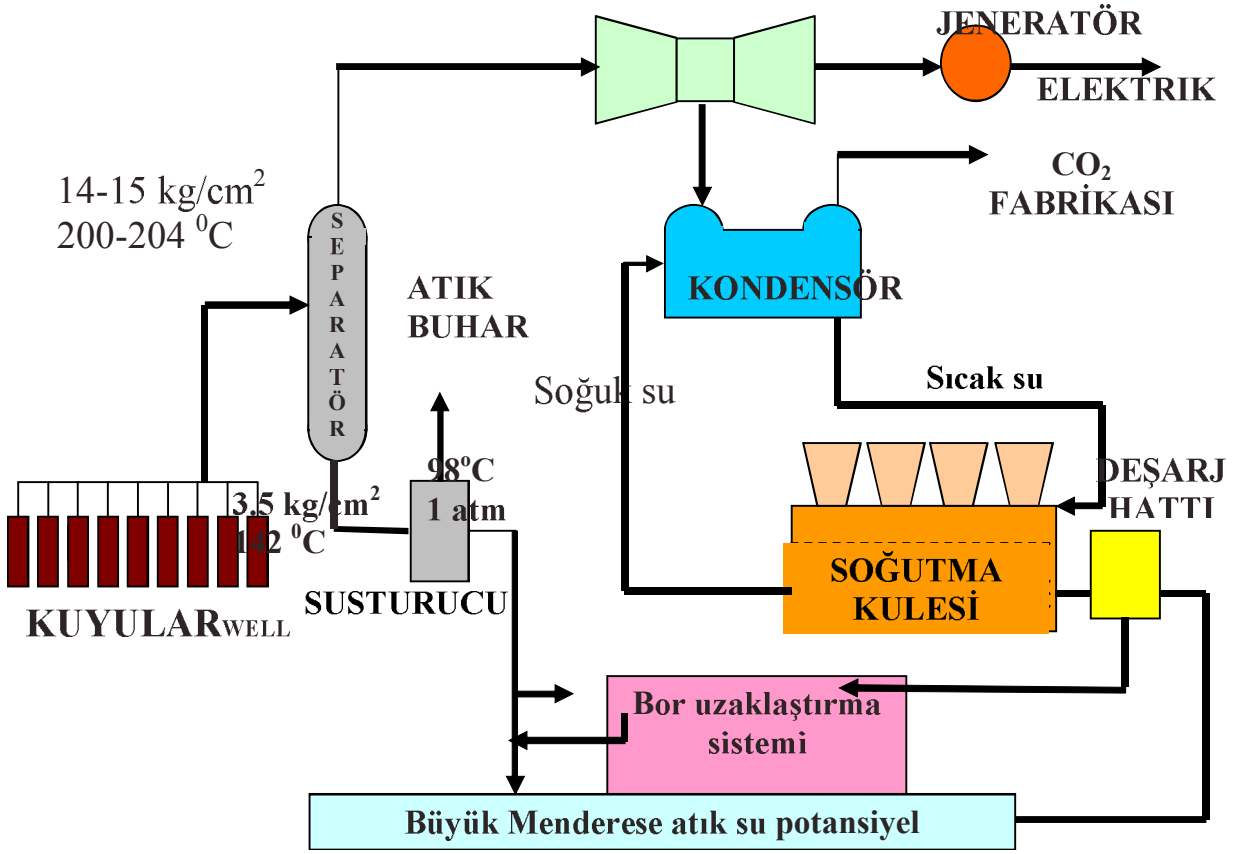
### 1.3 Gerçekleştirilen Testler

Kızıldere jeotermal santralının akım şeması Şekil 2’te verilmiştir (Nalan ve diğ 2002). Sahada santrali besleyen kuyulardan boşalan jeotermal akışkanlarda tespit edilen bor konsantrasyonu yaklaşık 20-30 mg/l olup, 12-14 MW elektrik üretimi kapasitesi için 850 m<sup>3</sup>/saat debiyle Büyük Menderes nehrine akıtılmaktadır. Sahanın kapasitesi artırıldığı takdirde bu miktar 1500 m<sup>3</sup>/saat olabilecektir. Neticede Büyük Menderes nehri’ne boşaltılan bor problemi, çözüm bekleyen önemli bir problemdir. Menderes Nehri’ne boşaltılan jeotermal suyun bor konsantrasyonunun düşürülmesi, santral etkisi altındaki tarım alanlarında sulama suyu olarak kullanılan Menderes nehri’deki bor konsantrasyonunu, sulama sularında bor için izin verilen maksimum 1 mg/l konsantrasyonunun altında olmasını sağlayacaktır.

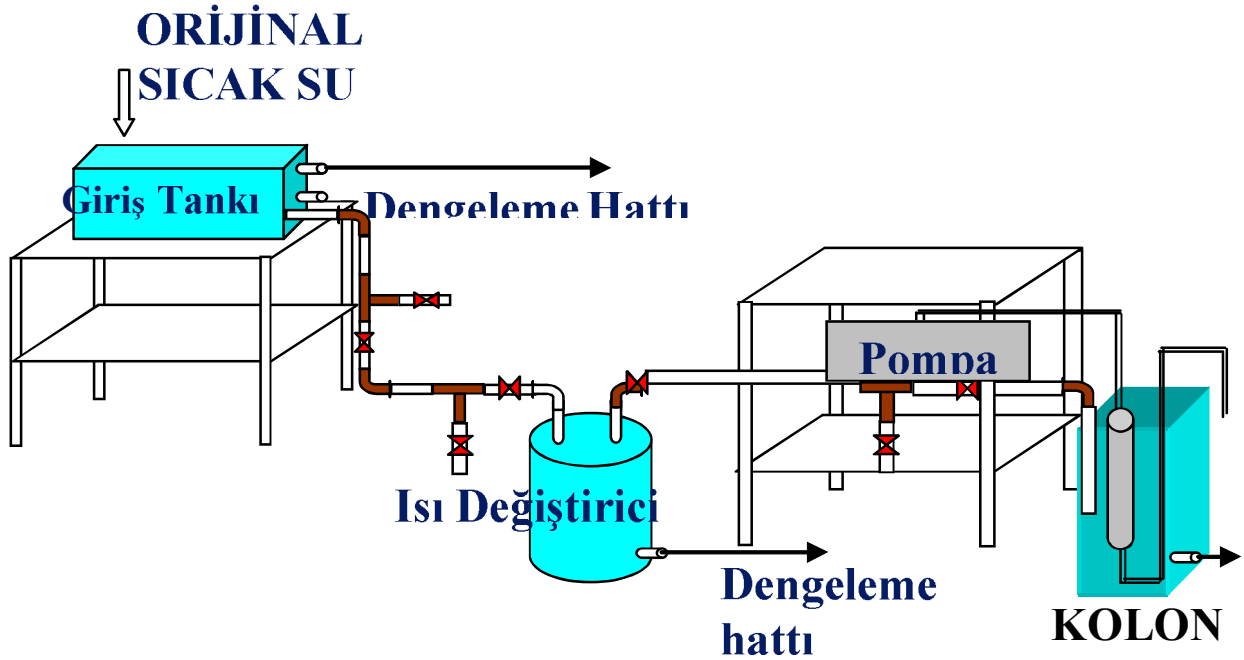
Diaion CRB 02 reçinesinin jeotermal atık sularından bor uzaklaştırılmasında kullanılabilirliği, Kızıldere jeotermal bölgesinde kurulan mini ölçekli bir pilot tesiste, KD-6 kuyusundan çıkan akışkanın Diaion CRB 02 reçinesiyle doldurmuş paslanmaz çelikten bir kolon içinden geçirilerek incelenmiştir (Şek.3). Kullanılan Diaion CRB02 reçinesinin genel özellikleri Çizelge 2’de özetlenmiştir .

Çizelge 2. Diaion CRB 02 özellikleri

Fiziksel yapı	Gözenekli
İyonik yapı	OH yapısında
Yoğunluk (g/L)	635
Nem içeriği (%)	50-60
İyon,değiştirme kapasitesi	0,6meq/ ml (minimum)
Etkin boyut (mm)	0,35-0,55
Homojenlik katsayısı	1,6
Çalışma sıcaklığı (max.)	100 °C
Etkin pH aralığı	6-10
Kullanım fonsiyonu	Borik asit adsorpsiyonu
Yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	27



Şekil 2 Kızıldere jeotermal santrali akım şeması



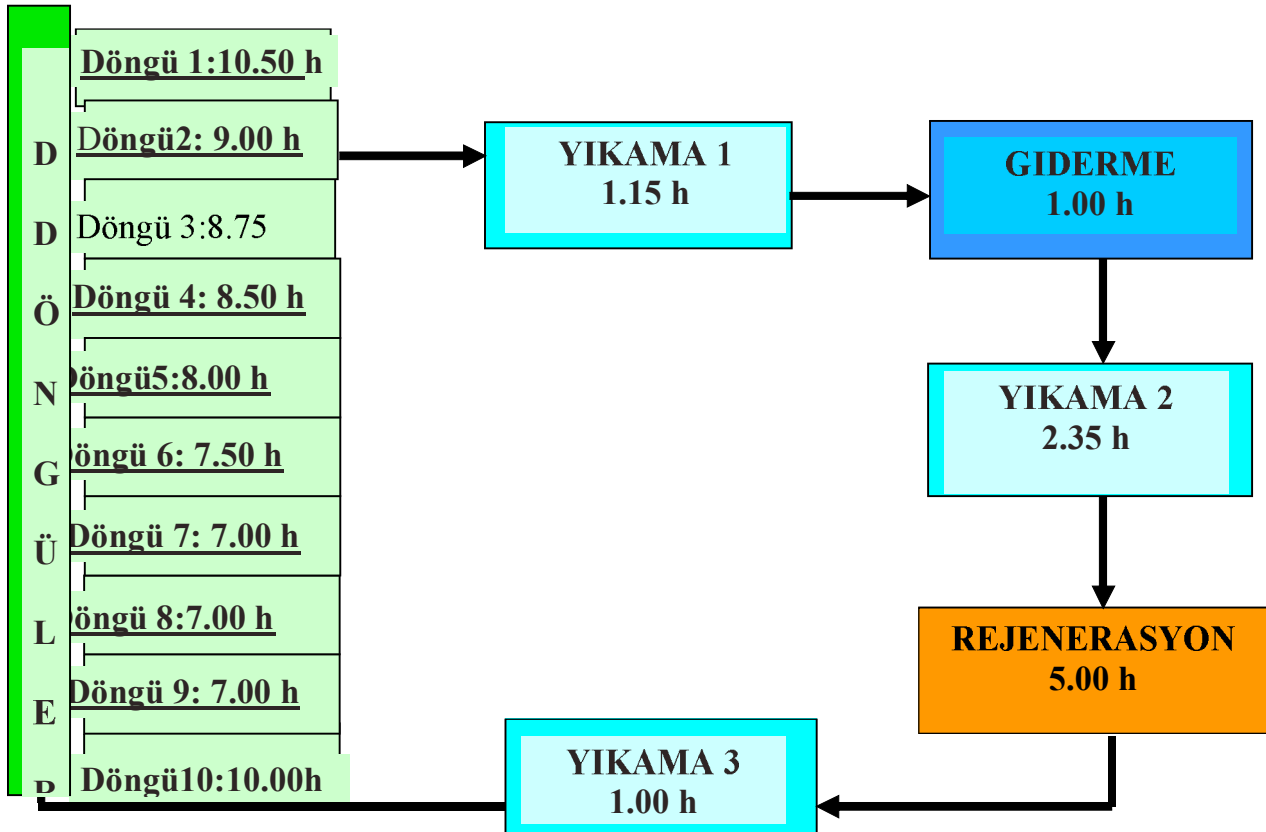
Şekil 3. Bor gideriminde mini sistem akım şeması

# 1 ÇEVİRİMLER

## 1.1 Yatak hacimleri ve gözlemler

**1.2** Bor tutma işlemi birbirini takip eden 10 çevrimde gerçekleştirilmiştir (Şek 4) (Nalan ve diğ 2002). Her çevrimde kullanılan reçine 500 ml Daion CRB02 reçinesidir. Çevrimlerde reçineden geçirilen akışkan 9,2 pH ve 80 °C sıcaklıkta 85–90 mL dir. Birinci çevrimde, 18–20 ppm bor ihtiva eden akışkan, salıverme noktasına kadar SV=15 hacim/saat hızla, yaklaşık 134 yatak hacminde reçineden sorunsuz bir şekilde geçirilebilmiştir. İkinci çevrimde salıverme noktasına karşı gelen yatak hacmi sayısı, 105'e düşmüştür. Bu çevrimde reçine performansında yaşanan düşüşün, jeotermal akışkandaki diğer iyonlar ve silika depozitlerinden ileri geldiği tahmin edilmektedir. Gerçi reçine üzerinde fazla çökeltme olduğu söylenemez. Ancak yine de az da olsa, reçine üzerinde aktif mevkilerin bu yolla bloke olma-

sı etkili olmuştur. Reçine üzerindeki bu olası blokaj borun reçinedeki bağlanma mevkilerine olan difüzyonu azaltmıştır. Çevrim 2'deki performans düşüklüğüne akışkan içerisinde bol miktarda bulunan erimiş gazlar da reçine üzerinde kanallaşmalara sebebiyet vermek suretiyle katkı sağlamıştır. Kanallaşma reçine içinde difüzyon homojenliğini engellemektedir. Çevrim 2' den sonraki çevrimlerde (3. ve 9. çevrimler arasında) salıverme noktaları 113–90 yatak hacmi aralığında olmuştur. Her ne kadar Diaion CRB 02 reçinesinin 100 °C' ye kadar sıcaklık direncine sahip olduğu belirtilmişse de (Matsumoto et al 1997) şelatlayıcı reçinedeki aktif mevkilerin 80 °C de gerçekleştirilen adsorbsyon ve 75 °C de gerçekleştirilen rejenerasyon işlemleri sırasında oluşan sıcaklık etkisi reçine performansında gözlenen düşüşe bir diğer neden olabilir.

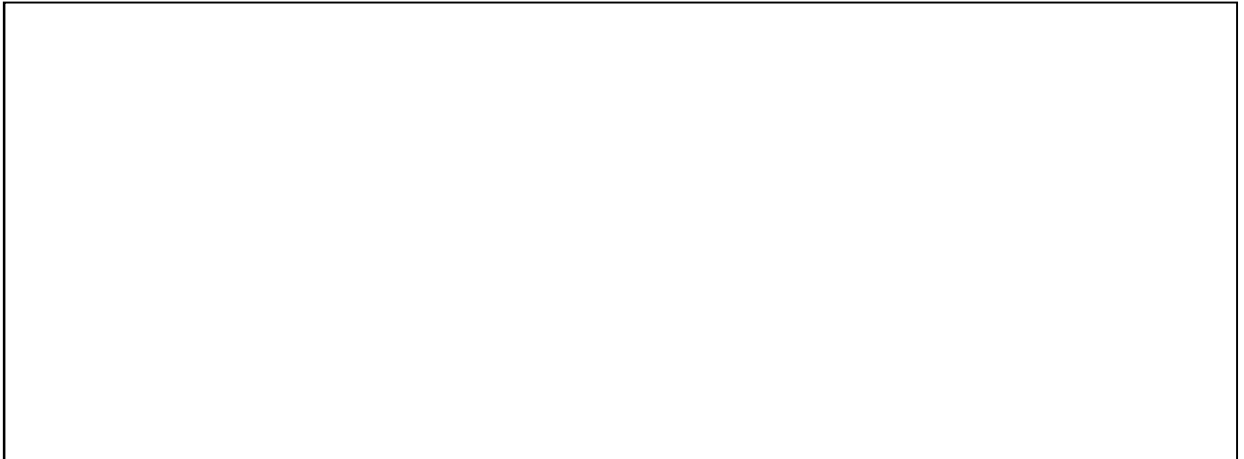


Şekil 4. Kızıldere jeotermal atık suyundan bor giderim çevrimle



Çevirim No	Saliverilme Zamanı (Saat)	Saliverilme Noktası (SV)	Saliverilme Kapasitesi	
			g/L-reçine	g/kg-reçine
1	10.5	157.50	2.901	9.273
2	9.00	135.00	2.239	7.158
3	8.75	131.25	2.245	7.178
4	8.50	127.50	2.250	7.192
5	8.00	120.00	2.149	6.871
6	7.50	112.50	2.013	6.436
7	7.00	105.00	2.050	6.572
8	7.00	105.00	1.918	6.132
9	7.00	105.00	1.948	6.227
10	7.00	105.00	1.856	5.935

Geçirilen Toplam Akışkan Hacmi [L]	Toplam Kapasite gl/reçine	g/kg reçine	Kolon Verimi [%]	Sıyırma Verimi [%]
82.50	2.946	9387	98.78	89.24
86.25	2.294	7.334	97.61	89.24
86.25	2.319	7.412	96.84	89.24
86.25	2.331	7.452	96.52	88.29
90.00	2.213	7.075	97.11	89.08
86.25	2.113	6.755	95.27	94.88
86.25	2.200	7.033	93.45	82.40
86.25	2.028	6.482	94.60	86.12
86.25	2.058	6.578	94.66	90.14
86.25	1.961	6.270	94.66	93.75

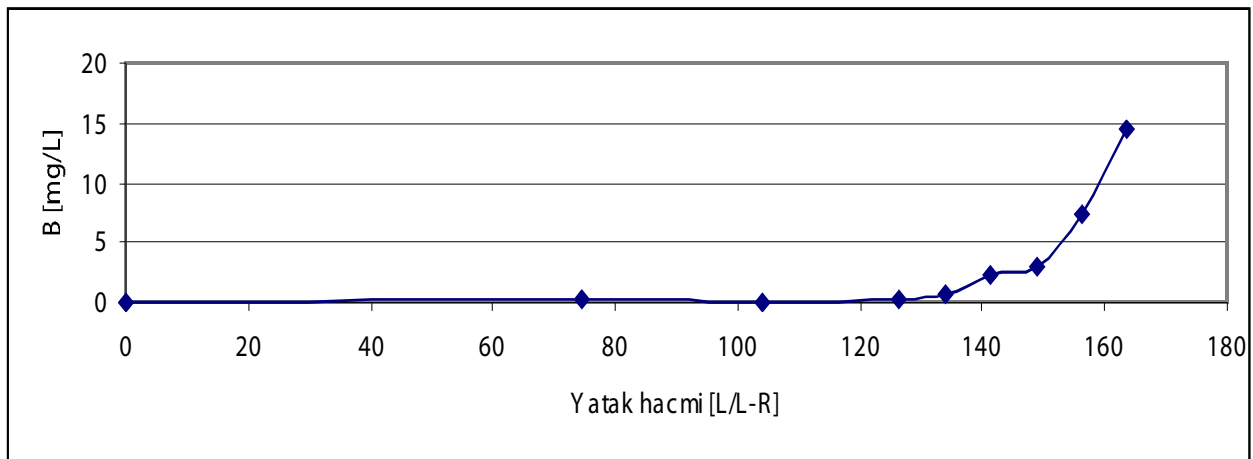


Kızıldere'de gerçekleştirilen testlerde salıverme noktası, bor konsantrasyonunun 10 mg/l'ye ulaştığı andaki değer kabul edilmiştir. Bu düşünce ile, birbirini izleyen çevrimlerde gerçekleşen salıverme noktalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Gerçekleştirilen dokuz adsorpsiyon-yıkama-rejenerasyon-yıkama Çevrimlerinden sonra ulaşılan 10. deneme sonundaki salıverme süresi, 10.5 saatten 7.0 saate inmiştir. İlk çevrimde ulaşılan salıverme noktası (156 yatak hacmi) on çevrim sonunda 105 yatak hacmine düşmüştür (Şek 5). Her çevrim için salıverme ve kapasite değerleri Çizelge 5'de verilmiştir. On çevrim boyunca reçine üzerinde tutulan bor, reçineden %100'den biraz daha az bir verimle sıyrılmıştır. Bu durum analiz hatalarından kaynaklanabilir. Çünkü arazide toplanan sıyırma örneklerinin bazılarında yüksek oranda seyreltme yapılmıştır. Eğer analitik bir hata söz konusu değilse, reçine üzerinde sıyrılmadan geride kalan bor, reçinenin aktif mevkilerini bloke ederek bir sonraki çevrimde bor tutulmasını negatif yönde etkileyerek yatak hacmi sayısını düşürmüştür. Reçinenin üzerinde rejenerasyon kademesinden sonra az miktarda da olsa hala B ve SiO<sub>2</sub> kalıp kalmadığını görebilmek için birbirini izleyen her bir çevrim sırasında reçine performansındaki

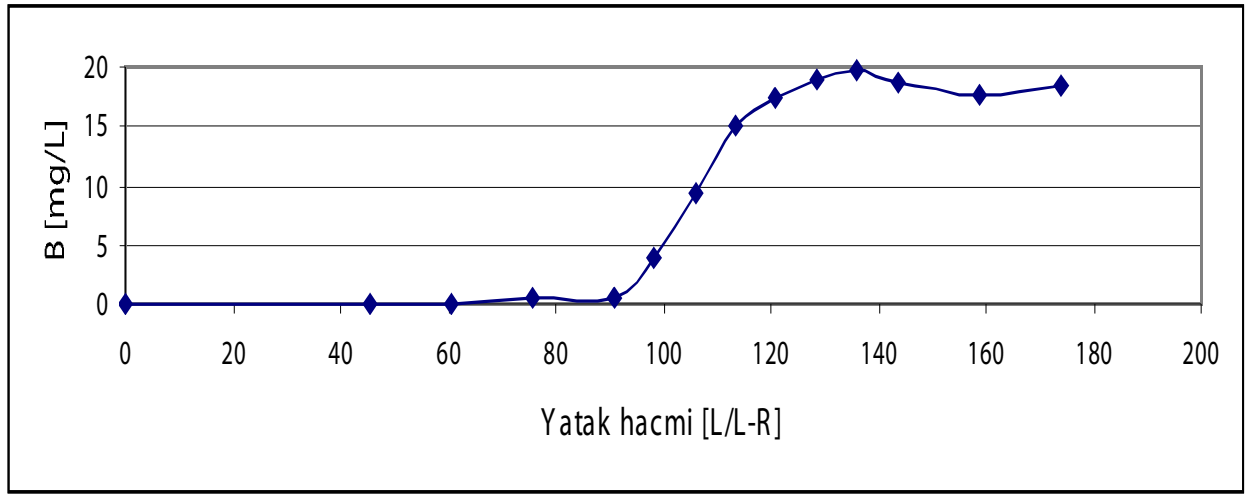
azalmayı açıklayabilmek amacıyla B ve SiO<sub>2</sub> balansı kurulmaya çalışılmıştır. Kurulan balansta bu iki bileşiğin izine reçine içinde rastlanamıştır

### Yatak Hacimleri ve Gözlemler

İlk ve son döngülerde elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve Şekil 7 'de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi ilk döngüde ulaşılan salıverme noktası 126 yatak hacmi, son döngüde 105 yatak hacmidir. Reçinenin bora karşı tamamen duyarısızlaşması, ilk döngüde 10,5 saat, son döngüde 7,5 saat sonra gerçekleşmiştir. On döngü boyuca reçine üzerinde tutulan bor, sisteme girmeden akışkanın ihtiva ettiği 18–20 mg/l borun % 97–98' i kadardır. Teknik olarak bu oran, borun reçine ile başarılı bir şekilde uzaklaştırılabileceğini göstermektedir (Recepoglu 1991). Reçinenin performansını görmek üzere gerçekleştirilen 10 çevrimde, su kimyasının reçine üzerindeki olumlu ve olumsuz etkisi analizlerle gözlemlenmeye çalışılmıştır. Sulama suyunda borun 1 ppm olması gerçeği göz önünde bulundurularak, atık akışkandaki 16–20 mg/l'lik bor konsantrasyonunun 1 ppm seviyesine düşürülmesi hedeflenmiştir. KD–6 akışkanı üzerinde denenen CBR 02 performansının 10 çevrimlik test süre-



Şekil 6. Çevrim 1. Bor salıverme noktasına karşı gelen yatak hacmi



Şekil 7. Çevirim 10. Bor salıverme noktasına karşı gelen yatak hacmi

since akışkan kimyasından etkilenip etkilenmediğini anlamak için 1.ve 10. çevirimlerde salıverilme noktasına kadar bor seçici reçinede silika ve Ca, Mg, Na, K TIC, Cl, SO<sub>4</sub> gibi iyonların tutulup tutulmadığı analizlerle denetlenmeye çalışılmıştır. Neticede reçine giriş ve çıkış kimyası arasında fazla bir fark kaydedilmemiştir. Anyon katyon konsntrasyonları hemen hemen aynı kalmıştır. TDS ve buna bağlı olarak EC değerlerinde bazı çalkantılar kaydedilmiştir. TDS miktarında gözlenen bu ufak çaptaki düşüşler Borun reçine üzerinde kolonda tutulması ve karbon dioksit rejenerasyonundan kaynaklanmıştır.

#### **Kolon Deneyleri Üzerinde Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Etkileri**

KD-6'dan alınan akışkanda meydana gelen sıcaklık düşüşü, karbon dioksit gazının kabarcıklaşmasına neden olmaktadır. Bu da reçinenin verimini bir miktar azaltmaktadır. Akışkanda Ca, Mg, SiO<sub>2</sub>, Na, K, HCO<sub>3</sub> CO<sub>3</sub> ve Cl önemli konsantrasyonda olmasına karşın, Diaion CBR 02 reçinesi bu maddelere karşı Duyarlılık göstermemekte, sadece bora karşı hassasiyet göstermektedir (bor seçici). Dolayısıyla, B, EC ve TDS değerlerinde görülen azalmalar

dışında, diğer iyon ve bileşiklerin konsantrasyonlarında kaydedilen farklılıklar, analiz hatasından kaynaklanmış olabilir. Bor giderimi çevirimlerinde giren ve çıkan akışkanın klor değerleri arasında 3,4 mg/L bir kayıp olduğu saptanmıştır.

#### **Kolon Testi Sırasında Kalsit Çökelimi**

Jeotermal akışkan CO<sub>2</sub> gazını kayıp ettiği ve kaynamaya başladığı noktadan yüzeye gelene kadar başlangıçta olan Ca konsantrasyonunun yaklaşık % 90'nını kayıp etmektedir. Bu noktadan itibaren akışkan kalsiyuma doygunluk altı durumuna gelmektedir. Dolayısıyla kuyu başından itibaren kurulan sistemlerde kalsiyum karbonat çökelimi söz konusu olmamaktadır (Badruk ve diğ 1997). Netice olarak, kolona giren akışkandan reçineye CaCO<sub>3</sub> transferi olmamaktadır. Reçinenin performans kaybı üzerinde CaCO<sub>3</sub> çökelimi söz konusu değildir.

#### **Olası SiO<sub>2</sub> Çökeliminin Test Üzerindeki Etkisi**

Yüksek entalpili Kızıldere kuyularında jeotermal akışkan deşarj olurken su ve buhar karışımı halindedir. Separatörde

ayırıldıktan sonra haliyle akışkan sıcaklığı buhar ayrışımından ötürü rezervuardaki sıcaklıktan düşüktür.

Buhar kaybı ya da kondüktif soğumadan sonra akışkan amorf silikaya aşırı doymun hale gelmekte ve böylece çözülmüş silika çökeltme eğilimine geçmektedir. Silika yeni denge kurma aşamasına gelmekte ve doymunluk üstü kısmı çökelmeye başlamaktadır. Normal koşullar altında KD-6 kuyusundan üretilen akışkan 85 °C'de doymunluk altı aşamasında kalmaktadır. Bu sıcaklığın altında bile, sürenin kısıllığından dolayı çökeltme olmamaktadır.

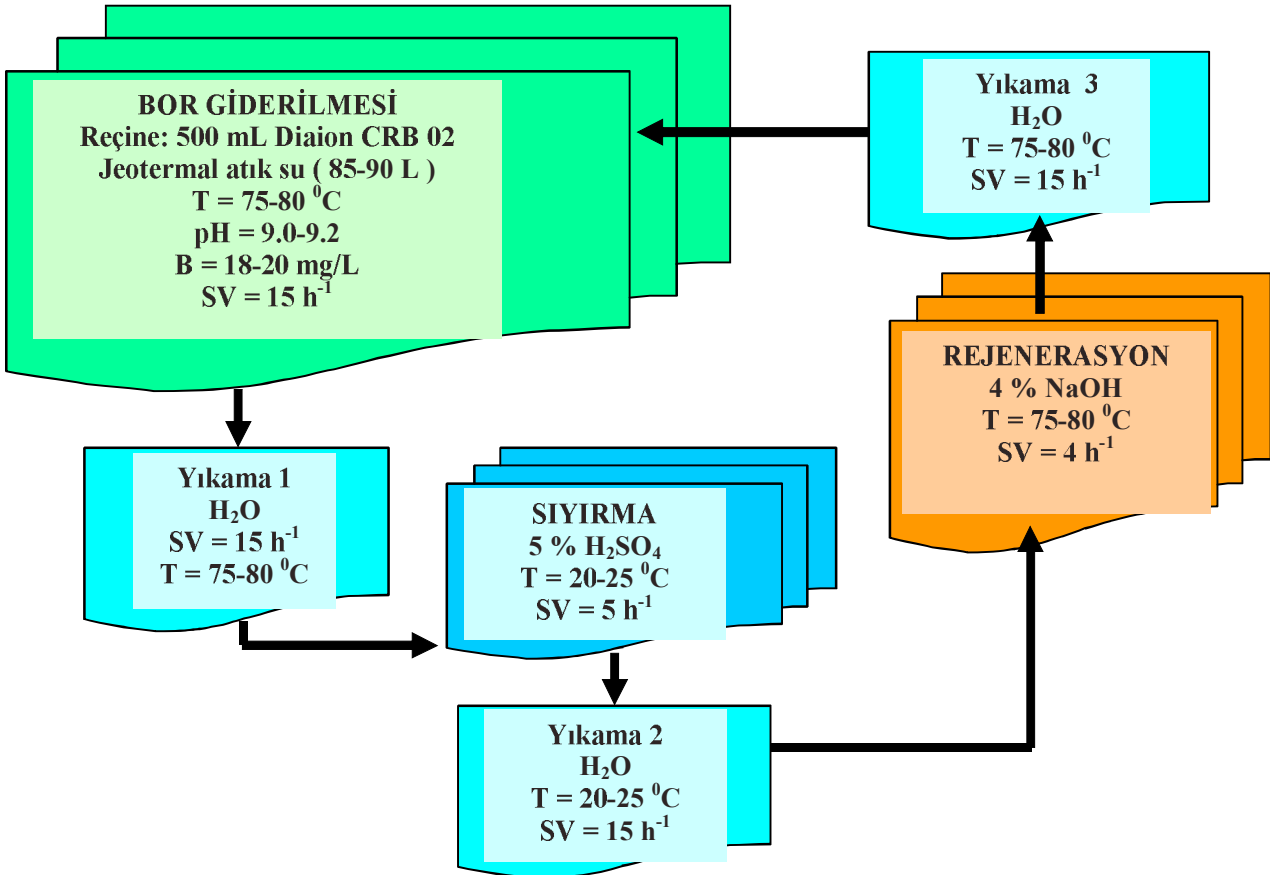
## EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

MTA Merkez laboratuvarı ve arazide gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre, hiçbir anyon ve katyon reçine tarafından

tutulmamaktadır. Kolona giriş ve çıkış  $\text{SiO}_2$  konsantrasyonları aynı bulunmuştur. Dolayısıyla reçine üzerinde  $\text{SiO}_2$  etkisi söz konusu değildir. Reçinenin gözlenen performans kaybı yüksek ısıdaki bozunmaya bağlanabilir. Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta bir miktar reçine deforme olmaktadır.

Atık su karışmış Büyük Menderes nehrinden sulanan bitkilerin yapraklarında bor yüksek seviyede bulunmuştur. Örneğin 850 ton/saat atık suyun nehre verilmesi ile nehirdeki bor konsantrasyonu yaz aylarında 2,4 ppm mertebesine kadar yükselmektedir.

Sahada gerçekleştirilen mini ölçekli pilot testte (Şekil 8) kullanılan kimyasallar temel alınarak, Kızıldere deki atık akışkanın bordan arındırılmak üzere tamamının Diaion CRB0<sub>2</sub> reçine ile muamaleye tabi tutulduğunu farz edersek, ortaya çıkan sarfiyat tablosu şöyle olmaktadır:



Şekil 8. Her bir mini çevirimde uygulanan aşamalar ve kullanılan kimyasallar

## Şartlar

- Atık su miktarı :850 ton/saat (şimdiki atık su miktarı)
- Bor Konsantrasyonu : Giriş 28.5 mg/L, çıkış 1 mg/l
- Sıcaklık : 75 °C
- İyon Değişirme sistemi: 4 Çevirim (sürekli döngü sistemi)

## **•Sonuç**

- Diaion CRB 02 :85x4=340 m<sup>3</sup>
- 98 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :72 ton/gün (72/2 ton/gün tekrar kullanılabilir)
- NaOH :85 ton/gün
- Saf su tüketimi : 5773 m<sup>3</sup>/gün
- Kule sayısı : 8 (4 ünite)

## **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Teknik olarak Kızıldere jeotermal atık akışkanından reçine ile borun uzaklaştırılması mümkündür (Ooi ve diğ. 1996). Jeotermal akışkanın kimyasal karakteristiği kullanılan reçine üzerinde menfi bir etki yaratmamaktadır. Reçinenin 75°C'nin üstündeki sıcaklıklarda kullanılması, reçinede az da olsa bozuşmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla iyi bir performans için reçinenin 75 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılması gerekmektedir.

Günlük yapılması gereken tüketimler göz önüne alındığında reçine ile bor giderme işlemi pek ekonomik gözükmemektedir. Zira günde yaklaşık 72 ton % 98'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 85 ton NaOH, ve 5773 m<sup>3</sup> saf su sarfiyatı gerekmektedir. Bu sarfiyatların parasal değerleri üretilen enerjinin birim fiyatına önemli bir maliyet yüklemektedir.

Ama yinede Jeotermal akışkanların çevre sorunu yarattığı ve bor sorununun reenjeksiyon veya diğer yöntemlerle giderilemediği jeotermal alanlarda, pahalı da olsa, reçine ile bor giderilme işlemleri devreye sokulabilir. Maliyet düşürmek için reçine üzerinde tutulan bor, uygun yöntemlerle elde edilerek ülke ekonomisine kazandırılabilir.

Borun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinden geri kazanılması zayıf bazik anyon değiştirici reçine olan Diaion WA 30 kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunun yanında, asidik çözeltilerden borun kazanılması için daha etkili ve ekonomik bir sürecin geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmalıdır.

Bor arındırılmış atık jeotermal su, diğer parametreleri elverişli olduğu takdirde sulamada kullanılabilir. Bu da sulama suyunun kıt olduğu jeotermal bölgelerinde önemli bir avantaj olarak değerlendirilmelidir.

## **KAYNAKLAR**

Helvacı C, 1978. "A review of the Mineralogy of the Turkish Borate deposits", Mercian Geol., 6,257.

Ooi K, Katoh H, Sonoda A, and Hirotsu T.J, 1996. Ion Exchange, 7(3), 166.

Badruk M, Kabay N, Demircioğlu M, Mordogan H. İpekoglu U, 1999. Sep.Sci. Technol., 34(13), 2553-2569.

Matsumoto M, Kondo K, Hirata M, Kokubu S, Hano T, and Takeda T, 1997. Sep. Sci. Technol. 32859, 983

Kabay N, Yüksel M, Yüksel Ü, Arda M ve Sağlam M, 2002. "İyon Değişirme Teknolojisiyle Kızıldere jeotermal Güç Santrali Atık Sularından Bor Giderilmesi ve Geri Kazanılması Proje raporu, Ege

Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü  
İzmir.

Oruç N, 1994. "Büyük Menderes  
Havzasında Jeotermal Enerji Üretimi  
ve Bor Kirliliği" Jeotermal Uygulamalar  
Sempozyumu'94" Pamukkale  
Üniversitesi, Denizli.

Recepoglu O ve Beker U, 1991.  
Geothermics, 20,83.

Yıldırım N, 1997. Corrosion and sca-  
ling of low- temperature geothermal  
fluid, "International Summer school' on  
Direct application of geothermal energy  
Çeşme, İzmir.

# TÜRKİYE' DEKİ JEOTERMAL SU KAYNAKLARININ SU ÜRÜNLERİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

**Ferhat ÇAĞILTAY<sup>(1)</sup>**

**Deniz Devrim TOSUN<sup>(1)</sup>**

*İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, İSTANBUL*

## **ÖZET**

Dünyada su ürünleri yetiştiriciliği çok eski yıllara dayanmakla birlikte ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği çalışmaları 1970' li yıllarda başlayarak büyük bir gelişme sergilemiştir. İlk zamanlarda alabalık ve sazan üretimi ile içsularda yapılan üretim sonraki yıllarda denizlerimizde levrek ve çipura balığı yetiştiriciliği ile ivme kazanmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2005 yılı verilerine göre ülkemizde levrek üretimi 37.290 ton, çipura üretimi 27.634 ton ve alabalık üretimi ise 48.033 ton olarak kaydedilmiştir. Ancak son yıllarda giderek artan kirlilik, azalan su kaynakları ve turizm sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler nedeniyle deniz ve içsularda yetiştiricilik yapılacak alanlar oldukça azalmıştır. Öte yandan ülkemizde yaklaşık 10-15 yıldan beri önemi giderek artan jeotermal su kaynaklarından elektrik, ısıtma, termal kaplıca vb. şeklinde yararlanmanın yanı sıra bu sularda ekonomik değeri olan ve nispeten sıcak suya ihtiyaç duyan (20 °C ve üzeri) tilapya, mersin, yılan balığı, kerevit vb. ile kurulacak ısıtma tesislerinde akvaryum balıkları gibi canlıların üretimi yapılarak bölge insanına katma değer imkanı sağlanacaktır.

Bu sunumda kısaca ülkemizdeki su ürünleri sektörünün durumu ile jeotermal su kaynaklarından su ürünleri üretimi amacıyla dünya ülkelerinin nasıl yararlandığı ve ülkemizdeki hangi jeotermal kaynaklarından nasıl ve ne şekilde yararlanabileceğimiz anlatılacaktır.

## I. GİRİŞ

Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından, Avrupa'da ilk, Dünya'da ise yedinci ülke konumundadır. MTA'nın 1991 yılı verilerine göre, mevcut jeotermal kuyu ve kaynaklarımızın ispatlanmış jeotermal potansiyeli 2490 MWt olarak bildirilmişken muhtemel teorik jeotermal potansiyelimiz ise 31.500 MWt olduğu tahmin edilmektedir (Mertoğlu 2000, Mertoğlu, 2001, Mertoğlu ve ark., 2003). Türkiye'de jeotermal kaynakların değerlendirilmesinde mevcut yasalara göre elektrik dışındaki sahalar fiilen Özel İdareler ve Belediyelerin kullanımındadır. Dolayısıyla Özel İdare ve Belediyeler bu kaynakları değerlendirmek üzere merkezi şehir ısıtma sistemleri ve kaplıca gibi tesisler kurmuşlardır. Dünyadaki jeotermal enerjinin doğrudan kullanım kapasitesi (ısıtma, termalizm, kültür balıkçılığı vb.) 11.300 MWt iken 2000 yılı itibarıyla ülkemizde bu değer yaklaşık 820 MWt'dir (Mertoğlu ve ark., 2003). Dünyada ise jeotermal su kaynaklarından elde edilen jeotermal enerji bu kullanım alanları dışında su ürünlerinin üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeotermal su kaynaklarının ekonomik değeri yüksek olan balık ve diğer canlıların büyütülmesi için kullanılmasının temel amacı ise, gerekli olan en uygun su sıcaklığının sürekli olarak temin edilebilmesidir (Lund 1986, Carella ve Sommaruga 2000, Boyd ve Lund 2003, Lund 2005, Lund ve ark., 2005a ve b, Zheng ve ark., 2005, Ragnarsson 2005, Hjartarson ve ark., 2005, Levitte ve Greitzer 2005, Fytikas ve ark., 2005, Bojadgieva ve ark., 2005, Gelegenis ve ark., 2006, Internet 2007b). Bu çalışma ile yurdumuzda bulunan zengin jeotermal su kaynaklarının su ürünleri üretiminde nasıl ve ne şekilde yararlanabileceği konularına değinilmiştir,

### I.1. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji dünyada sıcaklık içeriğine göre kabaca üç gruba ayrılır (DPT 1996 ve 2001b).

1- Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70 °C)

2- Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150 °C)

3- Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150 °C'den yüksek)

Bu jeotermal sahalardan üretilen akışkan sıcaklık değerlerine göre oldukça geniş sayılabilecek alanlarda yararlanma imkanı sağlanmaktadır. Orta ve düşük sıcaklık sahalarında bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta ısıtmacılık olmak üzere (seracılık, konut, tarımsal kullanım), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayiinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO<sub>2</sub> den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır (DPT 1996 ve 2001, Akkuş ve ark., 2005) (Şekil 1). Şekil 2'de gösterildiği üzere iyi bir entegre sistem geliştirildiğinde jeotermal bir kaynaktan yukarıda belirttiğimiz gibi pek çok alanda kullanım imkanı yaratılabilir. Yüksek sıcaklıklara sahip alanlardan elde edilen akışkandan elektrik enerjisi üretimi şeklinde yararlanmanın yanı sıra entegre olarak kurulmuş tesislerden diğer alanlardan da yararlanmak mümkündür (Anonim 2007). Yine jeotermal sıcak su kaynakları dinlendirme havuzlarında bekletilerek bazı bileşenler havuzlarda çöktürülmekte ve su arındırılmaktadır. Bundan sonra bu su balık havuzlarına verilerek değerlendirilmektedir. Denize yakın bazı jeotermal alanlarda ise, jeotermal sıcak su kimyasal yönden deniz suyu karakterinde olup buralarda kurulacak üretim sahalarında deniz balıkları ile kabuklu su ürünleri üretimi rahatlıkla yapılabilen ve buradan çıkan atık su-





Yıllar	Avcılık				Yetiştiricilik		TOPLAM
	Deniz	%	İçsu	%	Miktar	%	
1990	342.017	88,8	37.315	9,7	5.782	1,5	385.114
1991	317.425	87,0	39.401	10,8	7.835	2,2	364.661
1992	304.766	86,0	40.370	11,4	9.210	2,6	354.346
1993	502.031	90,3	41.575	7,5	12.438	2,2	556.044
1994	542.268	90,2	42.838	7,1	15.998	2,7	601.104
1995	582.610	89,8	44.983	6,9	21.607	3,3	649.200
1996	474.243	86,3	42.202	7,7	33.201	6,0	549.646
1997	404.350	80,8	50.460	10,1	45.450	9,1	500.260
1998	432.700	79,6	54.500	10,0	56.700	10,4	543.900
1999	523.634	82,2	50.190	7,9	63.000	9,9	636.824
2000	460.521	79,1	42.824	7,4	79.031	13,6	582.376
2001	484.410	81,4	43.323	7,5	67.244	11,3	594.977
2002	522.744	83,3	43.938	7,0	61.165	9,7	627.847
2003	463.074	78,8	44.698	7,6	79.943	13,6	587.715
2004	504.897	78,3	45.585	7,1	94.010	14,6	644.492
2005	334.248	67,0	46.115	9,2	118.277	23,7	498.640

**Tablo 1:** 1990-2005 Yılları Ülkemizdeki Avcılık ve Yetiştiricilik Yoluyla Elde Edilen Üretim Miktarları (Ton)

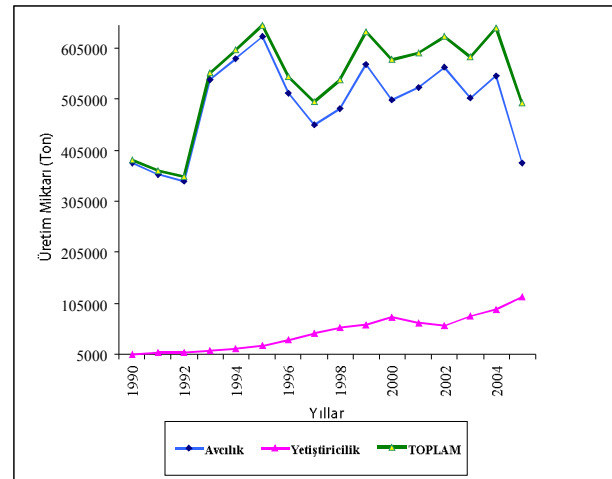
günümüz insanı bilinçli ve dengeli beslenmenin önemini anlamıştır. Artan dünya nüfusuna paralel olarak balık, et, süt gibi hayvansal gıdaların tüketimi de artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde eğitim düzeyinin yükselmesi, balığın en sağlıklı protein kaynağı olduğu konusunda bilinç oluşturmuştur (Çelikkale ve ark., 1999).

Mevcut kaynaklarımızın rasyonel bir şekilde kullanılması halinde başta yetiştiricilik olmak üzere elde edilecek üretim, artan nüfusumuzun protein ihtiyacının karşılanmasında, yeni istihdam imkanlarının yaratılmasında ve ihracatın geliştirilmesi açısından, büyük katkılar sağlayacaktır (DPT 2001a).

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olarak, gölleri, barajları, akarsuları ve kaynak suları ile su ürünleri potansiyeli bakımından oldukça şanslı bir ülkedir. Dünyada, su ürünleri sektöründe yetiştiricilik gelişmekte olup, toplam üretimde yetiştiriciliğin payı, son 20 yılda % 5'ten % 25'e çıkmış ve üretim miktarı 1997 yılı itibarıyla 28,8 milyon tona ulaşmıştır (DPT 2001a).

Ülkemizde ise henüz istenen düzeye ulaşamamakla birlikte Tablo 1 ile Şekil 4'de görüldüğü üzere 1990-2005 yılları arasında ülkemizdeki avcılık ve yetiştiricilik

yoluyla elde edilen su ürünleri üretim miktarlarında avcılıktan elde edilen ürünlerde bir dalgalanma söz konusu iken son yıllarda büyük bir ivme kazanan yetiştiricilik girişimlerinde sürekli bir artış görülmektedir (DPT 2001a, DİE 1999, TÜİK 2007). En son elde edilen istatistiklere göre, 2005 yılında yetiştirilen su ürünleri miktarı yaklaşık 118.277 tona ulaşmıştır. İçsu balıkları olarak alabalık ve sazan yetiştirilmekte olup her ikisi birlikte üretimleri yaklaşık 48.604 ton'dur. Deniz ortamında yetiştirilen türler gökkuşuğu alabalığı, çipura, levrek, midye ve çeşitli deniz balıkları (fangri, mercan, sinarit minnekop gibi)'dir. Ülkemizde yetiştiricilik yoluyla tatlı su ve denizlerimizden elde edilen su ürünleri üretim miktarları Tablo 2'de verilmiştir (DİE 1999 ve TÜİK 2007).



**Şekil 4:** 1990-2005 Yılları Ülkemizdeki Avcılık ve Yetiştiricilik Yoluyla Elde Edilen Üretim Miktarları (Ton)

Yetiştiricilikte içsu ve deniz türlerinin yaygın olarak üretildiği Ege Bölgesi başta gelmektedir. Bunu Marmara, İç Anadolu, Doğu Karadeniz, Akdeniz, Batı Karadeniz ve Doğu Anadolu izlemektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde GAP potansiyeli henüz değerlendirilememiştir. Bu nedenle bu bölgenin üretimi alabalık ve aynalı sazanla sınırlı olup ortalama 500 ton civarındadır (Çelikkale ve ark., 1999).

lecek küçük yada orta çaplı işletmelerin dışında resmi kayıtlı olarak sadece 8 adet akvaryum (süs) balık üretim işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerde genellikle canlı doğuran balıklar ile Japon türü süs balıklarıdır. Bunların yanında geri kalan balıklar Uzakdoğu kökenli balıkları pazarlamaktadır. Ancak bu tür balıkların ekonomik olarak getirisi çok yüksektir (Çelikkale ve ark., 1999).

Türkiye’de su ürünleri yetiştiriciliği 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu’nun 13. maddesine göre, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı’nın izni ile yapılmaktadır. Sağlık, ülke ekonomisi, deniz ulaşımı, teknik ve

YILLAR	YETİŞTİRİCİLİK (TON)					
	İÇSU	%	DENİZ	%	TOPLAM	%
1990	4.237	73,3	1.545	26,7	5.782	100
1991	4.510	57,6	3.325	42,4	7.835	100
1992	6.522	70,8	2.688	29,2	9.210	100
1993	7.392	59,4	5.046	40,6	12.438	100
1994	7.265	45,4	8.733	54,6	15.998	100
1995	13.113	60,7	8.494	39,3	21.607	100
1996	17.960	54,1	15.241	45,9	33.201	100
1997	27.300	60,0	18.150	40,0	45.450	100
1998	33.290	58,7	23.410	41,3	56.700	100
1999	37.700	59,8	25.230	40,0	63.000	100
2000	43.385	54,9	35.646	45,1	79.031	100
2001	37.514	55,8	29.730	44,2	67.244	100
2002	34.297	56,1	26.868	43,9	61.165	100
2003	40.217	50,3	39.726	49,7	79.943	100
2004	44.115	47,0	49.895	53,0	94.010	100
2005	48.604	41,2	69.673	58,8	118.277	100

**Tablo 2:** Ülkemizde yetiştiricilik yoluyla tatlı su ve denizlerimizden elde edilen su ürünleri üretim miktarları (Ton)

Akvaryum balıkçılığı ise, ülkemizde yer alan balıkların çoğu subtropik bölgelerdeki sıcak su kaynaklarında üretilen yada avlananmış balıklardan olup çoğunluğu yurtdışından ithal edilmektedir. Üretim olarak çoğunlukla ilkel sayılabi-

bilimsel yönden uygun bulunan projeler onaylanarak faaliyetlerine izin verilmektedir (DPT 2001a).

Ülkemizde Tablo’da belirtilen su kaynaklarının yanında, yetiştiriciliğe müsait olan ve şu anda üzerinde yetiştiricilik yapılan pek çok su kaynağımız dikkate alındığında, bu potansiyelin ne kadar büyük olduğu görülmektedir (DPT 2001a).

Üretim Alanları	Adedi	Büyüklüğü (ha)	Uzunluğu (km.)
Tabii Göl	200	906.118	
Baraj Gölü	193	342.377	
Gölet	750'den fazla	15.500	
Nehir ve Irmak	33	-	177.714
Denizler	-	24.607.200	8.333
<b>TOPLAM</b>		<b>25.871.195</b>	

**Tablo: 3.** Türkiye Su Ürünleri Kaynakları

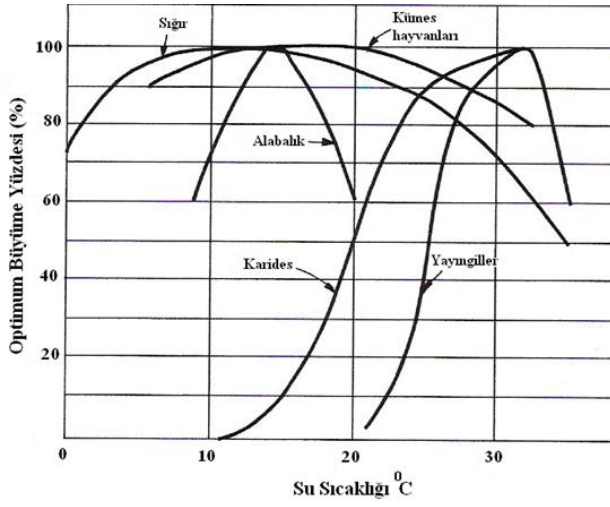
Türkiye, balık yetiştiriciliği bakımından ideal ortama sahip ülkelerden biridir. Özellikle Ege, Marmara ve Karadeniz' in yetiştiricilik için kullanılmasıyla, Türkiye'nin dünya ülkelerine balık satma potansiyeli artacaktır. Bu sonuçtan hareketle, yetiştiriciliğin gerek Türkiye'nin protein ihtiyacına cevap vermesi, gerekse döviz kazandırıcı önemli bir faaliyet olması bakımından ekonomimize büyük katkı sağlayacağı açıktır (DPT 2001a).

Ancak giderek artan su ihtiyacı, su kaynaklarının kirlenmesi, denizden yeterince yararlanamama gibi nedenlerden dolayı üretim istenen seviyelere ulaşamamaktadır. Öte yandan sıcaklık gibi çevresel istekleri yüksek olan çeşitli su ürünlerinin üretimi geniş jeotermal su kaynaklarına sahip ülkemiz açısından yeterince bilinmemekte ve kullanılmamaktadır. Bunun yanında jeotermal su kaynaklarından elektrik üretimi ve soğutma alanlarından yararlanıldığı için bu jeotermal alanların yakınlarına kurulacak kapalı devre sistemi diye adlandırdığımız tesisler kurularak deniz balıkları üretimi de yapılabilir. Yine bu jeotermal alanlarından entegre üretim tesisleri kurularak balıkçılığın yanı sıra diğer alanlardan da yararlanmak mümkündür. Bunun sonucunda da elde edilecek ürün gıda maddesi olarak değerlendirilirken bu ürünün ihraç edilmesiyle de ülkemize büyük miktarlarda döviz girdisi sağlanacaktır.

### III. Dünyada Jeotermal Kaynaklardan Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Su Ürünleri Yetiştiriciliği, kontrollü koşullar altında tatlı sularda yada denizlerde çeşitli su canlılarının üretilmesi, beslenmesi ve pazara sunulmasını ifade eder. Çalışmalar göstermiştir ki, balık üretim havuzlarının doğal iklim koşullarına yada güneşe bağlı kalarak ısıtmaktan ziyade jeotermal enerjiden yararlanarak havuzlara verilmesi ile daha kısa bir periyotta daha çok miktarda balık üretilebildiği kanıtlanmıştır. Su sıcaklığı değerleri optimum değerlerin altına düştüğü zaman balıkların vücut metabolizmaları azalacağı için yem alımları azalır ve balık yem almaz. Yeterli ve sabit su sıcaklığı özelliğinden yararlanarak jeotermal su kaynağı ile doğal ılıman bir iklim yaratılmış olunur. Optimum sıcaklık değerleri genellikle suda yaşayan türlerde karada yaşayan hayvanlara nazaran daha önemlidir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde jeotermal enerjinin potansiyeli büyük yada küçük baş hayvan ile kanatlı yetiştiriciliği gibi karasal hayvanlardan daha büyük önem sergiler. Şekilde bazı kara hayvanları ile su ürünleri türlerinin büyüme eğrileri gösterilmiştir. Şekil 5' de görüldüğü üzere karasal hayvanlar 10 °C' nin aşağısı ve 20 °C' nin üzerindeki geniş sıcaklık değerlerinde büyüme gösterirken karides ve bazı yayın balığı türleri 30 °C' ye erişen sıcaklıkta optimum büyümeleri için dar bir aralığa sahiptirler. Öte yandan alabalık türleri 15-18 °C' den daha yüksek

olmayan daha düşük optimum sıcaklık değerlerine sahiptir (Lund 1986, Çelikkale ve ark., 1999, Boyd ve Lund 2003, Lund 2005).



**Şekil 5:** Bazı çiftlik hayvanları ve su ürünleri türlerinin büyümeleri için gerekli optimum sıcaklıklar

Deniz ve içsulara ekonomik olarak yetiştiriciliği yapılan çoğu türler için istenilen sıcaklık değerleri genellikle 20-30°C arasındadır. Üretim sahasının büyüklüğü balık havuzlarının ihtiyacı olan su sıcaklığı ve daha sonrasında meydana gelecek sıcaklık kayıplarından dolayı jeotermal kaynağın sıcaklığına bağlı olacaktır (Lund 1986, Boyd ve Lund 2003).

Üretimleri yapılan su ürünleri türleri için yumurtlama sıcaklıklarının kontrolü karada yaşayan canlılardan çok daha büyük bir öneme sahiptir. Yapay olarak optimum su sıcaklığı sağlayarak pek çok egzotik türlerden birkaç kez yavru alabiliriz. Bu durum suyun elektrik yada fosil kaynaklı enerji kaynakları ile ısıtılması ile büyük bir ekonomik yük getirmektedir. Bunun yerine ucuz ve sürekli sabit bir sıcaklık sağlayan jeotermal kaynaklardan yararlanarak bu durum engellenirken sıcak su kaynağından elde edilecek op-

timum sıcaklığın sağlanması ile egzotik türlerin üretilmesi, üretimlerinin artırılması ve hatta üremenin ikiye üçe katlanması mümkün olacaktır (Lund 1986, Boyd ve Lund 2003, Lund ve ark., 2005a).

Jeotermal kaynaklardan yararlanılarak üretimi yapılabilecek su ürünleri; sazan, yayın balıkları, levrek, çipura, kefal, yılan balığı, salmon, mersin, karides, istakoz, kerevit, yengeç, istiridye, midye gibi çeşitli kabuklu su ürünleri, akvaryum balıkları ile çeşitli alg türlerinin yanı sıra timsah, kurbağa gibi canlıların yetiştiriciliğidir. Bunun yanında özellikle A.B.D.'nde turistik amaçlı ve derisinden yararlanarak timsah yetiştiriciliği de yapılmaktadır. Jeotermal enerjinin su ürünleri yetiştiriciliğindeki kullanımı son beş yıllık periyotta % 20 oranında düşme eğilimi göstermiştir. Bu düşüşün nedenleri hakkında bir açıklama yapılamamıştır. Dünyada 16 ülkede jeotermal enerjinin su ürünleri üretimi için kullanıldığı bildirilmiştir. Bu şekilde yetiştiricilik yöntemini kullanarak ABD, Çin İzlanda, İsrail, İtalya, Macaristan gibi ülkeler su ürünleri üretimi yapmaktadır (Lund 1986, Lund ve Freston 2000, Lund 2005. Lund ve ark., 2005a ve b).

Çin'de jeotermal kaynaklı balık çiftliklerinin kapladığı alan yaklaşık 4,5 milyon metrekaredir. Yine Japonya'da yılan balığı ve timsahlar jeotermal su kaynaklarında büyütülmektedir. Amerika'daki 11 eyalette 49 adet jeotermal kaynakları kullanan yetiştiricilik tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerde yetiştirilen ürünler arasında yayın balığı, alabalık, timsah, tilapia gibi balıklar kadar süs balıklarının yetiştiriciliği de yine bu kaynaklarda yapılmaktadır (Zheng ve ark., 2005).

İzlanda gibi oldukça soğuk olan ülkelerde sıcak sularda yaşayan ve dağılım gösteren bir kabuklu su canlısı olan deniz kulağı'nın yılda 2,5 milyondan fazla

yetiştiriciliği bu jeotermal kaynaklarda yapılmaktadır. Öte yandan bu ülkede balık yetiştiriciliği ve balık ürünlerinin kurutulması işlemlerinde jeotermal kaynaklardan yaygın şekilde yararlanılmaktadır (Ragnarsson 2005, Hjartarson ve ark., 2005, Internet 2007d).

İtalya' da üretilen 10.000 ton/ yıllık levrek ve çipura balığının yaklaşık 2.000 tonu jeotermal kaynaklarda yetiştirilen balıklardan elde edilmektedir. Jeotermal su mevcudiyeti yaklaşık 40.000 TOE (tonne of oil equivalent )/Yıl' dır (Carella ve Sommaruga 2000).

İsrail' de ana jeotermal aktivitesi balık havuzları için kaplıca ve seralardan çıkan sıcak sudan yararlanmasına dayandırılmakta olup bu durum artarak ve aktif şekilde devam etmektedir. Balık yetiştiriciliği için jeotermal su kaynakları iki bölgede kullanılmaktadır. Bu alanlar Ürdün

Vadisi (27 °C) ve Akdeniz kıyısı boyunca sıcak acı suları (26 °C) içeren alanlardır (Levitte ve Greitzer 2005).

Yine Yunanistan' ın Kuzey kesminde kış aylarının sert geçtiği dönemlerde ortalama 27 °C su sıcaklığına sahip jeotermal su kaynakları kullanılarak havuzlardaki balıkların zarar görmeleri engellenmiştir. Diğer yandan bu ülkede Sipirulina kültürü de yapılmaktadır (Fytikas ve ark., 2005, Gelegenis ve ark., 2006).

Bulgaristan' da 35 yıldan bu yana jeotermal sıcak su kaynaklarının sıcaklığı ve içerisinde yer alan çözülmüş karbondioksit gazı beraber kullanılarak mikro alg kültürü dediğimiz yöntem ile *Sipirulina* yetiştiriciliği yapılmaktadır. *Sipirulina*' nın başlıca kullanım alanı tıp, eczacılık, kozmetik gibi sahalardır (Bojadgieva ve ark., 2005).

<b>Avantaj</b>	<b>Dezavantaj</b>
Yıl boyunca sabit sıcaklık eldesi	İçerisinde bazı zararlı gazların ve minerallerin olması
Kısa sürede canlıyı pazar ağırlığına ulaştırma	Çıkartılması için yüksek bir maliyet gerektirmesi
Olumsuz su sıcaklığından etkilenen ve yetiştiriciliği yapılan su canlıları bu koşullarda kolayca yetiştiriciliği yapılabilir olması	
Çevre dostu olması	
Halkımıza - özellikle termal turizmle entegre olması halinde - her zaman taze ve bol miktarda balık sunabilme imkanı sağlaması	
Herhangi bir enerji maliyetine gerek göstermemesi	
Diğer su kaynaklarının tersine akışında bir azalma olmayıp sürdürülebilir, tükenmeyen bir su kaynağıdır.	
Entegre Jeotermal Değerlendirme kapsamında kuyudan alınan su çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra Reenjeksiyon Kuyusuna verilmeden önce balık üretiminde rahatlıkla kullanılabilir imkanına sahip olması	

**Tablo 4:** Jeotermal alanlarda yapılacak su ürünleri üretiminin avantaj ve dezavantajı

Macaristan' da ise jeotermal su kaynaklarını kullanarak yaz ve kış sürekli sabit su sıcaklığı (24 °C) elde ederek yayın balığı, sazan, tilapya gibi balıkların üretimleri yapılmaktadır (Internet 2007b).

## V. Ülkemizdeki Jeotermal Alanlarda Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Avantaj ve Dezavantajları

Ülkemizde Jeotermal alanlarda yapılacak su ürünleri üretiminin bazı avantaj ve dezavantajları Tablo 4' de verilmiştir.

## IV. Türkiye' deki Su Ürünleri Yetiştiriciliğine Uygun Jeotermal Alanlar ve Yetiştirilecek Türler

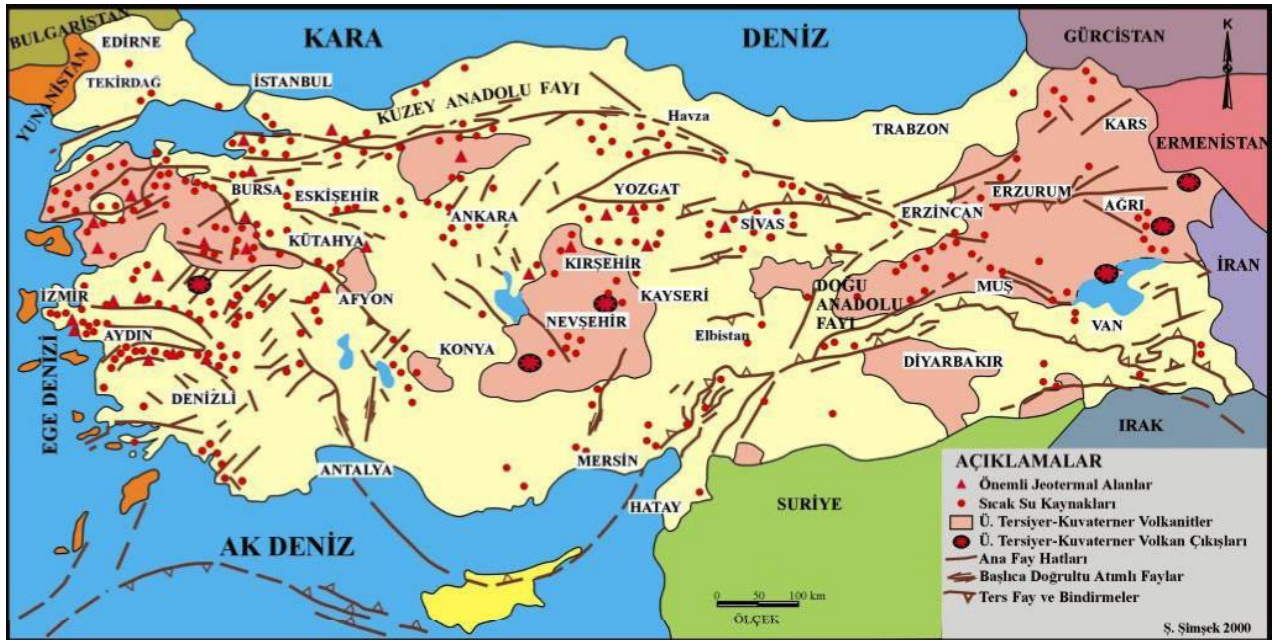
### IV.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğine Uygun Jeotermal Alanlar

Ülkemiz zengin jeotermal enerji kaynaklarına sahiptir ve jeotermal enerji potansiyeli yönünden dünyada 7. sıradadır. Bugüne kadar MTA tarafından 40 °C'nin

Arslan ve ark., 2001, Internet 2007c, Anonim2007)

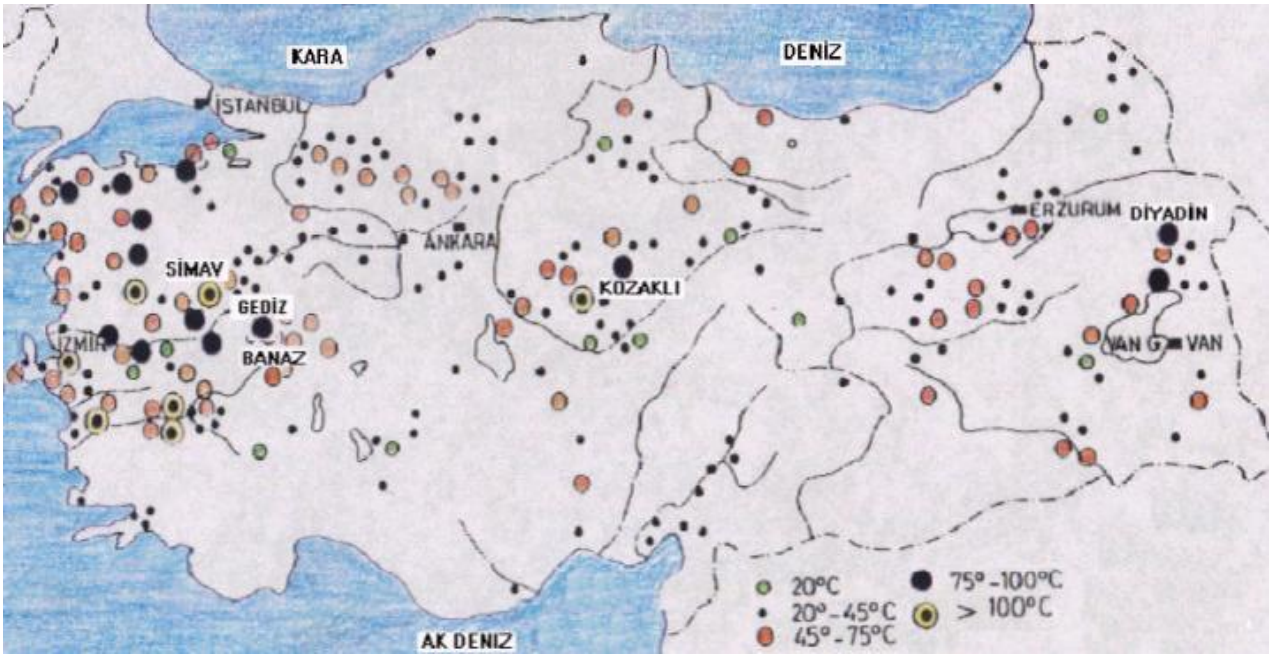
Türkiye'de açılan toplam üretim kuyusu sayısının 400'ün üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca 300 adet gradyan sondajı yapılmıştır. Bu kuyuların % 62'si MTA tarafından ücret karşılığı valiliklere, belediyelere veya bunlara bağlı şirketler adına açılmıştır. % 16,5'i ise MTA projesi olarak açılmıştır. % 11,5'i ise özel sektör tarafından açıldığı tahmin edilmektedir. Yukarıdaki paragraflardan görüleceği üzere Türkiye'nin jeotermal potansiyeline göre kurulu kapasitesi ve jeotermal saha sayısına göre açılan kuyu sayısı çok azdır (DPT 2001, Internet 2007c). Şekil 6 ve 7' de ülkemizdeki önemli jeotermal alanlar ile hangi sıcaklıklarda nerelerde dağılım gösterdiği sergilenmiştir.

Türkiye'de mevcut 381 adet olarak tespit edilmiş olan jeotermal üretim kuyuları % 65,4 oranında Valilikler, Belediyeler ve şirketler tarafından finanse edilmiştir (Mertoğlu 200).



üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. Bu sahaların % 95'i düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal sahalardır (DPT 1996 ve 2001b,

**Şekil 6 :** Ülkemizdeki Jeotermal Alanlar (Şimşek 2001)



**Şekil 7:** Ülkemizdeki sıcak su kaynaklarının hangi sıcaklık ve yörelerimizde dağılımını gösteren harita (Şimşek 2001)

Yine aşağıdaki Tablo 5 ülkemizde kaydedilen jeotermal sahalarındaki yaklaşık sıcaklık değerlerini göstermektedir.

**Tablo 5:** Ülkemizde kaydedilen jeotermal sahaların sıcaklık değerleri (Internet 2007c)

JEOTERMAL SAHA	SICAKLIK C°	JEOTERMAL SAHA	SICAKLIK C°
<b>AFYON</b>		Armutlu	75
Ömer-Gecek	98	Kemalpaşa	51
Arapderesi	75	Oylat	40
Heybeli	79	Kaya-Sada (Orhaneli)	68
Gazlıgöl	74	<b>ÇANAKKALE</b>	
Hüdai	71	Tuzla	174
<b>AĞRI</b>		Kestanbol	75
Diyadin, Köprüçermik, Yılanlı	71	Hıdırlar	81
<b>AMASYA</b>		Kumılcısı, Yenice	69
Hamamözü	42	Ozancık	65
Gözlek	40	Kırkgeçit	52
<b>ANKARA</b>		Kara	48
Kızılcahamam	86	Çam	46
Haymana	45	Küçükçetmi	41
Seyhamamı	43	<b>ÇANKIRI</b>	



Dutluca	51	Çavundur	54
Ayaş	31	<b>DENİZLİ</b>	
Ayaş-Çoban	50	Kızıldere	212
<b>ANTAKYA</b>		Tekkehamamı, Kabağaç, Uyuz, İnatlı Uyuz, Demirtaş	100
Kırıkhan	33	Gölemezli	55
<b>AKSARAY</b>		Karahayit	56
Ziga	53	Kamarayenice	56
<b>AYDIN</b>		<b>DIYARBAKIR</b>	
Germencik-Ömerbeyli	232	Çermik	51
Çamköy, Bozköy	90	<b>ELAZIĞ</b>	
Salavatlı	171	Kolan	42
Aydın-Şehir içi Ilıcabaşı	103	<b>ERZURUM</b>	
Gümüşköy	41	Ilıca	39
Davutlar	65	Pasinler	43
Ortakçı	50	Kığıhazman	56
<b>BALIKESİR</b>		Meman	45
Gönen	82	<b>ESKİŞEHİR</b>	
Hisaralan	100	Sarıcakaya, Sakarılıca	56
Hisarköy	93	Merkez	45
Pamukçu	60	<b>İZMİR</b>	
Kepekler	60	Balçova	124
Havran, Derman	60	Seferihisar, Cuma, Karakoç, Doğanbey, Tuzla	153
<b>BINGÖL</b>		Doğanbey Burnu	64
Kös	47	Dikili Kaynarca	130
Hacıköy	62	Bademli	70
Harur	52	Çeşme	61
Hozavit	48	Şifne	57
<b>BITLİS</b>		Nebiler	57
Nemrut	66	Paşa	43
Ilıcaköy	44	Aliağa	58
<b>BOLU</b>		Bayındır, Dereköy	45
Merkez	44	<b>KAHRAMANMARAŞ</b>	
Sarıot	63	Süleyman	43
Kesenözü, Seben	73	<b>KAYSERİ</b>	
Efteni	42	Tekgöz	40
<b>BURSA</b>		Bayramhacı	40
Çekirge	47		
Karamustafa, Kaynarca	83		

JEOTERMAL SAHA	SICAKLIK C°	JEOTERMAL SAHA	SICAKLIK C°
<b>KIRŞEHİR</b>		<b>SIIRT</b>	
Terme	56	Billuris	38
Mahmutlu	70	Histaçermiği	67
Karakurt	55	<b>SIVAS</b>	
Bulamaçlı	44	Sıcakçermik	56
<b>KONYA</b>		Akçaağıl	43
Ilgın	42	<b>TOKAT</b>	
<b>KÜTAHYA</b>		Sulusaray	54
Eynal-Simav	163	Reşadiye	48
Naşa	52	<b>URFA</b>	
Çitgöl	97	Karaali	48
Abide, Gediz	78	<b>UŞAK</b>	
Yoncalı	42	Banaz	61
Kızıslın (Ilıcaköy)	44	Eşme-Örencik	40
Emet	47	<b>VAN</b>	
Yeniceköy	49	Hasanabdal-Zilan (Erçiş)	90
Dereli Günlüce	41	Zereni	
Samrık	46	<b>YALOVA</b>	
Muratdağı	42	Yalova	66
Hamamköy	51	<b>YOZGAT</b>	
<b>MANISA</b>		Köhne (Sogun)	78
Kurşunlu-Salihli	98	Cavlak (Boğazlıyan)	46
Urğanlı	83	Sarıkaya	45
Sart	54	Yerköy (Uyuz)	47
Şaraycık	51	Karadikme	40
Menteşe	63	Karamağra (Saraykent)	68
Şehitler (Emir-Kula)	55		
Pamukkale	36		
Dağlıcası, Ekşidere	64		
Güre	58		
Kızıkköy, Manyas	51		
Yıldız	47		
Şamlıdağ	62		
<b>MARDİN</b>			
Gimiab	61		
<b>MUĞLA</b>			
Velibey	39		
Sultaniye	41		
<b>NEVŞEHİR</b>			
Kozaklı	93		
Acıgöl (Tahmin)	200		
<b>NİĞDE</b>			
Narköy	63		
Çiftehan	53		
<b>ORDU</b>			
Fatsa	49		
<b>RIZE</b>			
Ayder	55		
<b>SAKARYA</b>			
Kuzuluk	84		
<b>SAMSUN</b>			
Havza	54		
Ladik	38		

#### IV.II. Uygun Jeotermal Alanlarda Yetiştirilebilecek Türler

Ülkemizdeki su ürünleri yetiştiriciliğine uygun jeotermal alanlarda üretilecek olan su ürünleri ile bunların istedikleri optimum sıcaklık değerleri Tablo 6' da gösterilmiş olup bunlarla ilgili bilgiler kısaca özetlenmiştir.

**Tablo 6:** Uygun jeotermal alanlara sahip alanlarda üretilebilecek su ürünleri ile istedikleri optimum sıcaklık değerleri (Çelikkale ve ark., 1999, Boyd ve Lund 2003, Lund 2005)

Türler	Dayanabildiği Minimum ve Maksimum Su Sıcaklıkları ( °C)	Optimum Büyüme Sıcaklığı ( °C)	Pazar Boyu için Büyüme Periyodu
Karides türleri	10 35	27 - 30	4-6 ay
Yayınçiller	2 30	27 - 30	12 ay
Yılan Balığı	0 35	22 - 30	12 ile 18 ay
Tilapya	8 40	24 - 30	2-3 ay
Sazan	4 37	24 - 30	12 ay
Alabalık	0 20	16 - 18	6 ile 8 ay (4-6 ay)
Levrek-Çipura	3 34	22 - 24	12-18 ay
Mersin Balığı	4 32	22 - 24	12-18
İstakoz	0 32	22 -24	18 - 30 Ay
Kerevit	0 35	14 - 23	12 -18 ay
Tropikal Süs Balıkları	10 35	23 -27	2-3 ay

**Karides türleri:** Denize yakın alanlarda kurulacak olan alanlarda jeotermal enerjiden yararlanarak Çil Karides (*Mar-supenaeus japonicus*), Karabiga Karides (*Penaeus kerathurus*) Yeşil Kaplan Karidesi veya Jumbo Karides (*Penaeus semi-sulcatus*) Demir karidesi-Benekli Karides (Metapenaeus monoceros) Dev Kaplan Karidesi (*Penaeus monodon*) ile özellikle Uzakdoğu ülkelerindeki tatlı su kaynaklarında yetiştiriciliği yapılan tatlı su karidesi' nin (*Macrobrachium rosenbergii*) üretimi yapılabilir (Johnson ve Smith 1981, Çağıltay 1999).

**Yayınçiller:** Kuzey Amerika' da yaygın şekilde yetiştiriciliği yapılan kanal yayınının (*Ictalurus punctatus*) yanı sıra ülkemiz sularında bulunan, eti lezzetli yayın balığıda (*Siluris glanis*) ülkemizdeki uygun jeotermal alanlarda yetiştiriciliği kolaylıkla yapılabilecek olan türler arasındadır,

**Yılan Balığı:** Özellikle Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde yetiştiriciliği yapılan bu balık türü ülkemiz sularında da bulunmasına rağmen sadece Ege Bölgesi' ndeki bazı göl ve nehirlerimizde çoğunlukla avcılık yoluyla elde edilmektedir (Alpbaz ve Hoşsucu 2002). Bu balık türü Macaris-

tan, Polonya, Japonya gibi ülkelerde Jeotermal kaynaklar kullanılarak üretimleri yapılmaktadır.

**Tilapya:** Asya, Uzakdoğu Ülkeleri ile Afrika' da yaygın şekilde yetiştiriciliği yapılan ve tatlısu çipurası diye de adlandırılan bu balık türü geniş bir çevresel isteklere sahip olup yetiştiriciliği kolaylıkla yapılır (Alpbaz ve Hoşsucu 2002). Dikkat edilmesi gereken husus su sıcaklığının 12-13 °C' nin altına düşmemesidir. Bu balık türü pekin ördeği, sazan, sudak gibi başka diğer su canlıları ile de kültürü

yapılmaktadır. Ülkemizde Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Üretim Tesisleri'nde yetiştiriciliği yapılmakta olup bu bölgedeki insanlar tarafından tüketilmektedir.

**Sazan:** Dünyada en fazla üretimi yapılan bu balık türü ülkemiz sularında da doğal bir yayılım alanı bulması, döl alımında ve büyütmede önemli bir sorun söz konusu olmamasına rağmen üretim bakımından beklenen gelişmeyi gösterememiştir. Türkiye'de sazan üretiminin gelişmemesinin nedenleri arasında Türk insanının damak zevkini sürekli ön planda tutan tüketim alışkanlığı, balığın kılçıklı olması, zeminde yaşaması nedeniyle etinde çamur kokusu hissedilmesi, üretici veya yetiştiricinin bu kokuyu giderme yönünde bir katkıda bulunmaması, doğal olarak oldukça bol bulunması ve dolayısıyla oldukça ucuz olması sayılabilir. Buna rağmen Uzakdoğu ve gelişmemiş ülkeler dışında Japonya, Orta Avrupa ülkeleri ile İsrail'de yaygın şekilde üretimi yapılmaktadır (Çelikkale ve ark., 1999).

**Alabalık:** Ülkemizde yaygın şekilde üretimi yapılan ve gökkuşağı alabalığı diye bilinen bu balık türü her ne kadar soğuk su diye sınıflandırabileceğimiz derecelerde yaşamakla birlikte Entegre Jeotermal Sahaları'nda su eşanjörden geçirilerek optimum büyümeyi sağlamak için 15-18 °C arasında soğutulduktan sonra alabalık havuzlarına verilerek üretim yapılabilir (Johnson ve Smith 1981).

**Levrek ve Çipura:** Ülkemiz denizlerinde dağılım gösteren ve benzer çevre isteklerine, kuluçka ve büyütme tekniklerine sahip olduğundan birlikte üretilen

balık türleridir. Ege Denizi'nde levrek 2 gr. dan pazar boyu olan 300-350 gram ağırlığa yaklaşık 12-18 ayda ulaşmasına rağmen su sıcaklığının düşük olduğu Kuzey Ege'de büyüme oranı oldukça düşük olmaktadır. Buna rağmen çipuranın büyümesi için levreğe nazaran biraz daha yüksek su sıcaklıkları gerektiği ileri sürülmektedir. Kuzey Ege'de uygun jeotermal alanlara sahip alanlarda bu balıkların yetiştiriciliği kolaylıkla yapılabileceği düşünülmektedir. Yine Dikili Çanakkale arasında bulunan deniz balıkları işletmeleri jeotermal suları kullanarak kışın nispeten soğuk olduğu aylarda sabit ve uygun su sıcaklığı sağlayarak üretimlerini gerçekleştirebilme imkanlarına sahip olacaklardır (Çelikkale ve ark., 1999).

**Mersin Balığı:** Karadeniz'de yaygın olarak bulunmasına rağmen son yıllarda giderek artan çevre kirliliği, baraj yapımı ile yumurtlama sahalarının kapanması, eti ve yumurtası nedeniyle yanlış ve bilinçsiz avcılık sonucu soyu yok olma tehlikesinde olup nesli korunan hayvan türleri arasına alınmıştır. Ancak son 10-15 yıl içinde Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü'nde sibirya mersini ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür (Çelikkale ve ark., 1999). Yine gerek Trabzon Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü'nün öncülüğünde yapılan proje çalışmaları çalışmalar gerekse İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Sapanca İçsu Ürünleri Üretim, Araştırma ve Uygulama Birimi Tesisleri'nde yurtdışından mersin yumurtası getirtilerek yumurtaların açılımının sağlanıp çıkan yavrular bir süre bakım ve beslemeleri yapıldıktan sonra doğaya tekrar bırakılması ile doğal stokların bir ölçüde korunması sağlanmıştır. Buralarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki. bu balık türü doğal ortamlarında pa-

zar boyu olan 3-5 kg. ağırlığına yaklaşık 7-8 yılda ulaşırken yıl boyunca sağlanacak uygun su sıcaklığına (25-30 °C) sahip sıcak su kaynaklarında pazara daha kısa sürelerde ulaşması mümkün olacaktır.

**Kefal:** Bu balık türü de tüm denizlerimizde dağılım göstermesinin yanı sıra içsularada girerek bu alanlarda yaşayabilir (Çelikkale ve ark., 1999). Bu nedenle karada oluşturulacak havuzlarda jeotermal su akışı sağlayarak bu balığın besiciliği yapılabilir.

**İstakoz:** Ekonomik değeri son derece yüksek olan bu canlı ülkemiz denizlerinde özellikle Kuzey Ege Denizi'nde oldukça geniş bir yayılım alanı gösterir. Ancak bu alanda su sıcaklığının kış aylarında düşük olması sebebiyle pazar boyuna (yaklaşık 300-400 g.) ulaşmaya kadar büyümesi oldukça uzun bir zaman almaktadır. Kuzey Ege Denizi'nde mevcut jeotermal alanların değerlendirmesiyle karada kurulacak alanlara stoklanacak olan istakoz yavruları yaklaşık 1-1,5 yılda pazar ağırlığına ulaşmaları mümkün olmaktadır,

**Kerevit:** 1980'li yılların ikinci yarısına kadar Türkiye'nin tek ihracatı yapılan su ürünü olan tatlı su istakozu yada kerevit Avrupa'da ortaya çıkan bir hastalıktan etkilenerek stoklarının büyük bir kısmı yok olmuştur (Çelikkale ve ark., 1999). Ancak suyu sodalı özelliğe sahip olan ve şuanda Türkiye'deki ihracatın büyük bir kısmını oluşturan İznik Gölü ile belli bazı alanlardaki su kaynakları hastalık tehlikesi ile karşılaşmamıştır. Bu anlamda suyu hafif sodalı yada tuzlu olan jeotermal su kaynaklarına sahip alanlarda oluşturulacak üretim alanları ile bu canlının üreti-

mi yapılabilen ve sabit sıcak su akışı ile yaklaşık 6-8 ay gibi kısa sürede pazar ağırlığı olan 50-100 grama ulaşabilmektedir.

**Tropikal Süs Balıkları:** Ülkemizdeki tropikal süs balıklarının büyük çoğunluğunu genellikle Uzakdoğu ve Afrika'dan ithal edilen balık türleri olup üretim olarak çoğunlukla ilkel sayılabilecek küçük yada orta çaplı işletmelerin dışında resmi kayıtlı olarak sadece 8 adet akvaryum (süs) balık üretim işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerde genellikle canlı doğuran balık türleri ile Japon türü süs balıklarının üretimi yapılmaktadır (Çelikkale ve ark., 1999). Ülkemizde bulunan düşük yada orta sıcaklıklı jeotermal su kaynaklarından elde edilen sıcak su balık üretiminin yapılacağı havuzlara plastik borulardan geçirilerek verilerek ortamdaki mevcut su ısıtılarak üretimleri yapılacak süs balıklarının büyütülmesi sağlanabilir. Bu şekilde balıklar kısa sürede pazara sunulabilir. Yine bu mevcut alanlarda kışın sert geçtiği aylarda oluşturulan sera sistemi ile kapalı ortamdaki sıcak su havuz sistemlerinde üretimleri yapılır.

## VI. Sonuç

Jeotermal alanlarda su ürünleri yetiştiriciliğinin Türkiye koşullarında önemli bir yeri vardır. Zira bu yetiştiricilik sistemi ileriki yıllarda önemli bir gelecek sergilemektedir. Herhangi bir sürekli masrafi gerektirmeden ülkemizde pek ala bu sistemle üretim yapılabilir. Bunun sonucunda balık üretimi için kullanılan havuzlarda su sıcaklığının istenen belli değerlerde tutulması (25-30 °C) verimi ikiye üçe katlamaktadır. Bu bakımdan jeotermal enerjinin kullanıldığı diğer kesimlerde olduğu gibi su ürünleri üretiminde de

kullanılmasını geliştirecek araştırma, geliştirme ve teşvik etme konularına üniversiteler, kamu sektörü ile belediye ve özel sektörün öncelik vermesinde büyük yararlar vardır.

**Teşekkür:** Bu çalışmayı yazmam esnasında değerli bilgileri ve kaynak temini konusunda yardım aldığım ORME Jeotermal A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı Jeoloji (Hidrojeoloji) Y. Mühendisi Sayın **Nilgün BAKIR** ile A.B.D. GEO-HEAT CENTER' dan **Tonya "Toni" BOYD**' a içten teşekkürlerimi sunarım.

#### KAYNAKLAR

**Akkuş İ., Akıllı H., Ceyhan S., Dilemre A., Tekin Z., (2005):** Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri. MTA. Ankara. ISBN 975-8964-36-4. 849 sayfa.

**Alpbaz A., Hoşsucu H., (2002):** İçsu Balıkları Yetiştiriciliği (3. Baskı). Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:12. ISBN 975-483-556-X. Bornova-İzmir. 226 Sayfa.

**Anonim (2007):** Çevre Dostu Yerli Enerji Kaynağımız Jeotermal. Türkiye Jeotermal Derneği, Temmuz 2007. 49 Sayfa.

**Arslan S., Darıcı M., Karahan Ç.,(2001):** Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli. Jeotermal Enerji Semineri. S:21-28.

**Bojadgieva K., Hristov H., Hristov V., Benderev A., Toshev V., (2005):** Geothermal Update for Bulgaria (2000-2005). Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. 1-11.

**Boyd T.L., Lund J.W., (2003):** Geothermal Heating of Greenhouses and Aquaculture Facilities International Geothermal Conference, Reykjavík, Sept. 2003 14-19 p.

Carella R., Sommaruga C., (2000): **Geothermal Space and Agribusiness Heating In Italy. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000,117-122,**

**Çelikkale M. S., Düzgüneş E., Okumuş İ., (1999):** Türkiye Su Ürünleri Sektörü. Potansiyeli. Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri. İstanbul Ticaret Odası. Yayın No: 1999-2. İstanbul.

**Çağıltay F., (1999):** Kuruma Karideslerinde (*Penaeus japonicus* Bate. 1888) Farklı Su Sıcaklığı ve Tuzluluğun Yumurta Açılımı-Postlarva Dönemlerindeki Gelişme Üzerine Etkileri, İstanbul Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

**DİE (1999):** Su Ürünleri İstatistikleri. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü. Ankara.

**DPT (2001a):** Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Su Ürünleri ve Su Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Yayın No: 2575 - ÖİK: 588. Ankara.

**DPT (1996):** Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu. Yayın No: 2441 – ÖİK: 497. Ankara.

**DPT (2001b):** Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu. Yayın No: 2609 – ÖİK: 620. Ankara.

**Fytikas M., Andritsos N., Dalabakis**

**P., Kolios N., (2005):** Greek Geothermal Update 2000-2004. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. 1-8.

**Gelegenis J., Dalabakis P., Ilias A. (2006):** Heating of a Fish Wintering Pond Using Low-Temperature Geothermal Fluids, Porto Lagos, Greece. Geothermics (35). 87-103.

**Hjartarson H., Maack R., Jóhannesson S., (2005):** Húsavik Energy Multiple Use of Geothermal Energy. GHC BULLETIN, JUNE 2005. p.7-13

**Internet (2007a):** [http://www.styd-cvreorman.gov.tr/su\\_kirliligi.htm](http://www.styd-cvreorman.gov.tr/su_kirliligi.htm). Jeotermal Potansiyelimiz Kullanım Alanları ve Reenjeksiyon. Gürsel Erul.

**Internet (2007b):** <http://www.tve.org/ho/doc.cfm?aid=979>. Hungary for Fish - Hungary. February 2003.

**Internet (2007c):**

[http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/20ad4d76fe97759\\_ek.pdf?tipi=5&туру=R%E2%8A%86](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/20ad4d76fe97759_ek.pdf?tipi=5&туру=R%E2%8A%86). Jeotermal Enerji. Bülent Toka

**Internet (2007d):** <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull17-4/bull17-4.htm>. High Technology in Geothermal Fish Farming at Silfurstjarnan Ltd., NE-Iceland. Lúdvik S. Georgsson and Gudmundur Ó. Fridleifsson.

**Johnson W.J., Smith K.C., (1981):** Use of Geothermal Energy for Aquaculture Purposes Phase III - Final Report Geothermal Center. September 1981. P:1-9.

**Levitte D., Greitzer Y., (2005):** Geothermal Update Report from Israel 2005. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. p: 1-5.

**Lund J.W., (1986):** Agriculture and

Aquaculture Applications of Geothermal Energy. Geothermics. Vol.15, No. 4, pp. 415-420.

**Lund J.W., Freeston D.H., (2000):** World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2000. Proceedings World Geothermal Congress 2000 Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000

**Lund J.W., (2005):** Introduction to Geothermal Aquaculture Use. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. Short Pre and Post Congress Courses 1-19. 213-219.

**Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L., (2005a):** Direct Application of Geothermal Energy: 2005 Worldwide review. Geothermics (34). 691 - 727.

**Lund J.W., Bloomquist R.G., Boyd T.L., Renner J., (2005b):** The United States of America Country Update. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. 1-19.

**Mertoğlu O., (2000):** Türkiye'deki Jeotermal Enerji Uygulamalarının Çok Yönlü Önemi ve Dünyadaki Yeri. MÜHENDİS ve MAKİNA (Çevre-Enerji Özel Sayısı). Sayı : 485

**Mertoğlu O., (2001):** Geothermal District Heating Experience In Turkey. GHC BULLETIN, JUNE 2001. 14-18.

**Mertoglu O., Bakir N., Kaya T., (2003):** Geothermal Applications in Turkey. Geothermics 32. 419 - 428.

**Ragnarsson Á., (2005):** Geothermal Development in Iceland 2000-2004. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. P:1-11,

**Satman A., (2005):** "Tekrar-Basma (Reenjeksiyon)", Teskon 2005, VII. Ulusal

Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 23-26 Kasım 2005, Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, 121-141.

**Şimşek Ş., (2001):** Jeotermal Enerji. Temiz Enerji Vakfı. 23 sayfa. Ankara.

**TUİK (2007):** [http://www.tuik.gov.tr/PrelstatistikTablo.do?istab\\_id=696](http://www.tuik.gov.tr/PrelstatistikTablo.do?istab_id=696)

**Zheng K., Zhang Z., Zhu H., Liu S., (2005):** Process and Prospects of Industrialized Development of Geothermal Resources in China ---Country Update Report for 2000-2004. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. 1-10



# JEOTERMAL ENERJİ SONDAJLARININ TÜRKİYE JEOLJİSİNE KATKILARI

**İsmail Hakkı KARAMANDERESİ**

*JEM Jeolojik Etüt Müşavirlik Bürosu, İZMİR*

## ÖZET

Türkiye’de jeotermal enerji araştırmalarının tarihçesi çok yenidir. UNDP destekli başlayan çalışmalar Türkiye Jeolojisine katkılar sağlamıştır. Yoğun araştırma bölgesi olan Büyük Menderes Grabeni içersinde yapılan sondajlar Türkiye Tektoniğinde yeni tartışma konuları sergilemiştir. Menderes Masifi içindeki gnaysların, allokton ve çok evreli gnayslar olduğu Büyük Menderes Grabeni içersinde yapılan sondajlar sayesinde ortaya çıkmıştır.

Jeotermal sistemlerin işletmesinde kabuklaşma (scaling) analizleri hidrotermal maden yataklarının aranmasına katkı sağlamıştır. Jeotermal sistemlere bağlı hidrotermal orijinli petrol oluşumları konusunda da veriler elde edilmiştir.

Jeotermal enerji sondajları pahalı, ileri teknoloji gerektiren konular olduğu için resmi devlet standardının belirlenmesi ve uygulanması gereklidir. Bu amaçla çıkarılan jeotermal enerji kanunu çok hızlı çıkarılmış. Yönetmelik hazırlığında ilgili kuruluşların ciddi sorumluluk bilinciyle ve arşiv oluşturulması Resmi Devlet Politikası olmalıdır.

Yukarıdaki gözlemlerin tartışılması, jeotermal enerjinin araştırma sondaj verileri ile elde edilecek verilerin yorumlanması konusunda milli bir jeoloji birlikteliği sağlanmalıdır. Yapılan araştırmaların daha geniş kullanım alanı bulması için devlet arşivi olarak korunmalı, derlenmeli ve bilgilerin herkese açık olması sağlanmalıdır.

## GİRİŞ

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde anomali yaratacak şekilde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Bu, klasik ve çok kullanılan bir tariftir. Yazar ise jeotermal enerjiyi ekonomik ve kullanım boyutları ile yeniden tariflemiştir. Jeotermal Enerji: İhtiyaç duyulan yörelerde (yerli), ihtiyaçların hepsini karşılayabilen (yeterli), ekonomik, doğal veya yerin sığ derinliklerinden üretilebilen, yeterli ve yüksek sıcaklıklı SU-BUHAR-GAZ veya bunların karışımı olan ısı taşıyıcıların taşıdığı yer ısıl enerjiye JEOTERMAL ENERJİ denir (Karamanderesi ve Özgüler, 1988).

Yapılan tanımlar ve çalışmalar uzun yıllar içerisinde Türkiye'nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu, uygulamaların ekonomik boyutlar kazandığını, yeni başlayan jeotermal santral projeleri ile hızlı atılım evresine girdiğini göstermektedir. Salavatlı, Karataş, Ömerbeyli jeotermal santralleri gibi.

### 1.1 Jeolojik araştırma bulguları:

Jeotermal enerji araştırmalarında multidisipliner araştırma grupları şeklinde yapılan çalışmalar çok boyutlu sonuçlar vermektedir. Bölgesel jeolojik, tektonik, metamorfik ve havza bazında yapılan araştırmalar sondajlarla üçüncü boyutta Türkiye Jeolojisine yeraltı jeolojisi olarak çok yönlü veriler kazandırmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü'nün yoğun olarak araştırmış olduğu Kızıldere jeotermal sahası birçok yazar tarafından çok yönlü yayınlanmıştır. Şimşek, 1982, 1985,

Serpen, U. vd. 1994. Serpen, U.vd. 2000. Şimşek, vd. 2005. Bölgesel jeolojik istif Kızıldere'ye göre yapılmıştır. Daha sonra bölgede yapılan ilave özel sondajlarla çok yeni verilere ulaşılmıştır.

Karamanderesi ve Ölçenoğlu (2005) tarafından yönetilen MDO-1 kuyusunda kesilen istif ile Denizli havzası tanımının ne olduğu sorusu gündeme gelmiştir.

MDO-1 Kuyusu Denizli baseni içerisinde yapılmıştır. 2401m derinliğindeki kuyu ile Tersiyer sedimanları 1950m olarak kesilmiş en kalın istifin gözlemlendiği yerdir. Kızıldere ve Denizli yöresinde yapılmış olan jeotermal sondajlar Kızıldere, Gölemezli, Akköy ve Tekkehamam yöresi sondajlarıdır. Bu bölgelerde yapılan sondaj istifleri her noktada farklı bir istif kesilmiştir.

MTA 2005 Envanterine göre R-1 kuyusunda 1050m, R-2 kuyusunda 750m, KD-9 Kuyusunda ise 1120m sedimanter istif kesilmiştir. Yine aynı envantere göre TH-2 Kuyusunda 820m sedimanter istif kesilmiştir. Kızıldere ve Tekkehamam yörelerinde benzer bir istif gözlenmesine karşılık bu bölgeden 15-20km uzaklıkta yer alan Sarayköy'de 1950m ve Kızıldere'den fasiyes ve kalınlık olarak farklı bir istif ile görülmektedir. Karamanderesi ve Ölçenoğlu (2005) verilerine göre Kızılburun formasyonu, Karbonat fasiyesinde kireçtaşı ile başlayıp, kumtaşı ve çakıl taşı istifi ile devam eden 750m kalınlıklı bir birim ile temsil edilmektedir. İkinci Sazak formasyonu kireçtaşı birimi 814-1100m ler arasında kesilen kireçtaşı, killi kireçtaşı ve çok az karbonat kumlu, kireçtaşı seviyeleri ile gözlenir. Daha üstte ise Kolonkaya ve Tosunlar formasyonu Sarayköy yöresinde 800m kalınlığında illit karakterli bir kil birimi ile temsil edilmektedir.

Bir başka bölgede yer alan Denizli-

Pamukkale-Akköy de yapılan bir jeotermal araştırma sondajında değişik bir jeolojik istif görülmektedir. 750m derinlikli yapılan sondajda en üstte gel-git düzlüğü karbonat fasiyesinde çökelmiş 400m kalınlığında kireçtaşı birimi kesilmiştir.

Burada akla Denizli yöresinde jeolojik evrim veya Tersiyer jeolojisi nasıl bir gelişim göstermektedir? Kıyı neresidir? Havza ortası neresidir? Yapılmış olan jeotermal enerji sondajlarından elde edilen jeolojik verilerin anlamı ne ifade etmektedir? Buna benzer birçok soru sorulabilir. Bu soruların araştırılması sonucu elde edilecek veriler bölgesel deprem veya afet senaryolarında nasıl ve şekilde faydalı olarak kullanabiliriz. Ayrıca jeotermal enerji yatırımları için bölgesel planlama yapılacaksa hangi verilere göre ve hangi master plana göre bu bölgelerdeki yatırımlar desteklenecektir. Tabii en önemli sonuç yeni jeotermal enerji kanun uygulamasında yerel yönetimler bu araştırmaları hangi kadro ile yapacaktır. Çünkü jeotermal enerji yatırımları yeraltı araştırmalarıdır. Devletin temel araştırma kuruluşları bu araştırma verilerini derlemek, değerlendirmek ve bunların üzerine politika belirlemek üzere görevlendirilmişlerdir. Yoksa devletin malını, toprağını nasıl ve ne şekilde kime pazarlayabiliriz fikri ile devlet yönetmek mümkün değildir.

### **1.1.1. Jeotermal Sondajlardan Elde Edilen Diğer Veriler:**

Jeotermal sondaj verileri bölgesel jeolojik yapıların tartışmalarına açıklıklar getirmiştir. Bunlardan önemli olanlarına Menderes Masifi jeolojisine çözüm önerileri üretmeye çalışan Dokuz Eylül Üniversitesi Mineraloji ve Petrografi bölümü araştırmacıları Candan, vd. 1992 de etraflıca değinmişlerdir.

Araştırmacılar, Menderes masifindeki allokton birimler üzerine yaptıkları çalışmada; "Menderes Masifi'nde Phillipson (1911)'den bu yana sürdürülen çalışmalarda genelde Masif'in içerdiği kaya türleri, litostratigrafisi, metamorfizma koşulları, sayısı ve zamanı konularında yoğunlaşmıştır." demektedirler.

"Menderese Masifi'nin ana birimleri arasındaki anormal dokanak ilişkilerine ilk kez Akartuna (1965) tarafından değinilmektedir. Araştırmacı, Aydın-Nazilli hatında (Aydın Dağları) yaptığı çalışmada, istifin altında bulunması gereken gnaysların mermerlerin üzerinde durduğunu belirtmektedir. Hareketin yaşı ve mekanizması konusunda yorum yapmayan araştırmacı, Neojen sonrası devam eden Alpin hareketlerinin önemini vurgulamakla yetinmiştir. İzdar (1971), Ödemiş-Kiraz Asması'nde, Bozdağlar kesiminde yaptığı çalışmada, sillimanit, disten, staurolit gibi anahtar mineraller içeren yüksek/orta dereceli metamorfitten oluşan gnays ve şist serisinin yaklaşık D-B uzanımlı, Alaşehir-Bozdağ hattı boyunca fillit, kuvarsit ve meta-grovaklardan oluşan düşük dereceli metamorfitten üzerinde yer aldığına değinmektedir. Araştırmacı büyük ölçekli bu hattı, metamorfizma derecesinde sıçramaya neden olan yüksek açılı bir ters fay olarak yorumlamıştır."

1980 yılında Büyük Menderes Grabeni içerisinde jeotermal enerji araştırmalarında sondajlı araştırmalar yoğunlaşmıştır. Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasında 2398m derinliğe erişen 9 adet araştırma sondajından 7 adedinde Menderes Masifi içerisinde yer alan gnaysların allokton oldukları ortaya çıkarılmıştır. Gnaysların altında 1460m maksimum kalınlıklı mermer-şist-albit-epidot-amfibol şist istifi kesilmiştir. Aydın-Salavatlı je-

otermal sahasındaki sondajlarda yine gnayslar altında 750m kalınlığında mermer kesilmiştir (Şimşek ve diğerleri, 1983; Karamanderesi ve Özgüler, 1988; Karamanderesi ve Helvacı, 2003). Bölgede yapılan araştırmalar sonucu kuyularda kesilen bu sürüklenim yüzeyi "Bozköy Sürüklenimi" olarak Menderes Masifi'nin çekirdek kesimini oluşturan birimlerin Aydın/Germencik çevresinde şist serilerini tektonik olarak üstledikleri ve bu sürüklenimin Salihli yöresinde SC-1 sondajında da aynen devam ettikleri gözlenmiştir (Karamanderesi, 2000).

## JEOKİMYASAL ÇALIŞMALARIN

### YARARLARI:

Jeotermal enerji araştırmalarındaki önemli bulgulardan bir tanesi jeokimyasal analiz verilerinden elde edilen sonuçlardır. Bu çalışmalardan ilk ve en önemlisi Kızıldere Jeotermal sahasındaki üretim testleri sırasında karşılaşılan kabuklaşma olaylarıdır. Kabuklaşma analizleri ilk olarak Şamilgil ve O. Arda tarafından 1977 yılında yapılmıştır. Bu analizlerde aragonit oluşumu, X-ışını kırınım çalışması, yarı kantitatif optik-spektrografi çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları yaş ve XRF kimyasal analiz neticeleri KD-1A kuyusundaki kabuklaşmanın kimyasal kompozisyonu % 60.0–78.2  $\text{CaCO}_3$  yanı sıra % 15.7–19.52 arasında  $\text{SrCO}_3$  ve % 0.19–0.57 arasında  $\text{BaCO}_3$ , % 0.2–1.8 arasında  $\text{MgCO}_3$ , % 0.2–18.1 arasında  $\text{SiO}_2$ , eser miktarda Al, Na, ve Fe varlığı saptanmıştır.

Jeotermal sahalardaki kabuklaşmalara yönelik araştırma yapan diğer araştırmacılar ENEL, 1989, Gökgöz, 1998, Lindal, and Kristmannsdottir, 1989, Tarcan, 2004, bu kimyasal analiz sonuçlarına göre bölgedeki jeotermal sahalarda oluşabilecek

kabuklaşma, hazne sıcaklıkları ve beklenen hazne sıcaklıkları için birçok sonuca ulaşılmıştır. Karamanderesi ve Ölçenoğlu (2005) tarafından Denizli-Sarayköy'de yapılan MDO-1 kuyusunda üretim testlerinde yüzeyden itibaren 0-120m ler arasında kabuklaşma tespit edilmiştir. Kuyuda görülen kabuklaşma örneklerinden yapılan analiz sonuçlarında kimyasal kompozisyonda %94,94–95,66  $\text{CaCO}_3$ , %1,22–1,23  $\text{SrCO}_3$ , %0,64–0,49  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{BaCO}_3$ 'un varlığı rapor edilmiştir.

Kızıldere jeotermal sahasındaki kabuklaşma numuneleri kimyasal kompozisyonundaki yüksek  $\text{SrCO}_3$  varlığı tespiti, Çanakkale-Tuzla jeotermal sahasındaki su kimyasından elde edilen kimyasal analiz sonuçları (Karamanderesi 1986, Vengosh, et. all. 2002, Vengosh, et all. 2003) jeotermal sistemlerin yüksek Sr içerdiğini göstermiştir. Örneğin, Çanakkale Tuzla sahasında Karamanderesi (1986) da görüleceği gibi, 129,10–139,62mg/lt, Vengosh, et all.(2005) de 154-166mg/lt miktarında Sr varlığı görülür. Çanakkale-Tuzla sahası kimyasal kompozisyonu buradan kombine çevrim santrali ile son ürün olarak NaCl, KCl,  $\text{CaCl}_2$ , SrO ve LiCl ile beraber halen üretilen saf suyun üretilebileceğini göstermektedir.

Sivas Soğuk çermik Jeotermal sahası araştırmalarında ve çevrede yapılmış araştırmalar da gözden geçirilmiştir. Bilhassa Sölestin oluşumlarının bulunduğu noktalarda yapılan gözlemler buradaki Sölestin oluşumlarının birer fosil jeotermal saha olduklarını göstermektedir (Karamanderesi, vd. 1992). Kabalı Sölestin sahası mineral oluşumlarının çatlak mineralizasyonu oldukları görülür. Çok yakın bölgesinde traverten oluşumları, saha içersinde fosil jeotermal sistemin maden suyu kaynağı görülür. Bütün bu verileri bir araya getirince bu bölgenin

aktif tektonik kuşakta fosil hidrotermal maden yatağı olduğu kolayca görülür. Zaten bu bölgedeki Sölestin oluşumlarında yapılan sıvı kapanım çalışmaları da bunların 200°C sıcaklıkların üzerinde oluştuğunu teyit etmiştir (Tekin, Ayan, Varol, 1994).

Yine Battalhöyük Sölestin oluşumları incelendiği zaman bölgedeki çok genç volkanizma, bölgesel alterasyon verileri, yapılmış olan sondaj kırıntılarında elde edilen XRD sonuçları jipsler içerisinde kloritleşmenin oluşumunu açıklayamamaktadır. Literatürdeki jeotermal sahalar kloritleşme 200-250°C ortam sıcaklığını açıklamaktadır.

Sivas yöresindeki hidrotermal alterasyon verisi olarak diğer bir gözlem Kemah ilçesindeki dökme taş kuvars kristallerinin oluşumlarıdır.

Sonuç olarak jeotermal enerji sondaj verileri ile yüzey jeoloji verileri doğru korele edildiği zaman jeotermal enerji kazanımlarının maden yatakları (Bilhassa hidrotermal maden yatakları) için çok iyi birer indikatör oldukları görülür.

Buradan çıkarılacak ikinci bir sonuç; jeotermal sahalar ile hidrotermal maden yataklarının benzer jeolojik ortamlar oldukları birçok maden yataklı tarafından kabul edilmiştir (Franco Pirajno, 1992).

## **2.1. Kuyu içi kimyasal analiz çalışmaları sonuçları.**

Jeotermal enerji araştırmalarında kuyularda üretim sırasında veya sahaların geliştirilmesi sırasında yoğun kimyasal analiz çalışmaları yapılır. Bu çalışmalar ile sistemin gelişimi, evrimi, beslenme bölgesi, boşalım bölgesi ve buna benzer yeraltı jeolojisi ile ilgili yoğun araştırmalar yapılır. Bu çalışmalardan elde edilen

verilerin çok iyi derlenmesi ve yorumlanması, bu konuda güncel bölgesel jeolojik hareketlerin takip edilmesi gerekir. Bu konuda Ömerbeyli jeotermal sahasında yapılan çalışmalarda kuyu içi kimyasal kompozisyonları ne şekilde değişim gösterdiği önemlidir. Bu analizler çok kısa süreli yapılmış olup kesin sonuçlar elde edilmemiştir. Fakat ilk sonuçlar bile bize çok iyi veriler vermektedir. Şöyle ki: ÖB6 ve ÖB9 kuyularında geri besleme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; Geri besleme kuyularında çok zengin B ve diğer bazı kimyasal madde yönünden zenginleşmeler olmaktadır (Demange, et. All. 1989).

Jeotermal sondajlarda üretim sırasında tesadüfide olsa sürpriz bulgularla karşılaşmaktadır. Bunlardan tipik örnekler: Manisa-Alaşehir Kavaklıdere beldesinde yapılan sıcak su arama kuyusunda doğal gaz (Karaman deresi vd. 2000), Denizli Sarayköy Tekkehamamları civarında yapılan sığ sıcak su arama kuyularında petrol bulunması (Gürgey, vd. 2005) bunlara tipik örneklerdir.

Bu nedenle jeotermal enerji araştırmalarında ve uygulamalarında çok ciddi disiplin sorunları vardır. Bu nedenle kanun için hazırlanacak yönetmeliğin hazırlık aşamasında bu konuda kamu ve özel sektör kuruluşlarının çok sıkı bir diyalog içinde olması, kanunda belirtilen sorumlular ve ilgililer arasında görev ve sorumluluk dağılımının çok net ve kesin sınırlar çizilmesi gerekmektedir. Tabiatıyla ilgili kuruluşların kadro ve bilgi birikiminin çok iyi disipline edilmesi gerekmektedir.

## SONUÇLAR:

Jeotermal enerji araştırmaları çok disiplinli araştırmalardır. Araştırma sonuçları çok iyi arşıvlenmelidir.

Jeotermal enerji sondajları Türkiye'nin temel jeolojik sorunlarına katkı sağlayan araştırmalardır. Enerji, Maden, Depremsellik ve afet yönetim sistemlerine katkı koyacak temel verilerdir. Bilgilerin temel arşıvlenmesi ve bilgilerin aktarılması çok doğru yapılmalıdır.

Jeotermal araştırma konularında yapılan araştırmaların sonuçları tek bir data bankasında toplanmalıdır. Bilgilerin korunması ve kullanılması konusunda devlet kuruluşları arasında bilgi alış ve riş disiplini, çok erken ve sağlam ilkelere bağlanmalı ve uygulanmalıdır.

Jeotermal enerji araştırma ve sondajları Türkiye jeolojisine ve maden araştırmacılarına çok ciddi veriler sağlamaktadır. Türkiye'de son zamanlarda yoğunlaşan maden (Hidrotermal maden yatakları Au, Ag, Cu, Hg, vd. maden yatakları) arama yatırımlarının niçin çok yoğun olduğu çok iyi anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

Akartuna, M., 1965, Aydın-Nazilli hattı kuzeyindeki versanların jeolojisi hakkında. M.T. A. Bül. 65, 1-11.

Candan, O., Dora, O. Ö., Kun, N., Akal, C., ve Koralay, E., 1992. Aydın dağları (Menderes Masifi) kesimindeki allokton metamorfik birimler. TPJD Bülteni, TPJD. Ankara. Cilt:4, Sayı:1. Sayfa:93-110.

Demange, J., Gauthier, P., Puvilland, P., (1989). Germencik geothermal field feasibility report. Part one geothermal model. 89 CFG 50, France. 23 p.

ENEL, 1989. Optimization and development of the Kızıldere geothermal field. ENEL, Aquater, DAL and Geotermica Italiana, Pisa, Italy, final report, 121 pp.

Gökgöz, A., 1998. Geochemistry of the Kızıldere-Tekkehamam-Buldan-Pamukkale geothermal fields, Turkey. UNU Geothermal Training Programme, Orkustofnun, Reykjavik, Iceland, Book of reports, 115-156.

İzdar, K. E., 1971., Introduction to geology and metamorphism of the Menderes Masif of Western Turkey. Geology and history of Turkey, Petroleum Explor. Soc. Of Libya, p.495-500.

Karamanderesi, İ. H., 1986. Hydrothermal alteration in well Tuzla-2, Çanakkale, Turkey. UNU Geothermal Training Program. Report, 3 pp. 36

Karamanderesi, İ. H., and Özgüler, M. E. (1988). Menderes ve Gediz graben sahalarında jeotermal enerji alanlarının oluşum mekanizması. Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi. 4, 196-228. (in Turkish, with English abstract).

Karamanderesi, İ. H., Kılıçdağı, R., Kılıç, N., 1992. Soğuk çermik (Sivas ili) jeotermal sistemi ile Sölestin oluşumu arasındaki ilişki. 45. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri, s.65. Ankara.

Karamanderesi, İ. H., Durgun, H., Ertürk, İ., Gedik, A., 2000. Kavaklıdere (Manisa, Alaşehir) jeotermal ve doğal gaz sahası jeolojisi, potansiyeli ve geleceği. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü yerbilimleri ve madencilik kongresi bildiriler kitapları. Cilt:2 Sayfa:419-447.

Karamanderesi, İ. H., 2000. Kuyu jeolojisi ve alterasyon mineralojisi. İller Bankası Genel Müdürlüğü. Yerel Yönetimlerde jeotermal enerji ve Jeoteknik uygulamalar

Sempozyumu. Bildiriler 20-21-22.Kasım, 2000. Sayfa:163-185.

Karamanderesi, İ. H., & Helvacı, C., 2003. Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı Geothermal Field, Western Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.). Vol. 12. Pp. 1-27. Copyright © TÜBİTAK. Ankara.

Karamanderesi, İ., H., & Ölçenoğlu, K., 2005. Geology of the Denizli Sarayköy (Gerali) Geothermal Field, Western Anatolia, Turkey. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, 24-29 April, 2005.

Kadir Gürgey, Bernd R.T. Simoneit, İsmail H. Karamanderesi and Baki Varol, 2005. Organic Geochemistry of Hydrothermal Petroleum in the Menderes-Gediz Graben System, Denizli-Sarayköy, Western Turkey: Preliminary Results. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, 24-29 April, 2005.

Lindal, B., Kristmannsdottir, H., 1989. The scaling properties of the effluent water from Kızıldere power station, Turkey, and recommendation for a pilot plant in view of district heating applications. Geothermics 18, 217-223.

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z., 2005. Türkiye jeotermal kaynakları envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Envanter serisi-201. Ankara.

Phillipson, A., 1911, Reisen und forschungen in Westlichen Kleinasien. Petermanns Mitt Erganzonpscheft 172. Gotha.

Pirajno, F., 1992. Hydrothermal mineral deposits. ISBN 3-540-52517-3 Springer-Verlag. Berlin.

Serpen, U., Alkan, H., Gülgör, A., Satman, A., 1994. Türkiye'de yüksek entalpili jeotermal sahaların genel değerlendirilmesi. Türkiye 6. Enerji kongresi. Teknik Oturum Tebliğleri Cilt :1 Sayfa: 238-249.

Serpen, U., Yamanlar, Ş., Karamanderesi, İ. H., 2000. Estimation of geothermal potential of B. Menderes region in Turkey. World Geothermal Energy Congress. Japan.

Şamilgil, E. Arda, O., 1977. Kızıldere Jeotermal sahası kabuklaşma numuneleri laboratuvar analiz sonuçları. MTA Rapor no:9577, 1-8.

Şimşek, Ş., 1982 Geology and geothermal energy possibilities of the Denizli-Sarayköy-Buldan area. Ph. D. Thesis İstanbul Ünivesity. Earth and Sciences Faculty. İstanbul.

Şimşek, Ş., Karamanderesi, İ. H., Yılmaz, S., ve Güner, A., 1983. Bozköy bindirmesinin (Germencik) B. Menderes grabeni içindeki uzanımının jeotermal enerji olanakları açısından önemi. 37. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Bildiri özleri. sh: 166-167.

Şimşek, Ş. 1985. Geothermal model of Denizli-Sarayköy-Buldan area. Geothermics 14,393-417.

Şimşek, Ş., Yıldırım, N., Gülgör, A., 2005. Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power Project, Turkey. Geothermics, 34, 239-256.

Tarcan, G., 2004. Mineral saturation and scaling tendencies of water discharged from wells (>150°C) in geothermal areas of Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 03213, No of Page:1-21

Tekin, E., Ayan, Z., Varol, B., 1994. Sivas-

Ulaş Sölestin oluşumlarının (Tersiyer) mikrodokusal özellikleri ve sıvı kapanım çalışmaları. Türkiye Jeoloji Bülteni, C.37, 61-76, Şubat.

Vengosh,A.,Helvacı,C.,Karamanderesi, İ. H., 2002. Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey. Applied Geochemistry. 17. 163-183

Vengosh,A.,Helvacı,C.,Karamanderesi, İ.H., 2003. Reply. Applied Geochemistry 18. (117-119).



# JEOTERMAL SONDAJLARDA KARŞILAŞILAN ÜÇ FARKLI PROBLEMİN ÇÖZÜMÜNDE UYGULANAN YÖNTEMLER

**Bülent TOKA**

*MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA*

## ÖZET

Jeotermal sondajlarda, sahanın jeolojik ve tektonik yapısı, jeotermal akışkanın özellikleri (sıcaklık, kimyasal madde içeriği gibi), çalışma koşullarının zorluğu, sondaj ekipman ve malzemelerin yetersizliği problemlere neden olmaktadır. Problemlerin çözümünde, mühendislik bilgilerinin yanı sıra pratik düşüncenin, sondaj personeli arasında fikir paylaşımının ve deneyimin önemi büyüktür.

Kütahya-Yoncalı jeotermal sondajında muhafaza borusu indirme operasyonu sırasında 155,20 m derinlikteki kuyuya düşen 60 metre borunun üzerine, dışarıda kalan diğer boruların indirilmesi ve düşen boruların üzerinde bulunan rot deliklerinden faydalanılarak boru ile kuyu cidarı arasının çimentolanması olayı bir pratik düşünce uygulamasıdır.

Denizli-Yenicekent jeotermal sondajında 238,80 metreye 6 5/8" muhafaza borularını indirmek için üstte yıkıntı yapan seviyeleri kontrol altına almak amacıyla ortaya çıkan iki farklı düşünceden bir tanesinin öncelikle uygulanmasına, başarısız olunması durumunda diğer düşüncenin denenmesine karar verilmiştir. Öncelikli düşünce olarak; takım çekme ve borularının indirilmesi sırasında yıkıntıyı önlemek için, hidrostatik dengeyi sağlayacak çamurun kuyuya aralıklarla verilmesi kuyunun başarı ile tamamlanmasını sağlamıştır.

Samsun-Havza jeotermal sahasında şişme ve yıkıntı yapan killerin bulunduğu seviyelerde 502 metreden itibaren yük alan takım dizisinin aldığı yük 4-5 tonu geçtiğinde tek veya bir stem tij dışarı alınmış ve kelly bağlanarak sirkülasyon yapılmış ve takım dizisi döndürülerek 410 metreye kadar çekilerek kurtarılmasında daha önceki sondajlarda kazanılan deneyimlerden faydalanılmıştır.

## GİRİŞ

Yer kabuğunun yüzeye yakın kısımlarına ulaşabilen magmatik sokulumların veya aktif fayların veya jeotermik gradyanın (3 ºC/100 m) oluşturduğu ısıyı yüzeye taşıyan akışkanın iş yapabilme kabiliyetine jeotermal enerji denir. Akışkan rezervuardaki sıcaklık ve basınca bağlı olarak su veya buhar halindedir ve akışkanın içerisinde erimiş mineraller ve gazlar bulunmaktadır.

Yüksek basınca sahip akışkanlar yüzeye kırık-çatlak veya faylar vasıtası ile ulaşmakta ve yüzeyde traverten, çamur havuzu, gayzer gibi doğal güzellikler oluşturmaktadır. Artan enerji ihtiyacı ve gelişen teknoloji ile bu doğal akışa sahip olan sahalarda jeotermal enerjiden maksimum fayda sağlamak amacıyla sondaj çalışmaları başlatılmıştır.

Jeotermal sondaj, ısıyı taşıyan akışkanın üretimini gerçekleştirmek amacıyla yüzeyden yeraltına doğru açılan delik olarak tanımlanabilir. Jeotermal sondajlar, sondaj tekniği açısından diğer sondajlardan (maden ve soğuksu) farklıdır. Örneğin, akışkanın bulunduğu kayaç (rezervuar) ile üstünde bulunan kayaçların bağlantısı kapalı muhafaza boruları ve çimentolama işlemi ile tamamen kesilmekte ve yüksek basınçlı akışkanı kontrol altında tutmak için sondaj sırasında kuyu başı ekipmanları kullanılmaktadır.

Jeotermal sahada açılan kuyularda uygulanan sondaj teknikleri hemen hemen aynı olmasına rağmen, her sondajda karşılaşılan problemler farklıdır. Bunun nedeni jeotermal sahaların çok fazla miktarda tektonizma ve alterasyona uğraması, rezervuarın farklı derinlikte ve özellikte olması, ısıyı taşıyan akışkanın farklı sıcaklık, basınç ve debide olmasıdır. Ayrıca jeotermal sondajlarda çalışan personelin

deneyimsizliği, sondaj ekipmanlarının yetersizliği, çalışmaların gece-gündüz, sıcak-soğuk-yağışlı olmasına bakılmadan 24 saat üzerinden yapılması sondaj çalışmalarını sırasında problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Jeotermal sahalarda ortaya çıkan problemlerin çözümünde mühendislik bilgilerinin yanı sıra deneyimin, çalışanlar arasındaki fikir paylaşımının ve pratik düşüncenin önemi büyüktür. Bu makalede de üç sahada karşılaşılan ve literatürde bulunmayan problemin çözümünde kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

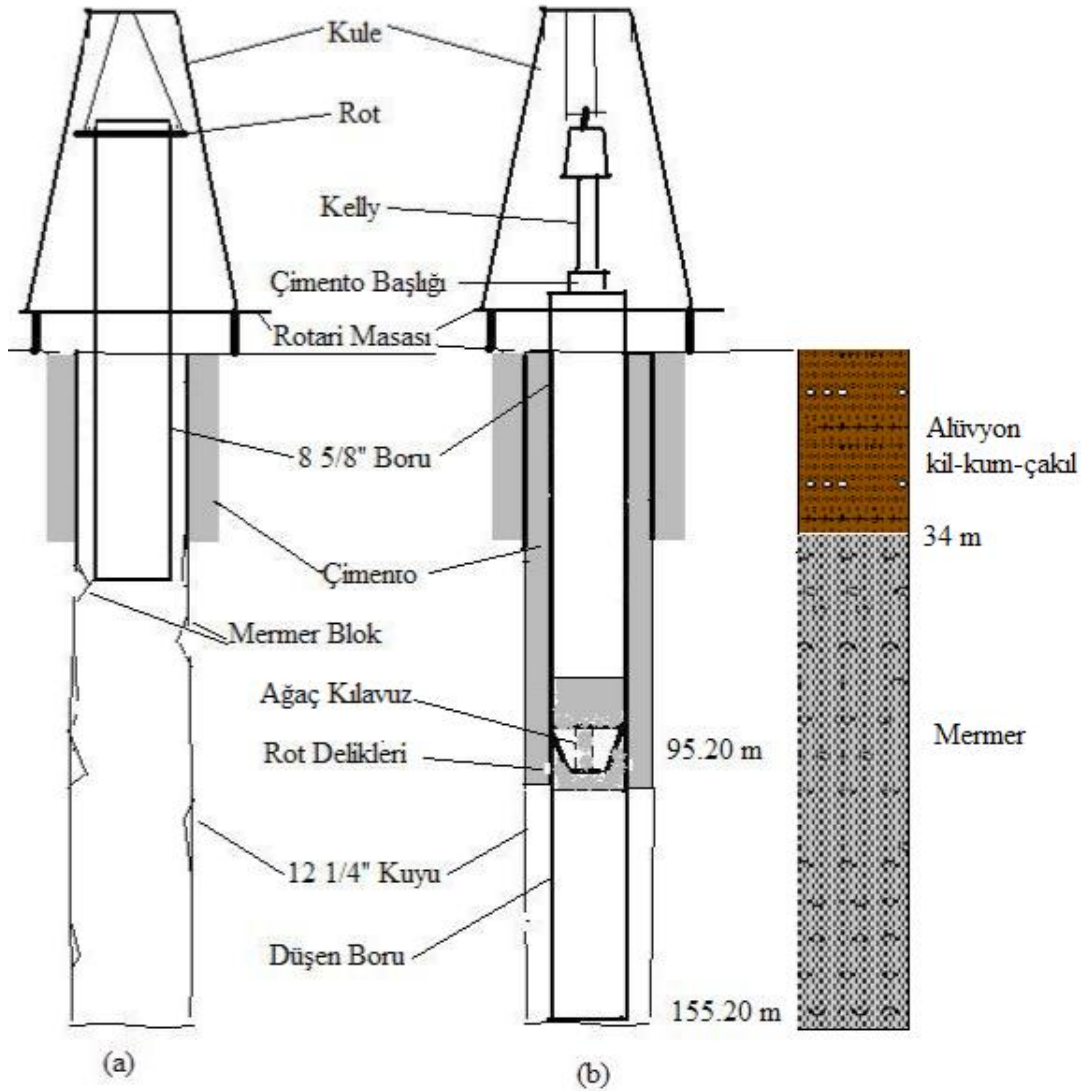
### 1. KÜTAHYA-YONCALI SAHASI

Kütahya-Yoncalı jeotermal sahasında 1989 yılında F-2500 sondaj makinesi ile iki adet sıcak su kuyusu açılmıştır. İlk kuyu (YON-1) 15-Eylül ve 31-Ekim 1989 tarihleri arasında açılmış ve 300 metrede tamamlanmıştır. Pompa testinde, dinamik seviye 61 metre ve debi 8 lt/sn olarak ölçülmüştür (Toka, 1989). YON-2 kuyusu 1-Kasım ve 29-Aralık 1989 tarihleri arasında açılmış ve 377 metrede tamamlanmıştır. Kompresörle yapılan üretim testinde 42 ºC'de 60 lt/sn debide sıcak su bulunmuştur. Sondaj işlemi sırasında 34 metreye kadar alüvyon-kil-kum ve çakıl ve bu metreden 219,30 metreye kadar mermer kesilmiştir. 219,30 metreden itibaren tam kaçaklı olarak su ile ilerleme yapılmış ve kırıntı örneği alınamamıştır (Toka, 1989).

YON-2 kuyusu 37,70 metreye kadar 11 3/4" kapalı muhafaza borularıyla teçhiz edilmiştir. Borulamadan sonra kuyu 10 5/8" matkapla delinmiş ve 155,20 metreye kadar 8 5/8" borularla teçhiz edilmiştir. Bu metrenin altı 7 3/8" matkapla delinmiş ve 377 metreye kadar ilerlenmiştir ve 5 1/2 filitreli borular liner olarak indirilerek kuyu tamamlanmıştır.

YON-2 sondajında 10 5/8" çapında 155,20 metreye kadar açılan kuyuya 8 5/8" muhafaza borularını indirme sırasında problem yaşanmıştır. 8 5/8" muhafaza boruları 4 metre boyunda olup sondaj makinesinin kule yüksekliğine bağlı olarak 12 metre boyunda olacak şekilde sondaj alanında birbirine kaynaklanmaktadır. Boruları kuleye almak için borunun en üst ucundan 20 cm alta 5 cm çapında rot delikleri açılmakta ve bu deliklere yerleştirilen rotlar vasıtasıyla kaynaklı borular kuleye alınmaktadır. Borular kulede birbirine kaynaklanmakta ve kuyuya indirilmektedir. O yıllarda F-2500 sondaj makinelerinin takım di-

zilerinde stabilizer, reamer gibi sondaj ekipmanları kullanılmamaktaydı ve dolayısıyla düzgün bir kuyu açılmadığından, boruların kuyuya indirilmesi sırasında problemler yaşanmaktaydı. Bu sondajda da 8 5/8" muhafaza borularını kuyuya indirme operasyonunda, borular 42 metrede bulunan mermer bloklarına takılmış ve borular oksijen kaynağı ile kesilerek dışarı alınmıştır. 10 5/8" matkap ile kuyu 39,00 metreden 155,20 metreye kadar taranmış ve boruların tekrar indirilmesi operasyonunda 42-60 metreler arasındaki mermer blokları nedeniyle borular tekrar oksijen kaynağıyla kesilerek dışarı alınmıştır. Kuyunun tekrar taranması ve



Şekil 1 YON-2 kuyusunda (a) boru indirme operasyonu (b) çimentolama operasyonu

boruların üçüncü kez kuyuya indirilmesi sırasında 60 metre uzunluğunda muhafaza borusu kuyuya düşürülmüştür (Şekil 1a). Bunun nedeni, gece görüşün azalması ve havanın soğuk olması nedeniyle çalışma veriminin düşmesidir. Boruları kuyuya indirme operasyonuna sabahın erken saatinde başlanmış olmasına rağmen yukarıda açıklanan problemler nedeniyle çalışmalar gece yarısına kadar uzamıştır. 42-60 metreler arasındaki blok taşların geçmek için borular aşağı ve yukarı hareket ettirilirken, görüşünün azalması nedeniyle boruları askıda tutan rot kuleye çarpmış ve kırılmıştır.

Vardiya sondörü, pratik bir düşünce ile dışarıda kalan boruların, düşen boruların üzerine indirilmesini önermiştir. Fakat önce boruları kuyu dışına almak için gerekli olan tahlisiye aleti araştırılmış ve bulunamamıştır. Tahlisiye aletinin araştırılması sırasında kuyuya düşen boruların en üst kısmının rotari masasından itibaren 95,20 metrede olduğu ölçülmüş ve düşen borunun içerisinde 7 3/8" lik matkapla kuyunun tabanına inilerek borunun sağlamlığı kontrol edilmiştir. Kırılan rotun iç kısmının döküm olduğu görülmüş ve bu rotun çarpmalara dayanamayacağı düşüncesiyle rotun yerine 4 cm çapında çelik çubuk temin edilmiştir. Dışarıda kalan boruların en alt ucuna ağaçtan yapılan kılavuz (casing shoe) monte edilmiş ve düşen boruların tam üzerine indirilmiştir. Düşen muhafaza borularının en üstündeki rotu bağlamak için açılan deliklerden (Şekil 1-b) çamurun ve çimentonun devirdaim yapacağı düşünülerek bu kısımdan yüzeye kadar boru ile kuyu cidarı arasının çimentolanmasına karar verilmiştir. Kamp imali çimento başlığı ile 60 dakika sirkilasyon yapılmış ve gerekli çimento şerbeti hazırlanarak kuyuya basılmıştır. Çimentonun 90 metreye kadar ötelenmesi için çamur basılmış ve 24 saat

sonra çimento şerbeti kesilmiştir. Yapılan çimentolama işleminin rot deliklerinden gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kuyu tabanına inilerek 155,20 metreye tapa çimento atılmıştır. Çimentonun kesimini takiben 7 3/8" matkap ile sondaja problemsiz olarak devam edilmiştir.

## 2. DENİZLİ-YENİCEKENT SAHASI

Denizli-Yenicekent jeotermal sahasında 28-Şubat ve 15-Temmuz 2002 tarihleri arasında 3 adet sıcak su kuyusu açılmıştır. YK-1 kuyusu 54 metrede tamamlanmış ve pompa ile 20 lt/sn debide sıcak su bulunmuştur. Ayrıca bu kuyu 12 saat bekleme yapıp 1 saat artezyen yapmaktadır. Artezyen yaparken debisi 40 lt/sn ölçülmüştür. YK-3 kuyusu 250 metre açılmış ve 4,5 lt/sn artezyen yapmıştır. Kompresörle 40 lt/sn debi ölçülmüştür. Sıcaklık 36,5-38 C arasındadır (Toka, 2003).

Bu sahada çıkan problemlerden biri YK-2 kuyusunda 231 metrede tam kaçaklı zona girildiğinde üstte bulunan şistmermer-kiltaşı-kumtaşı formasyonunda meydana gelen yıkıntılardır.

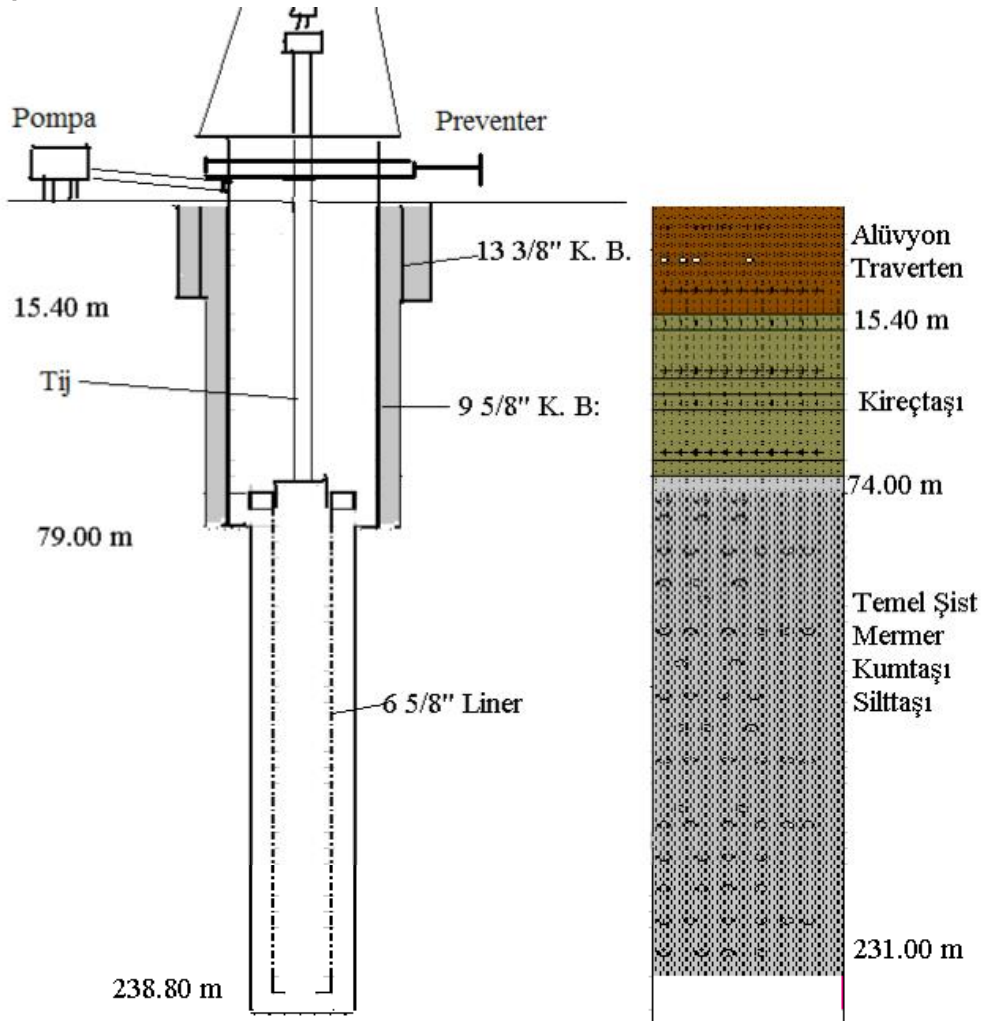
Kuyu litolojisi; 00-15,40 metre- tra-verten, 15,40-74 metre kiltaşı kumtaşı-kireçtaşı ardalanması, 74-231 metreler arası şistmermer-kiltaşı-kumtaşı ardalanmasıdır. 231-238,80 metreler arası tam kaçaklı ilerleme yapılmıştır.

Kuyu teçhizi; 17 1/2" matkap ile kuyu 17,10 metreye kadar delinmiş ve 15 metreye 13 3/8" muhafaza borusu indirilerek boru arkası çimentolanmıştır. Yüzey kuyu 12 1/4" çapında delinmiş ve 79 metreye 9 5/8" çapında kapalı üretim boruları indirilmiş ve boru arkası çimentolanmıştır.

Çimentonun donmasını takiben kuyu başı hazırlanmış ve 8 1/2" matkap ile ilerlemeye geçilmiştir. İlerleme sırasında 231

metrede çamur kaçağı ile birlikte takım sıkışması meydana gelmiş ve takımın tork alarak geriye doğru dönmesiyle takım dizisi sökülmüştür. Anında müdahale yapılarak takım dizisi tekrar tutturulmuş ve takım yukarı doğru çekilerek kurtarılmıştır. Matkap kontrolü için takım kuyu dışına alındıktan sonra tekrar kuyuya iniş manevrası sırasında kuyunun değişik seviyelerinde (84m., 145m., 184m.) yıkıntılar meydana geldiği görülmüştür (Daha önce bu seviyelerin delinmesi sırasında yıkıntı problemi ile karşılaşılmamıştır). Yıkıntı yapan seviyelerin sondaj çamuru ile temizlenmesi ve ilerlemeye geçme sırasındaki problemler nedeniyle önemli ölçüde bentonit sarfiyatı ve zaman kaybı meydana gelmiş ve tam kaçaklı olarak 238,80 metreye kadar ilerleme yapılabilmektedir (Şekil 3).

Kuyu teçhizi öncesi yapılan jeofizik log alma sırasında, kuyudaki yıkıntılar nedeniyle ölçüm aletinin (2" çapında) kuyuya indirilmesinde de problemler yaşanmıştır. Kuyuda tam kaçaklı seviyelerde ilerleme yapılırken kuyudaki hidrostatik dengenin bozulması nedeniyle üstteki formasyonların yıkıntı yaptığı düşünülmektedir, 230 metreye kadar kuyu çamur ile temizlenmiş ve ancak bu seviyeye kadar jeofizik ölçümler yapılabilmektedir. Alınan kuyu loglarının (GR-Neutron, SP rezistivite, Density, Termik) olumlu değerlendirilmesi sonucu kuyu teçhizine karar verilmiştir. 6 5/8" çapındaki kapalı ve filtreli boruların 74-238 metre arasına indirilerek kuyunun teçhiz edilebilmesi için çalışanlar arasında iki öneri ortaya çıkmıştır.



Şekil 2 YK-2 kuyusunun teçhiz planı.

i- İlk önce 6 5/8" çapındaki kapalı ve filtreli boruların 230 metreye liner olarak bırakılması (230 metreye kadar ilerleme yapıldığında gevşek zonlar yıkıntı yapmamaktadır). Bu boruların içerisinde 4 1/2" matkapla kuyu tabanına inilerek yıkıntıların temizlenmesi ve boruların 238,20 metreye kadar indirilmesinin sağlanması.

ii- Yüksek viskoziteli ve hidrostatik dengeyi sağlayacak bir çamur hazırlanması. Kuyunun tabana kadar temizlenmesinden sonra kuyudaki takım dizisinin dışarı alınması ve borulama sırasında bu çamurun ara ara kuyuya basılması.

Birinci öneride liner olarak bırakılan boruların içerisinde matkap ile işlem yapmanın sakıncalı olacağı düşüncesiyle ikinci düşüncenin öncelikle denenmesine şayet başarısız olunursa birinci önerinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Boruları kuyuya indirmeden önce, kuyu içerisinde meydana gelebilecek yıkıntıları önlemek ve kuyuyu temizlemek için 1,20 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu ve 60 sn/quart viskoziteli çamur hazırlanmıştır. Kuyu tabana kadar bu çamurla temizlendikten sonra sondaj dizisinin dışarı alınması ve teçhiz borularının indirilmesi sırasında düzenli olarak belirli zaman aralıklarında (10-15 dakika) bu çamur kuyu içerisine basılmıştır. Bu sayede hiçbir yıkıntı problemiyle karşılaşmadan borular kuyu tabanına kadar indirilmiştir.

Savak yöntemi ile yapılan üretim testinde; kuyu 66 saat 40 dakika üretimde tutulmuş ve debisi ortalama 100 lt/sn ve suyun sıcaklığı 63 °C olarak ölçülmüştür.

### 3. SAMSUN-HAVZA SAHASI

Samsun-Havza jeotermal sahasında, sıcak su araştırmalarına yönelik sondaj

çalışmaları 1983 yılında başlamış ve 2004 yılı sonuna kadar değişik tarihlerde MTA Genel Müdürlüğü tarafından 8 adet ve bir özel şirket tarafından 1 adet olmak üzere toplam 9 adet sondaj yapılmıştır. Şekil 3'de görüleceği üzere bu kuyular dar bir alan içinde açılmıştır. Bunun nedeni, sahanın topoğrafik yapısı, jeotermal alanın sınırlı olması ve jeotermal sahanın yerleşim alanı içerisinde olmasıdır. Sahada görülen en yaşlı birim Jura-Kratase yaşlı kireçtaşlarıdır. Neojen, tabanda konglomera, ortalarda kil bantlı konglomera, üstte de yer yer konglomera bantlı killerden oluşmuştur. Konglomeralar genellikle kalker ve volkanik çakıllı olup mercekli ve çok zayıf çimentoludur. Killer yumuşak olup, yer yer kömür bandı içerirler. Neojenin toplam kalınlığı 500 m'yi bulmaktadır.

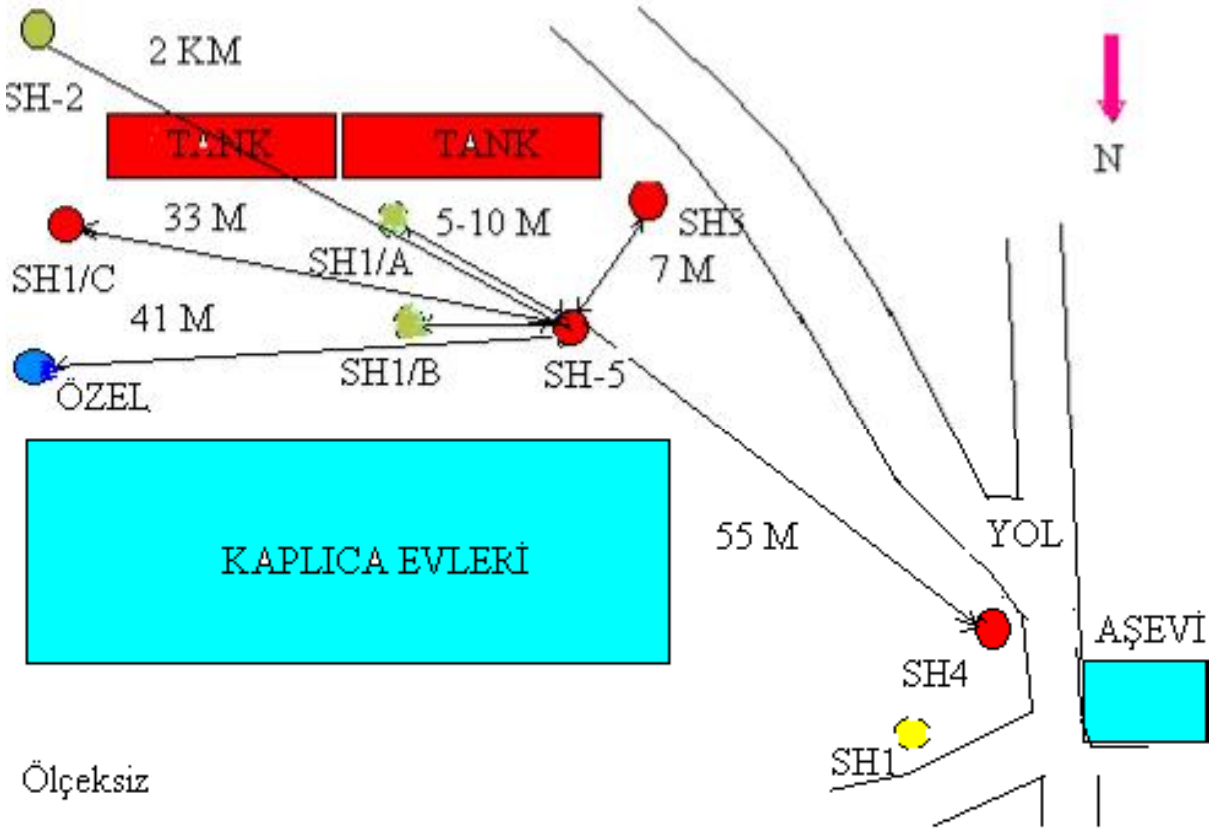
Kaplıcalar mevkiinde açılan 8 kuyudan sadece dört kuyu (SH-1/C, SH-3, SH-4 ve SH-5) sondaj tekniği ve kuyu verimi açısından başarı ile tamamlanabilmiş ve bugün bu kuyulardan üçü kullanılabilir durumdadır. Başarı ile tamamlanan kuyularda KCl'li çamur kullanılmıştır. Açılan ilk kuyulardan bazılarının başarısız olmasının nedeni 400-500 metreler arasında yıkıntı yapan killi seviyelerdir.

Samsun-Havza jeotermal sahasında SH-5 kuyusunda 10 5/8" matkap ile 502 metreye kadar ilerlendikten sonrada kuyudaki takım dizisinin (matkap, ağırlık boruları ve tijler) kuyu dışına alınması sırasında yük almasının nedeni bu seviyelerdeki killerin yıkıntı yapması ve şişmesidir. Sondaj çalışmalarına 17 1/2" çapında delik açma işlemiyle başlanmış ve 13 3/8" muhafaza boruları 226 metreye indirilerek boru arkası çimentolanmıştır. 12 1/4" matkapla 451 metreye kadar ilerleme yapılmış ve takım sıkışması sonucu takım kurtarılarak dışarı alınmıştır. Çamur ağırlı-

ği 1,30 gr/cm<sup>3</sup> çıkarılmış fakat bu sefer de pompanın randımanlı basmaması sonucu 12 1/4" matkap, 8 1/2" matkap ile değiştirilerek boru indirilmesi hedeflenen 502 metreye kadar ilerleme yapılmıştır. Kuyu cidarının şişmesi olasılığı göz önüne alınarak borulama sırasında problemlerin ortaya çıkacağı düşüncesiyle 10 5/8" matkapla genişletilmesi düşünülmüştür. 10 5/8" matkabın kuyu içine indirilmesi sırasında boru altındaki belli seviyelerde şişmeden dolayı yük aldığı gözlemlenmiş ve zor sondaj koşulları altında (killerin yıkılması ve şişmesi) ilerleme yapılmıştır (Şekil 4). 502 metreye ulaşıldığında takım dizisi dışarı çekilirken yük almaya başlamıştır. Takımın yük altında kuyu dışına çekilmeye zorlanması durumunda takım sıkışma olayları meydana geldiği daha önceki deneyiminden bilinmektedir. Kelly tekrar bağlanarak takım dizisi döndürülmüş ve sirkilasyon yapılmıştır.

Bu işlem sonrası 4-5 ton fazla yük alacak şekilde takım dizisi yukarı çekilmeye başlanmış ve tek veya bir stem DP (tij) dışarı alınmıştır. Takım dizisinin aldığı yük 5 tonu geçtiğinde kelly bağlanarak 10-15 dakika takım döndürülmüş ve sirkilasyon yapılarak rahatlatılmaya çalışılmıştır. Bu şekilde takım 410 metreye kadar çekilmiş ve bu metrede takımın rahatladığı görülmüştür.

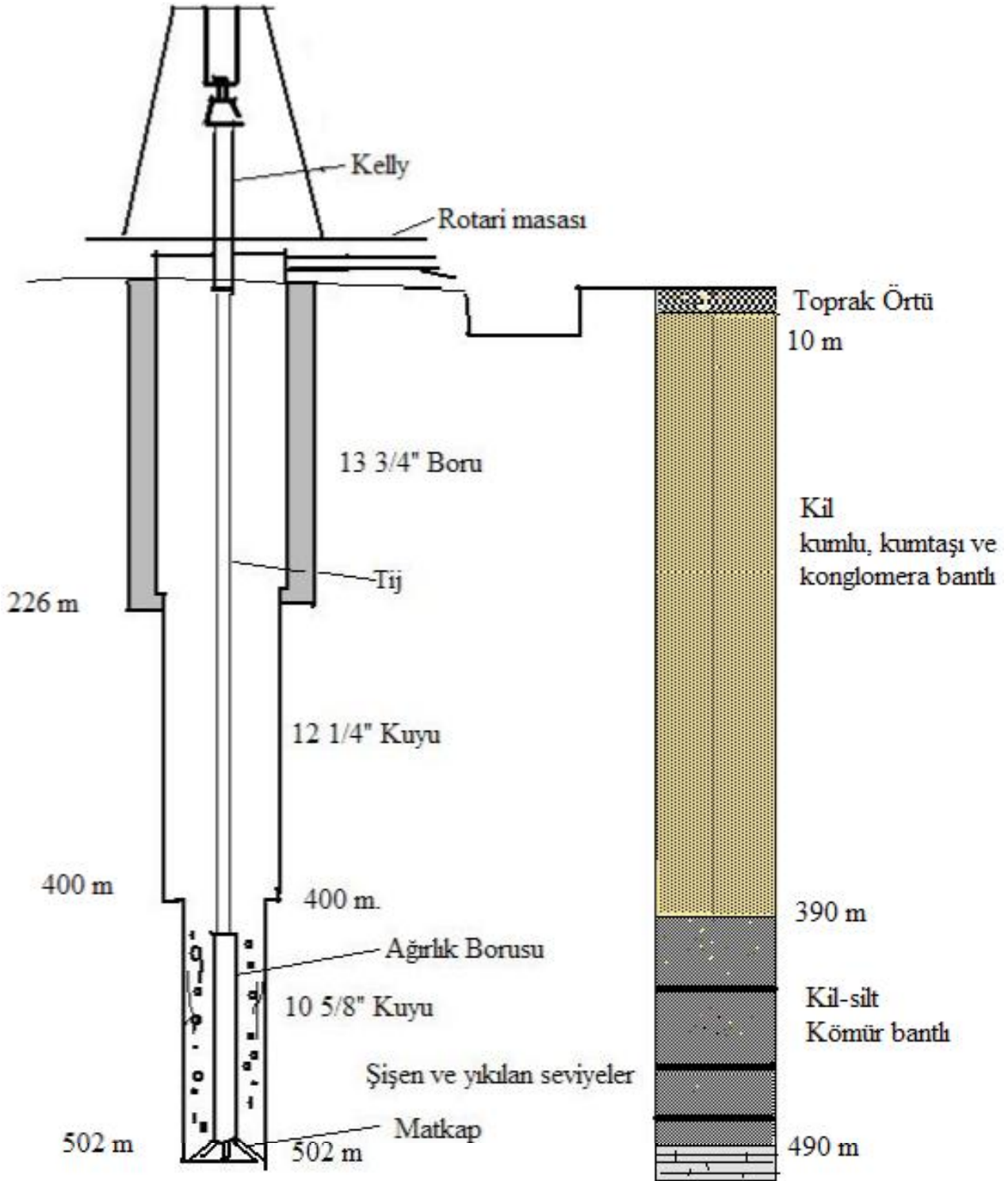
Sondaj çamurunun ağırlığı artırıldığı için sondaj makinesinin kendi üzerindeki FY-FXX pompa yetersiz kalmış ve daha güçlü olan 2PN-340 pompa kampa getirilmiştir. Bunun üzerine sondaj çamurunun ağırlığı 1,50 gr/cm<sup>3</sup>'e çıkarılmış ve üç konlu matkabın yerine 11 5/8" kanatlı matkap kullanılarak 492 metrede kadar ilerlenmiştir. Boru teçhizi ve çimentolama sonrası 5 5/8" matkapla ilerlemeye geçilmiştir. Kuyu 511 metrede tam kaçağa oirmis ve tam kacaklı olarak su ile 544,20



Şekil 3. Havza kaplıcalar mevkiinde açılan sondajların yer krokisi. (SH-1, SH-1/A, SH-1/B lokasyon yerleri belli olmadığı için ilgililerin tarifi üzerine tahmini olarak çizilmiştir).

m'ye kadar ilerlenmiştir. Bu metreler arasında ilerleme hızı yüksek olmuş ve 30-40 cm boşluklar geçilmiştir. 3 1/2" kapalı ve filtreli borular 486-544,20 metre arasına liner olarak indirilerek kuyu tamamlan-

mıştır. Yapılan pompa testinde sıcaklık 53 °C ve kritik debi 17,4 lt/sn olarak tespit edilmiştir. Kuyudaki suyun statik seviyesi 78 m olarak ölçülmüştür (Toka, 2006).



Şekil 4 SH-5 kuyusunda yıkılan seviyelerden takım dizisinin kuyu dışına alınması operasyonu



#### 4. SONUÇLAR

Kütahya-Yoncalı jeotermal sahasında; boru indirme operasyonu sırasında kuyuya düşen 60 metre uzunlukta 8 5/8" muhafaza boruları üzerine, uygun tahlisiye aleti bulunamaması nedeniyle, dışarıda kalan diğer boruların (borunun ucuna ağaç kılavuz monte edildi) indirilerek teçhiz edilmesi ve boru arkasının çimentolanması, bir pratik düşünce ürünüdür.

Denizli-Yenicekent jeotermal sahasında; tam kaçaklı zonun üzerindeki seviyelerdeki yıkıntıyı önlemek için 60 viskoziteli 1,20 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluktaki çamurun kuyuya vana altındaki spool hattından aralıklarla verilmesi (takım dizisinin çekilmesi ve filitreli boruların indirilmesi sırasında), çalışanların ortak düşüncesidir.

Samsun-Havza jeotermal sahasında; 502 metreden takım dizisini çekme manevrası sırasında 400-500 metreler arasındaki killi seviyeler şişme ve yıkıntı yaptığından takım dizisi yük almıştır. Yük altında her tijin dışarı alınışından sonra takım dizisi döndürülerek sirkülasyon yapılmış ve bu şekilde takımın 410 metreye kadar kademeli olarak çekilerek kurtarılmasında daha önceki sondajlarda kazanılan deneyimin önemi büyüktür.

#### KAYNAKLAR

Toka, B., 1989, "YON-1 Kuyusu Sondaj Bitirme Raporu", MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayınlanmamış).

Toka, B., 1989, "YON-2 Kuyusu Sondaj Bitirme Raporu", MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayınlanmamış).

Toka, B., 2002, "Denizli-Yenicekent (YK-1, YK-2, YK-3) Sondaj Faaliyet Raporu", MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayınlanmamış).

Toka B., Yıldız M., Demirel V., 2003, "Yenicekent Jeotermal Sahasında Isı Madenciliğine Yönelik Çalışmalar", 3. Sondaj Sempozyumu, İzmir.

Toka B., Şahin M., 2006 "Havza Jeotermal Sahasında Yapılan SH-5 ve Diğer Sondajların Genel Değerlendirmesi", Madencilik Dergisi, Maden Mühendisleri Odası Cilt. 45, Sayı. 1, sayfa 3



# JEOTERMAL ARAŞTIRMA - GELİŞTİRMELERDE JEOKİMYASAL YÖNTEMLER VE ÖRNEKLEME TEKNİKLERİ

**Nazım YILDIRIM**

*Yıldırım Jeotermal Ltd. ANKARA*

## ÖZET

Jeotermal enerji arama ve geliőtirmelerinde jeokimyasal teknikler ve yöntemler, büyük bir rol oynar. Araştırma aşamasında termal kaynak gaz çıkışları ve sondajlardan toplanan Jeokimyasal veriler sayesinde, bir sahadan ne elde edilebileceğini bilmek ileriye yönelik planlamalar yapmak mümkündür.

Sahada karışım olayları göz önünde bulundurularak uygulandıkları takdirde, katyon, silis, gaz ve izotop jeotermometreleri, henüz arama çalıŐmalarının ilk aşamasında, rezervuardan elde edilebilecek akışkan kimyası ve sıcaklığı hakkında gerçeğe yakın sonuçlar verir.

Sondajlarla elde edilecek akışkanın kullanım aşamasında yaratabileceği kabuklaşma ve korozyon, kullanımdan sonra da yol açabileceği atık su problemi, arama aşamasında temsili su kaynaklarına, jeokimyasal yöntemler uygulanmak suretiyle, daha önceden tahmin edilebilir ve ona göre gerekli önlemler alınabilir.

Örnekleme kaidelerine uyulduğu takdirde, su kimyası, gaz kimyası izotoplar ve toprak gazları verileri kullanılarak jeotermal sahaların kimyasal bileŐimi, rezervuar sıcaklığı, akış yönü, akışkan-kayaç ilişkisi, sirkülasyon süresi, birincil kaynama derinliği, kabuklaşma-korozyon eğilimi, muhtemel işletme zorlukları, atık su problemi ve akışkanın ekonomik değerı gibi bilgilere varılması mümkündür.

## 1 JEOKİMYASAL ARAŞTIRMALAR

### 1.1 Ön değerlendirme ve prospeksiyon

Jeotermal araştırmaların ilk aşaması, yüzey belirtilerinin keşfi ve tetkiki diye adlandırılan ön prospeksiyon çalışmalarını kapsar. Bu çalışmada, jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalarla birlikte ön jeokimyasal ölçümler yapılarak alanda bulunan yeraltı sularının ve derinden yükselen toprak gazlarının jeotermal değer taşıyıp taşımadıkları araştırılır. Oldukça ucuz maliyetlerle elde edilen bu bilgiler, takip edecek araştırmaların planlanmasında büyük bir önem teşkil ederler.

Jeokimya çalışmaları, birbirini takip eden üç aşamadan oluşur: (Barbier, 1997) (1) yerel sıcak su noktalarına ait yüzey bilgilerin (kimyasal özellikler, sıcaklık, debi) yayınlanmış raporlardan derlenmesi ve işlenmesi; (2) söz konusu kaynaklara ait yeniden su, gaz ve izotop örneklerinin toplanması; analiz edilmesi ve toprak gazı ölçümleri (He, Rn, Hg, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>), (3) son aşama saha ile ilgili elde edilen su kimyası, buhar+gaz, izotop ve toprak gazı verilerinin; rezervuar sıcaklığı, karışım oranları, tektonik, üretim-kullanım problemleri, sirkülasyon yaşı, beslenme bölgesi ve çevre açısından yorumlarının yapılması aşamasıdır.

Jeotermal enerji arama ve kullanımlarında bütün yorum ve sonuçlar genel olarak şu parametrelere dayanır (Yıldırım, 2000).

- Su kimyası
- Duraylı ve Rayoaktif izotoplar
- Kondense olmayan gazlar
- Toprak gazları

### 1.2 Sıcak sularda en çok bulunan iyon ve bileşikler

Sularda çözünmüş halde bulunan başlıca katyon, anyon, iyonik molekül, eser element ve gazlar aşağıda olduğu gibi 5 ana grup altında toplanabilir (Koga, 1982):

- Katyonlar: H<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Al<sup>+++</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- Anyonlar: OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HS<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, AsO<sub>2</sub><sup>-</sup>
- İyonik moleküller: HBO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>
- Eser elementler: Rb, Cs, Sr, Ba, Ti, Zr, V, Cr, Mo, W, Co, Ni, Ag,
- Au, Cu, Zn, Cd, Hg, Ge, Sn, Pb, Ra, Rn, Th, Tn.

Termal sularda en önemli katyon, anyon ve iyonik moleküller sodyum (Na), potasyum (K), silis (SiO<sub>2</sub>), klor (Cl), bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) ve sülfat (SO<sub>4</sub>) iken, soğuk sularda en önemli katyon ve anyonlar kalsiyum, magnezyum, sülfat ve bikarbonattır.

Jeokimyasal jeotermal araştırmalarında, yukarıda sunulan su analizleri, gaz analizleri ve çevresel izotop analizleri ile tespit edilen parametreler temel alınarak yürütülür ve sonuca varılır. İyi ve güvenilir sonuç elde edebilmek için, elde edilen parametrelerin sahayı temsil eden doğru örneklemelerden elde edilmiş olması şarttır

### 1.3 Numune ve koruma işlemleri

Kimyasal, gaz ve izotop analizlerinin ve ona bağlı yorumların doğruluğu, her şeyden evvel akışkanı en doğal halde laboratuara taşıyan örnekleme sisteminin

doğruluğu ve uygunluğu ile yakından ilgilidir.

Sıcak sulardaki bazı iyon ve bileşikler son derece kararsızdır. Örnek kaplarına alınan sıcak sular, haliyle doğal çevrelerinden uzaklaştırılmış olduklarından, kimyasal yapılarında arzu edilmeyen bir takım değişiklikler olabilmektedir. Sıcaklık düşümü ile birlikte özellikle oksijen, karbon dioksit ve hidrojen kısmi basınçları kolaylıkla değişir. Bu erimiş gazların kısmi basınçlarının, pH ve kondüktivite değerleri üzerinde etkisi büyüktür.

Kondense olmayan gaz ve izotop örneklemeleri analizi yapacak akreditif laboratuvarın çalışma yöntemine göre yapılması gereklidir. Örneklemeden önce analizi yapacak laboratuvar personelinin alınacak bilgilere göre hareket etmek doğru bir davranış olur.

### 1.3.1 Su örnekleri alımı

**Kap seçimi:** Denemeler plastik numune kaplarının atmosferik oksijenin geçirdiği ve bu oksijenle numunede bulunan demirin ferro halden ferri hale yükselttiğini göstermiştir. Plastik numune kapları hidrojen sülfür için de geçirgendir. Öyle ise plastik numune kapları demir ve sülfür analizleri için uygun örnek alma kapları değildir. Bu tür analizler için cam örnek alma kapları tercih edilmelidir (Yıldırım 1986). Sodyum (Na), potasyum (K), ve klor (Cl) gibi iyonlar genellikle karardır ve numune alma kaplarında deği-

şim göstermezler. Eğer suda H<sub>2</sub>S yok ise seyreltilmiş örneklerde sülfat da kararlılık gösterir. Örnek alma işlemi amaca ve çevre koşullarına göre olmalıdır. Şunu hiç bir zaman unutmamak gerekir ki, tek bir örnek alma yöntemi suda bulunan tüm iyon analizleri için geçerli olamaz. Kararlılık gösteren iyon analizleri için alınacak numunede bir ön işlem yapmak gerekmez. Bu tür analizler için titizlikle temizlenmiş 2 litrelik cam ya da polietilenden yapılmış örnek kapları uygundur. Örnek almadan önce tercih edilen örnek alma kabı, numunesi alınacak kaynak suyu ile 2–3 defa çalkalanmalı ve daha sonra hava boşluğu için biraz boşluk bırakılarak hangi işleme tabi tutulduğu bilgileri ile etiketlenmelidir.

Daha güvenilir ve gerçeği yansıtan sonuçlar elde etmek için suyu doğal koşullarından fazla uzaklaştırmamak gerekir. Bu sebeple, indirgenme, yükseltgenme ve çökelme gibi olaylarla konsantrasyonu hızla değişen bazı parametrelerin ölçüm ve analizleri hemen kaynak başında yapılmalıdır. Sıcaklık, pH, EC ölçümleri ile Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2(erimiş)</sub>, O<sub>2(erimiş)</sub>, H<sub>2</sub>S, Cl ve SiO<sub>2</sub> analizleri bu grup içerisinde değerlendirilmelidir.

Alınacak her türlü su örneğinde çeşitli parametreler için aşağıdaki koruma önlemleri (Sönmez 1986) alınmadığı takdirde, analiz sonuçlarının doğruluk derecesi tartışılır:

❖ Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, B, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>,

I<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, pH, EC, Sp-gravite, buharlaşma-kalıntısı, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve Br analizleri, miktarı 1,5 litreden az olmamak üzere polietilen kaplara doldurulmuş, filtre ile süzölmüş ya da hiç işlem görmemiş örneklerden yapılmalıdır.

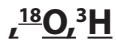
❖ Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Al<sup>+++</sup> ve As analizleri, bir süzme işleminden sonra özenle yıkanmış 500 ml'lik numune kaplarına alınmış örneklerden yapılmalıdır. Koruma önlemi olarak numune 6 N HCl ile pH' en az 2 olacak şekilde asitlendirilmelidir. pH 'ın 2 olup olmadığı pH kâğıdı ile kontrol edilmelidir. Bu işlem için 2 ml 6N HCl kâfidir.

❖ Mn<sup>+</sup> ve Hg<sup>+</sup> analizleri için 500 ml'lik numune süzölerek, pH 'ı 8N HNO<sub>3</sub> ile 2 'ye getirilmelidir. Bu işlem için numuneye 2 ml 8N HNO<sub>3</sub> ilave etmek yeterlidir.

❖ Alınan numunede, daha ilk başta SiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yüksek olduğu tahmin ediliyorsa numune mutlaka seyreltilmelidir. Seyreltme 1/10 oranında saf su ile yapılmalıdır. Bu işlem 10 ml numuneye 90 ml saf su katılarak yapılır.

❖ S<sup>-</sup> analizlerinin yerinde yapılması gereklidir. Ancak buna imkân yok ise 250 ml'lik numune 2,5 ml 0,8 N Zn-asetad ve 2,5 ml 1N NaOH ilave etmek suretiyle korunmalıdır. Bu işlem de sadece 24 saatlik koruma sağlar.

### **1.3.2 İzotop analizleri için örnek alımı**



• Miktar: 30 ml <sup>2</sup>H & <sup>18</sup>O için, 1 litre <sup>3</sup>H için

• Şişeler 3 kere çalkalanmalı, tıplar örneklenecek su ile yıkanmalıdır.

• İçinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulmalıdır.

• Sızıntı olmamalıdır (çift tıplı).

• Buharlaşmaya maruz kalmamalıdır.

• Su berrak değilse filtrelenmelidir.

### **13C-TDIC**

• Miktar: 250 ml (süzülecek)

• Şişeler 3 kere çalkalanmalıdır.

• Bakteriyolojik koruyucu konmalı (sodyum azid-NaNH<sub>2</sub> ya da civa klorür-HgCl<sub>2</sub>)

### **Çözölmüş SO<sub>4</sub> iyonu içindeki <sup>18</sup>O ve <sup>δ</sup>S**

• Yaklaşık 30 lt su temiz bir tankın içine konur.

• HCl asit eklenerek pH<2 koşulu sağlanır ve böylece HCO<sub>3</sub> ve CO<sub>3</sub> iyonlarının BaCO<sub>3</sub> olarak çökmesi engellenir. Var olan CO<sub>3</sub> iyonları, HCO<sub>3</sub> iyonlarına dönüştürölür.

• SO<sub>4</sub> içeriğine göre yeteri kadar BaCl<sub>2</sub> eklenir ve sülfat BaSO<sub>4</sub> olarak çökeltilir.

• Analizi yapacak laboratuvarın isteğine göre BaSO<sub>4</sub> filtrelenir, aseton ile yıkanır ve kurutulur ya da örnek orijinal suyu ile beraber çift tıplı şişe içerisinde çöktü olarak saklanır.

### **Toprak Örneğindeki <sup>δ</sup>S**

• Toprak örneği 0.1 m NaCl çözeltisinde 1:1 oranında çözölür.

• Çözelti ince ve kalın filtreden süzölür (nitroselölöz).

• Bir miktar çözeltide SO<sub>4</sub> analizi yapılır.

• Geriye kalan çözelti ise SO<sub>4</sub> çöktürme sürecinde kullanılır.

### **DIC için <sup>14</sup>C**

- 60 litre su bir tankın içine alınır.
- 5 gram FeSO<sub>4</sub> eklenir.
- Doygun ve karbon içermeyen NaOH çözeltisi, pH>12 olacak şekilde örneğe eklenir.
- Gerekli miktarda BaCl<sub>2</sub> çözeltiye eklenir ve tankın kapağı kapatılarak karıştırılır.
- Çöktirmeyi hızlandırmak için 40 ml preastol çözeltisi eklenir.
- 25–30 ml BaCl<sub>2</sub> çözeltisi ilave edilerek TDIC dönüşümü ve çökelme işleminin tamamlanması, kontrol edilir. Bulanıklılık devam ediyorsa, bu demektir ki TDIC dönüşümü bitmemiştir.
- Şişenin ağzı sıkı bir şekilde kapatılır.

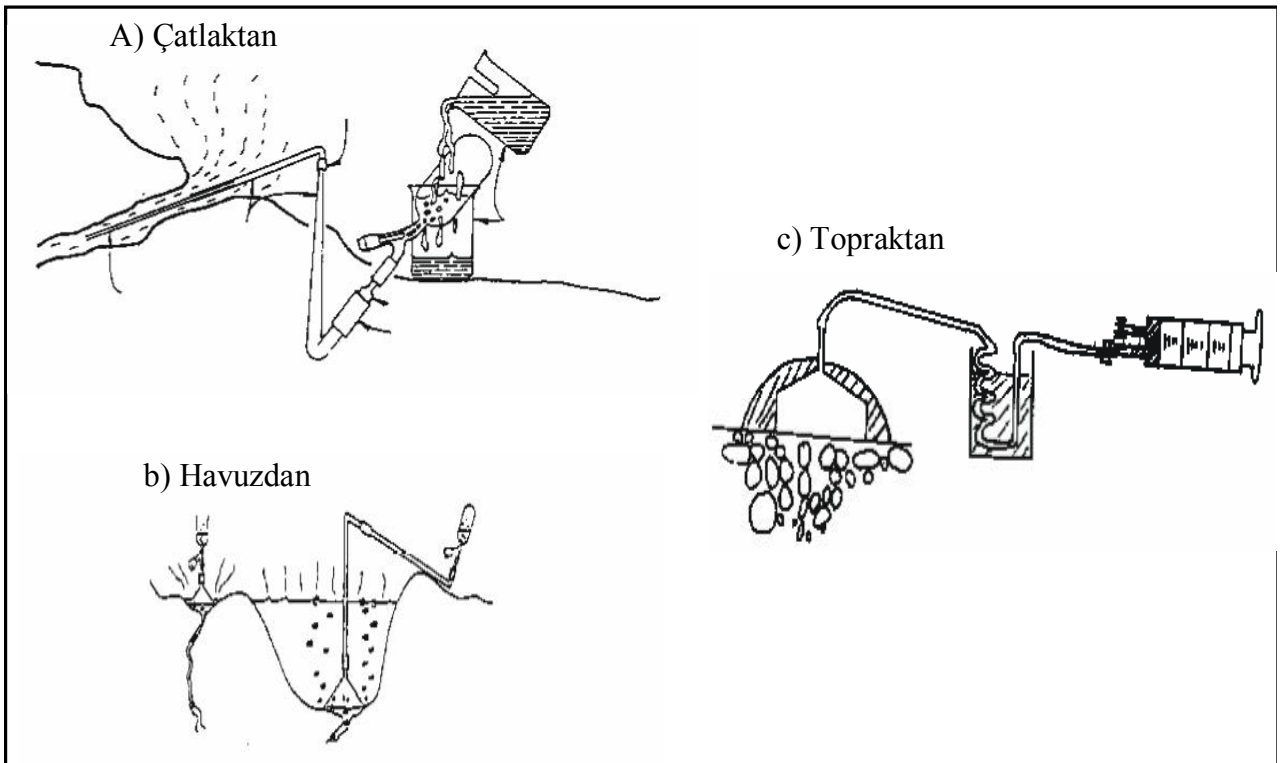
### **1.3.3 Kondense olmayan gaz örneklemeleri**

Jeotermal sahalarda fümerolik ve kon-

dense olmayan gaz örneklemeleri için ülkeden ülkeye değişen birçok metod mevcuttur. Bir sahada ne tür bir örnekleme yapılması gerektiği, araştırma amacı, saha koşulları ve uygulanacak analitik metod tipine göre değişir.

Aşağıdaki Şekil 1' de görüldüğü gibi, jeotermal bir kaynaktan gaz örneği alımı (Tatsuto 2000), huniler, enjektörler, silikon tüpler ve gaz şişeleriyle (1000–3000 cc) gerçekleştirilir. Örnekleme zinciri 150–300 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda bir huni ile başlar. Huni, gaz çıkış noktasını hacimli bir şekilde kapatarak örnekleme boyunca, gaz çıkışı zayıf bile olsa, atmosferik hava girişiminden korur. Huni vasıtasıyla toplanan gaz+buhar akışı soğutucuya, silikon tüpler vasıtasıyla gider. Burada gaz soğuyarak sıvı fazdan ayrışır. Soğutucu, spiral paslanmaz çelik borudan ibarettir.

Bu işlem sonucunda ortaya çıkan kondense su ve kondense olmayan gaz, içinde 10 ml 5N KOH bulunan ölçekli bir kaba



Şekil 1. Jeotermal gaz örnekleme şekilleri: a) Çatlaktan b) Havuzdan c) Topraktan

transfer edilir. Bu asit gazlar, hacim 100 cc olana kadar KOH ile reaksiyona tabi tutulur. Kondense su hacmi dereceli kaptan ölçülerek, örneğin içindeki kondense olan ve olmayan gaz analizleri prosedürüne göre yapılır.

Birçok gaz, jeotermal akışkanlarda çözülmüş halde bulunur. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar ve NH<sub>3</sub> bu gazların başlıcalarıdır. Jeotermal akışkanlarda bir dereceye kadar, soy ve bazı hidrokarbon gazları da bulunabilir. Bu gazlar arasında, sistem gaz kimyasını belirleyen gaz karbon dioksit gazıdır. CO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub> => CH<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O gazları arasındaki reaksiyonlar, gaz jeotermometrelerinin temelini oluşturur.

## 2 JEOKİMYASAL YORUMLAMALAR

### 2.1 Sıcak sularda bulunan bazı iyon ve iyonik moleküllerin kaynağı

**Sodyum:** Sodyum klorürün tabiatındaki bolluğu ve sudaki çözünürlüğünün yüksekliği, termal sularda bol miktarda olmasına neden olmaktadır. Suyun kayalarla temas süresi ve sıcaklığı sodyumun sudaki konsantrasyonunu arttıran başlıca faktörlerdir. Sulardaki sodyumun ana kaynağı plajiyoklas ve feldspatların sulanması sırasında açığa çıkan çözünürlüğü yüksek ürünlerdir. Evaporit çökeltilerinin olduğu alanlardaki haloidler de sulardaki sodyum için önemli bir kaynak oluşturur (Fournier 1981). Kil mineralleri de sodyum kaynağı olabilir. Önemli derecede olmamakla beraber, nefelin, sodalit, stilbayt, natrolit ve yadit mineralleri diğer sodyum kaynaklarıdır.

**Kalsiyum:** Rezervuar kayadaki kalsit

ile sudaki kalsiyum ve karbonat iyonları arasındaki denge, sıcaklığa bağlıdır. Bu denge çok fazla olarak da pH'a bağlıdır. Kalsiyum iyonu aynı zamanda sıcaklık yanında, sodyum konsantrasyonundan da etkilenir. Kireçtaşı, kalsit, aragonit, anhidrit, flüorit, vollastonit, feldispat çeşitleri, piroksen grupları ve deniz orijinli sedimanter kayalar suların taşıdığı kalsiyumun başlıca kaynaklarıdır. Böyle kayalarda dolaşım sular kalsiyumca zenginleşir.

**Magnezyum:** Magnezyumun yeraltı sularındaki başlıca kaynakları; sedimanter kayalardaki dolomitler, magmatik kayalardaki olivin, biyotit, hornblend ve ojitler, metamorfik kayalardaki serpantin, talk, diopsit ve termolitlerdir. Özellikle dolomit haznelere gelen sularda magnezyum oldukça boldur. Magnezyum kalsiyum gibi, çözültide iyonik halde bulunur. Çözültide kalabilme eğilimi kalsiyumdan fazladır.

**Potasyum:** Termal sularda bulunan önemli metalik iyonlardan biridir. Magmatik-silisik kayalarla uzun süre temas eden sular, hemen hemen eşit miktarda sodyum ve potasyum içerirler. Akışkanlardaki potasyum konsantrasyonu, sodyum ve potasyumun alimino-silikatlarla olan iyon değişimi dengesiyle kurulur. Sodyum /potasyum moleküler oranı belirli sıcaklıklarda sabittir.

**Silis:** Termal sularda bulunan silis, genellikle silikatların çözünmesinden kay-



naklanır. Sudaki silis miktarı suyun pH sıcaklık ve akış hızına göre değişir. Silis yeraltı sıcaklık tahminleri için iyi bir parametredir.

**Klor:** Klor deniz suyu ve deniz suyu orijinli termal sularda en çok bulunan anyondur. Yağmur suyundaki klor miktarı 1 g/l ile 10 g/l arasında değişir. Normal yeraltı sularında 200 mg/l 'yi geçmez. Klor konsantrasyonu, sedimanlarda hapis olmuş eski deniz sularından etkilenen yeraltı sularında yüksek olur.

**Flourür:** Termal sulardaki ve normal yeraltı sularındaki flourür konsantrasyonu, kalsiyum flüorürün çözünürlüğü ile sınırlıdır. Flor, riyolitlerden süzülerek kolaylıkla suya geçer. Fümerolik ve volkanik gazlar da hatırı sayılır miktarda flor içerirler.

**Sülfat:** Sülfat iyonu, yeraltı sularına jipsli ve anhidritli formasyonlardan geçer. Termal sulardaki konsantrasyonu sıcaklığın bir fonksiyonudur.

**Karbonat:** Sulardaki karbonat ve bikarbonat miktarı, sulardaki kalsiyumun kalsitli formasyonlarla olan dengesi ve büyük çapta ortamın pH'ına bağlıdır.

**Bor:** Türmalin, pegmatik, granit ve az miktarda gabro gibi volkanik kayalarda bulunur. B volkanik gazlarda  $H_3BO_3$  ve  $BF_3$  formlarında bulunur.

**Demir ve çözünmüş gazlar:** Çok fazla miktarda demir ihtiva eden mineral ve mineral gruplarının başında pirok-

sen, amfibol, magnetit ve piritler gelir. Yeraltı sularının çözünmüş gaz içerikleri birkaç ppm ile birkaç yüz ppm arasında değişir.

## 2.2 Analizlerin grafiksel ifade şekilleri

Bir alanda çok sayıda yapılan su çeşitlerinin kimyasal özellikleri, kökenleri aralarındaki bağıntılar, kullanma koşulları zaman ve mekân içinde göstermiş oldukları değişmeler analiz tablolarına bakılarak belirlenemez. Bu nedenle, inceleme yapılan yeraltı sularının kimyasal analizleri haritalar, grafikler üzerinde birbirleri ile kıyaslanmak suretiyle, ulaşılmak istenen özelliklerine kolaylıkla ulaşılabilir (Şahinci 1986). Örneğin akiferden alınan bir akışkanın o akifere has olup olmadığı veya başka akifer suyu tarafından istilaya uğrayıp uğramadığı, eş klorür eş sodyum ya da eş bor, kontur haritaları çizilerek kolaylıkla izlenebilir. Suların kimyasal analizlerini değişik diyagramlarla göstermek mümkündür. Bunlardan en çok kullanılanları kısa açıklamalarla birlikte şöylece sıralanabilir:

### Sütun Diyagramlar

Bu diyagramlarda katyonlar ve anyonlar milimetrik kağıt üzerine mek/l veya % mek/l olarak sütunlar şeklinde gösterilir. Birinci sütunda katyonlar (Ca, Mg, Na+K.), ikincisinde anyonlar ( $HCO_3$ ,  $SO_4$ , Cl) konur. Gerekirse, bu diyagramların yanına toplam iyon miktarları veya buharlaşma kalıntısı, suyun sertliği gibi özellikleri eklenebilir.

### Dairesel Diyagramlar

Bu diyagramlarda, yayların genişliği

iyonların mek/l (veya mg/l); dairenin yarıçapı ise toplam iyon miktarı ile orantılıdır. Bunun için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$r = (A/\pi)^{1/2}$$

bağıntıda, r toplam iyon miktarına bağlı olarak çizilecek dairenin yarıçapı; A, dairenin alanına eşit toplam anyon ve katyon miktarı (mek/l, mg/l. % mek/l veya % mg/l.  $\pi=3.14$  sayıdır.

### **Yatay çizgili Diyagram**

Diyagramda anyon ve katyonların mek/l değerleri yatay çizgiler üzerine işaretlenmiştir. Bu diyagramda değişik kökenli suların karşılaştırılması daha kolay izlenir

### **Işınsal Diyagram**

İyonların MEB/l veya yüzdeleri birbirini kesen çizgiler üzerinde yerleştirilerek birleştirilir. Ayrıca, yatay eksen üzerinde toplam iyon miktarı (MEB/l) gösterilir.

### **LL-Lot (Kare diyagram)**

Karenin her bir kenarı, yüz eşit parçaya bölünmüştür. Yatay kenarları katyonların % mek/l değerleri  $\%(rCa+rMg)$  ile  $\%(rNa+rK)$ ; düşey kenarlara ise  $\%(rCO_3+rHCO_3)$  ve  $\%(rSO_4+rCl)$  anyonları işaretlenir. Anyon ve katyon miktarlarının yüzdeleri karşılıklı olarak birleştirilerek suyun kimyasal yapısı bir nokta ile tanımlanır.

### **Üçgen diyagramlar**

Suların kimyasal sınıflandırılmasında ve kimyasal özelliklerinin belirtilmesin-

de üçgen diyagramlar kullanılmaktadır. Bunlardan önemli iki tanesi Hill ve Piper diyagramlarıdır. Bu diyagramlarda kullanılan su analizlerinin anyon ve katyon yüzdelerinin nasıl hesaplandığını görmekte fayda vardır:

Bir suyun analizinde  $Na+K=35$  mek/l,  $Ca=84$  mek/l,  $Mg=21$  mek/l bulunmuş olsun; böylece, toplam katyon miktarı 140 mek/l dir. Her bir katyonun yüzdesi şu şekilde saptanır:  $Na+K= 35/140 =\% 25$ ;  $Ca=84/140=\% 60$ ;  $Mg=21/140= \% 15$  dir. Benzer şekilde anyon yüzdeleri bulunur.

### **Piper diyagramı**

Bu diyagram, Hill diyagramının değiştirilmiş bir şeklidir. Hil diyagramındaki iki eşkenar üçgen anyon ve katyonlara ayrılmış, diğer ikisi de birleştirilerek tek paralel kenarla gösterilmiştir. Yukarıda açıklandığı gibi katyon ve anyonların yüzdeleri bulunur ve üçgen diyagramlara, Hill diyagramında olduğu gibi işaretlenir. Suyun kimyasal özelliği, Piper'in önerdiği sınıflamaya göre yapılır (Piper 986).

### **Düşey yarı-logaritmik diyagram**

Düşey ekseni logaritmik, yatay ekseni aritmetik ölçekli kağıtlar üzerine, eşit aralıklarla yatay eksen üzerine sırası ile  $rCa$ ,  $rMg$ ,  $r(Na+K)$ ,  $rCl$ ,  $rSO_4$ ;  $r(CO_3+HCO_3)$  iyonları yerleştirilir. Her bir iyonun mek/l değerleri logaritmik düşey eksenlere işaretlenerek birleştirilir. Böylece, suların kimyasal özellikleri kırık çizgilerle tanımlanmış olur. Yarı-logaritmik diyagramlarda, farklı sular ilk bakışta ayırt edilebilir.

Buna karşın, yüzde ile gösterilen diyagramlarda, kökenleri ve kimyasal özellikleri çok farklı olan sular bir arada bulunabilir. Ayrıca, bu benzer sular kırık paralel çizgiler meydana getirirler. Yeraltı suların kimyasal özellikleri bakımından önemli bir yer tutan  $rMg/rCa$ ,  $rSO_4/rCl$ ,  $r(Cl-Na)/rCl$ ,  $rNa/rCa$ ,  $rNa/rMg$  oranları diyagram üzerindeki kırık çizgilerin eğimlerinden izlenebilir

### Hill Diyagramı

Burada dört eşkenar üçgenin tepeleri bir noktada birleştirilmiştir. Soldaki üçgenin taban köşelerinde katyonlar, sağdakine ise anyonlar yerleştirilmiştir. Ortak tepe noktalarına katyon ve anyonlar konur. Katyonların ve anyonların ayrı ayrı toplamalarına göre her bir iyonun mek/l yüzdeleri saptanır. Böylece, katyonlar için A ve anyonlar için B<sub>noktaları</sub> bulunur. A noktasından, katyonların meydana getirdiği üçgenin bitişiğindeki üçgenin tabanına bir paralel çizilir. Benzer şekilde, B' den çizilen paralel A'dan çizilen paraleli, A noktasında keser. Diyagramda ortaya çıkan sonuç, Palmer su sınıflandırmasına göre değerlendirilir.

Bu grafiksel diyagramlarda kullanılan su analizlerinin anyon ve katyon yüzdeleri şöyle hesaplanır: Bir suyun analizinde  $Na+K=35$  mek/l,  $Ca=84$  mek/l,  $Mg=21$  mek/l bulunmuş olsun; böylece, toplam katyon miktarı 140 mek/l dir. Her bir katyonun yüzdesi şu şekilde saptanır:  $Na+K= 35/140 =\% 25$ ;  $Ca=84/140=\% 60$ ;

$Mg=21/140= \% 15$  dir. Benzer şekilde anyon yüzdeleri bulunur.

### 2.2 Anyon katyon ve iyonik moleküllerin rezervuar sıcaklık belirteci olarak kalitatif ve kantitatif kullanımları

Jeotermal sıcak sular, tabiatta bulunan diğer sulardan farklı miktarlarda  $SiO_2$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $HCO_3^-$  ve  $HBO_2$  gibi maddeleri ihtiva ederler (Yıldırım 1996). Yüksek sıcaklığa sahip akiferlerden boşalan sular genellikle  $SiO_2$ ,  $Cl$ ,  $HBO_2$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $Rb^+$ ,  $Cs^+$  ve As İyonları açısından soğuk sulara nazaran daha zengindir. Bu tür elementlerin sıcak sularda az veya çok miktarlarda bulunması, suların kaynaklandığı akiferlerin sıcaklığı hakkında niteliksel bir fikir verir.

Gazlar (fümerolik gazlar), altere kayalar, toprak ve toprak gazları birer niteliksel jeotermometredir. Çözünmüş elementlerin ve gazların miktar ve oranları yüksek sıcaklık reaksiyonlarının neticesidir. Fakat niceliksel jeotermometre hesaplamaları için yeterli değildir.

Sıcak sularda bulunan bazı bileşik ve oranların nitel olarak sıcaklık açısından neyi ifade ettiği kısaca şöyle özetlenebilir;

**$SiO_2$ :** Yeraltı sularının sıcaklık tahminlerinde kullanılan en iyi göstergedir. Kuartsın yüksek sıcaklıktaki kimyasal dengesine bağlı olan  $SiO_2$ 'in yüksek konsantrasyonu, yüksek sıcaklığın bir işareti olarak kabul edilebilir. Amorf, kristal, kal-

sedon ve diğer kuartz türevlerinin sıcaklıkla çözünürlükleri göz önünde bulundurularak çeşitli silis jeotermometreleri geliştirilmiştir. Silis jeotermometreleri genellikle 125°-275 °C sıcaklık aralığı ve buhar oranı az jeotermal akışkanlar için isabetli sonuçlar verir.

**Na/K:** Genellikle 20/1 – 8/1 atomik oranları arasındaki limitlerde, yeraltı sıcak sularının sıcaklık derecelerinin tahmininde doğru neticeler verir. Bazı hidrojeolojik sistemlerde bu limitlerin dışında da doğru sonuçlar verebilir. Na/K atomik oranları ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki deneye dayalı formüllere dayandırılarak sıcaklık hesaplamalarında kullanılan Na/K jeotermometreleri geliştirilmiştir.

**Ca<sup>++</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> :** Kalitatif olarak doğal sıcak suların sıcaklık tahminlerinde kullanılabilir. Kalsiyum karbonatın sıcaklıkla ters orantılı çözünürlük ilkesine bağlı termal sulardaki Ca<sup>++</sup> ve HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyon konsantrasyonlarının düşüklüğü, yüksek sıcaklığa delalettir.

**Mg<sup>++</sup>, Mg/Ca: Termal** sulara düşük Mg içeriği ve özellikle düşük Mg/Ca atomik oranları incelenen termal suların yüksek rezervuar sıcaklıklı olmalarının bir ifadesi olarak kabul edilebilir.

**Cl<sup>-</sup> :** Klor içeriği derinden gelen orijinal sıcak suların yükselirken diğer yeraltı soğuk suları ile karışım yüzdelerini ifade etmekte kullanılır. Bir alanda bulunan kaynaklardan en yüksek oranda klor oranına sahip olanı, rezervuardaki su kimyasını en iyi yansıtan kaynak olarak ele alınabilir.

**Na/Ca: Yüksek** Na/Ca oranı, Na/K oranı gibi yüksek sıcaklığın belirteçidir. Çünkü yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkanlarda Na içeriği yüksek Ca içeriği düşüktür.

### **Cl/HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>**

: Bir hidrotermal veya jeotermal sistem sınırları dahilinde bulunan kaynaklardan en yüksek Cl/HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> oranına sahip kaynak, sistemin en sıcak merkezinden (upflow) çıkan kaynak olarak değerlendirilir. Dolayısıyla en yüksek sıcaklığa sahiptir.

## **3 JEOTERMOMETRELER**

### **3.1 Jeotermometre çeşitleri**

Jeotermal sistemlerin derindeki rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesi, için kullanılan jeotermometreler, mineral/su dengesinin olduğu kimyasal ve termodinamik koşulları temel alır. Silika, katyon, izotop ve gaz termometreleri olmak üzere dört grup altında toplanabilirler (Truesdel ve Fournier 1976a)

#### **3.1.1 SiO<sub>2</sub> Jeotermometreleri**

Muhtelif formlardaki silika minerallerinin çözünürlüklerindeki sıcaklık, pH bağımlılık ve buharlaşma olaylarını esas alırlar (Henley et. all 1984). En önemlileri ve kullanıldıkları sıcaklık aralıkları şöyledir (Çizelge 1):

#### **3.1.2 Katyon jeotermometreleri**

Suda bulunan Na/K oranları ile Na-K-Ca-Mg iyonları arasında, sıcaklığa dayalı bir denge vardır. Suların katyonlarıyla dengede olup, olmadığı Gigenbach üçgen diyagramı ile kontrol edilir. Sular katyonları ile

Çizelge 1. Çeşitli SiO<sub>2</sub> jeotermometreleri

Jeotermometre	Formül	Kısıtlama
Kuartz-buhar kaybı yok	$t^{\circ}\text{C} = (1309/5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273$	0-250 °C
Kuartz-maks. Buhar kaybı	$t^{\circ}\text{C} = (1522/5.76 - \log \text{SiO}_2) - 273$	0-250 °C
Kalsedon	$t^{\circ}\text{C} = (1032/4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273$	0-250 °C
δ-Kristobolit	$t^{\circ}\text{C} = (1000/4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273$	0-250 °C
δ-Kristobolit	$t^{\circ}\text{C} = (781/4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273$	0-250 °C
Amorf	$t^{\circ}\text{C} = (731/4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273$	0-250 °C

Dengede ise katyon jeotermometreleri kullanılmalıdır (Çizelge 2). Aksi takdirde gerçekte alakası olmayan rezervuar sıcaklıkları elde edilir (Gigenbach 1989)

jeotermometrelerinin temelini oluşturur (Çizelge 3) (Koga, 1982)

**3.1.3 Gaz jeotermometreleri** CO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub> => CH<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O gazları arasında derinde sıcaklığa bağlı reaksiyonlar, gaz

**3.1.4 İzotop jeotermometreleri** Su (H<sub>2</sub>O) ve çözülmüş sülfat (SO<sub>4</sub>) arasındaki oksijen izotopları arasındaki değişimlere bağlıdır (Çizelge 4).

Jeotermometre	Formül	Kısıtlama
Na/K (Fournier)	$t^{\circ}\text{C} = [1217/(\log \text{Na/K} + 1,483)] - 273$	t > 150 °C
Na/K (Trusdel)	$t^{\circ}\text{C} = [855,6/(\log \text{Na/K} + 0.8573)] - 273$	t > 150 °C
Na-K-Ca-Mg	$t^{\circ}\text{C} = (1647/[\log \text{Na/K} + \beta(\log \sqrt{(\text{Ca/Na}) + 2.06}) + 2,24]) - 273$	t < 100 °C, β=4/3, t > 100 °C, β=1/3
Na/Li	$\log \text{Na/Li} = 1000/T - 0,39$ $\log \text{Na/Li} = 1000/T + 0,13$	Cl < 0,3m Cl > 0,3m

Çizelge 2. Çeşitli katyon jeotermometreleri

Jeotermometre	Formül	Kısıtlama
(D, Amore)	$t^{\circ}\text{C} = (24775 / \alpha + \beta + 30.06) - 273$ $\alpha = 2 \log \text{CH}_4 / \text{CO}_2 - 6 \log \text{H}_2 / \text{CO}_2 - 3 \log \text{H}_2\text{S} / \text{CO}_2, \beta = -7 \log P_{\text{CO}_2}$	P <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 0.1 atm ise CO <sub>2</sub> % < 75 P <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 1 atm ise CO <sub>2</sub> % > 75
(Koga)	$t^{\circ}\text{C} = -53.4 (\log \text{CO}_2 / \text{H}_2) + 352$	

Çizelge 3. Çeşitli gaz jeotermometreleri

Jeotermometre	Formül	Kısıtlama
(D, Amore)	$t \text{ } ^\circ\text{C} = (24775 / \alpha + \beta + 30.06) - 273$ $\alpha = 2 \log \text{CH}_4 / \text{CO}_2 - 6 \log \text{H}_2 / \text{CO}_2 - 3 \log \text{H}_2\text{S} / \text{CO}_2, \beta$ $= -7 \log P_{\text{CO}_2}$	$P_{\text{CO}_2} = 0.1 \text{ atm}$ ise $\text{CO}_2 \text{ \%} < 75$ $P_{\text{CO}_2} = 1 \text{ atm}$ ise $\text{CO}_2 \text{ \%} > 75$
(Koga)	$t \text{ } ^\circ\text{C} = -53.4 (\log \text{CO}_2 / \text{H}_2) + 352$	

Çizelge 4. Çeşitli izotop jeotermometreleri

#### 4-TOPRAK GAZLARI

Toprakta  $\text{Hg}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Rn}$  ve  $\text{Tn}$  gaz analiz sonuçları, rezervuarın yapısal karakteristiği, jeotermal aktivitenin sığ derinliklerdeki yayılımı ve fay-kırık gibi tektonik hatların konum ve uzanımlarını aydınlatmada kullanılır.

Genelde,  $\text{Hg}$  gazının yüzeye derin ve sıcak akışkanlarla taşındığı düşünülür. Rezervuarın kayaç yapısı ve volkanik aktiviteye bağlı olarak,  $\text{Hg}$  konsantrasyonu, yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkanlarda yüksektir. Yukarıya yükselen akışkanla yüzeye yaklaşan  $\text{Hg}$ 'nin bir kısmı toprak yüzeyine yakın yerde, toprak tarafından absorblanır. Jeotermal sistemlerin üstünde 1 metre derinliklerde ölçülen toprak ve toprak gazı içindeki yüksek  $\text{Hg}$  anomalileri, bize jeotermal aktivite hakkında güncel bilgi verir.

Diğer bütün gazlarda olduğu gibi, orijinleri ne olursa olsun,  $\text{CO}_2$  ve  $\text{Rn}$  gazlarının kırık ve çatlaklarda yoğunlaştığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla toprakta 1 m derinliklerde yapılan  $\text{CO}_2$  ve  $\text{Rn}$  ölçüm sonuçları tektonik yapı (fay-kırık), lokasyonları hakkında pozitif bilgi verir. Yarılanma süresinin kısıllığı dolayısıyla, özellikle  $\text{Rn}$ , fay ya da kırık yüzeylerinden fazla uzağa gidemez. Dolayısıyla yoğunlaştığı ya da yüksek anomali verdiği yerler öncelikle fay ve kırık üzerleridir.

Diğer taraftan,  $\text{Tn}$ 'nin yarılanma süresi,  $\text{Rn}$ 'den kısadır. Dolayısıyla çok derin-

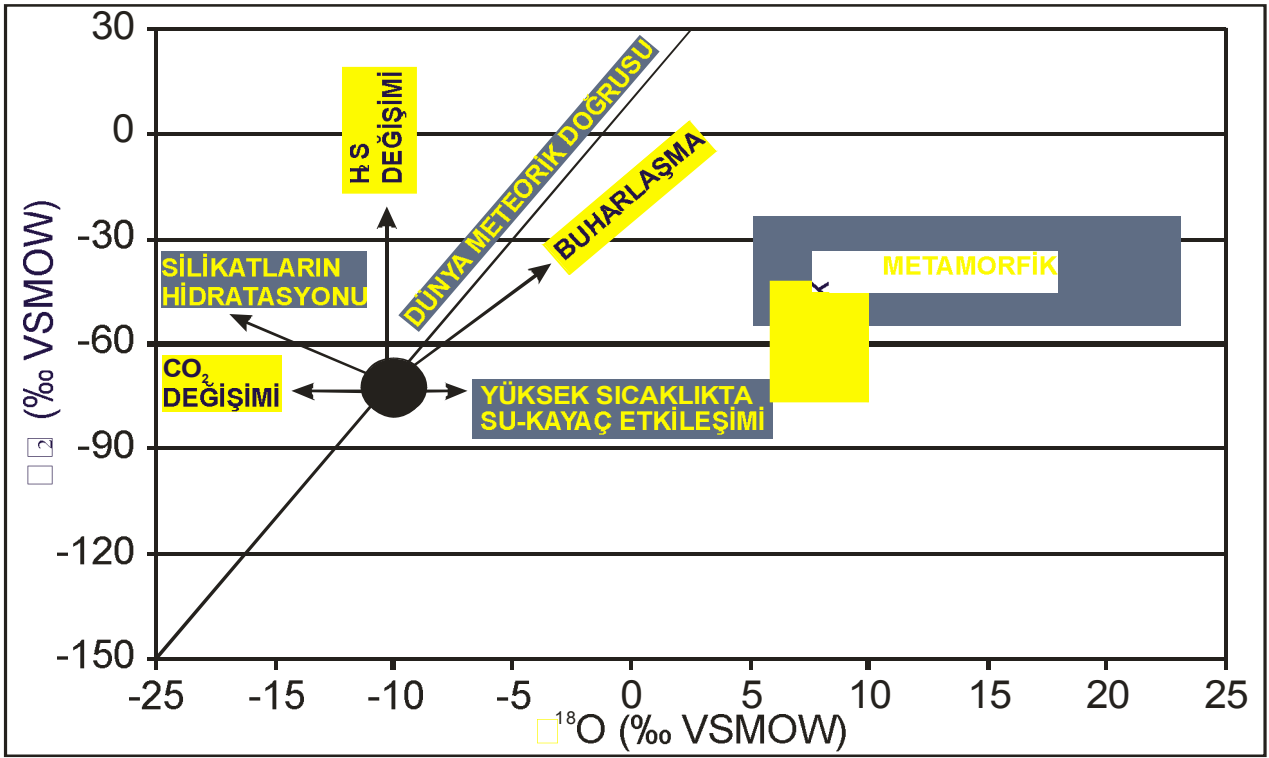
lerden kaynaklanan  $\text{Tn}$ 'nin yüzeye  $\text{Rn}$  kadar yüksek konsantrasyonla yükselmesi mümkün değildir. Buna göre yüksek  $\text{Rn}/\text{Tn}$  oranı derin, düşük  $\text{Rn}/\text{Tn}$  oranı sığ rezervuarları ifade eder (Koga, 1982).

#### 5-İZOTOPLAR

**Duraylı izotoplar (  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^3\text{H}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$  ):** Bir jeotermal alanda beslenme yükseklikleri ve sirkülasyon süresinin saptanmasında kullanılır. Ayrıca rezervuar beslenme -boşaltım dengesinin ayarlanmasında da kullanılırlar.  $\text{SO}_4$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  arasındaki  $\delta^{18}\text{O}$  değişim reaksiyonlarına dayalı jeotermometre ile rezervuar sıcaklığını hesaplamak mümkündür.

Çevresel izotopların jeotermal araştırma ve geliştirmelerde en önemli kullanım alanı, doğal iz sürücü olarak kullanılmalarıdır. Bu iz sürme su orijini ve rezervuar prosesleri hakkında olmak üzere iki türdür.

Eskiden jeotermal akışkanların magmatik ya da juvenil kökenli olduklarına inanılırdı. Daha sonra, Craig ve diğerleri yağmur ve kar sularının izotopik değerlerinin yükseklik, enlem ve iç kıtalara doğru değiştiğini bulmuşlardır. Global meteorik suların,  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  izotopları arasındaki ilişkinin;  $\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  (Clark ve Peter 1954) denklemine uyduğu söz konusu ekip tarafından tespit edilmiştir. Craig, jeotermal suların  $\delta^{18}\text{O}$  izotopunca aynı bölgede bulunan soğuk sulardan daha



Şekil 2.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotoplarının meteorik çizgiden sapmasına etki eden faktörler

zengin olduğunu,  $\delta\text{D}$  izotopunca ise de aynı olduğunu tespit etmiştir (Şekil 2).

Bunun başlıca sebepleri, ısınan suyun kayalarla  $\delta^{18}\text{O}$  alışverişi, yükselirken buharlaşma ve başka sularla karışım olabilir.

Su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ve çözülmüş sülfat ( $\text{SO}_4$ ) arasındaki oksijen izotopları arasındaki değişimlere dayalı izotop jeotermometreleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi şudur:

$$1000 \ln \delta (\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}) = 2.88 \times 10^6 / T^2 - 4.1$$

(Mizutani and Rafter 1969)

Jeotermal akışkanlarda, radyoaktif izotoplar kullanılarak yaş ve  $^3\text{He}/^4\text{He}$  izotopları kullanılarak köken tayini yapmak mümkündür. Yaş tayinlerinde en çok kullanılan radyoaktif çekirdekli izotoplar, kısa yaş tayininde  $\delta^3\text{H}$ ,  $\delta^{32}\text{Si}$ ,  $\delta^{37}\text{Ar}$ ,  $\delta^{85}\text{Kr}$  ve  $\delta^{222}\text{Rn}$  ve uzun yaş tayininde  $\delta^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{35}\text{Cl}$ ,  $\delta^{39}\text{Ar}$  ve  $\delta^{81}\text{Kr}$  dir. Bunların bazıları ile ilgili örnekleme sistemleri daha önce anlatılmıştır.

## 6- KABUKLAŞMA

### 6-1. Kabuklaşma ve Önleme Yöntemleri

Jeotermal uygulamalarda, karbonat çökmesi ve başka bir deyişle kabuklaşma, jeotermal akışkan borularda yukarıya doğru yükselirken veya yatay olarak akarırken herhangi bir sebeple basınç düşmesi sonucu karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ) gazlarının sıvı ortamı terk edip gaz fazına geçmesiyle birlikte başlar (Yıldırım 1997). Bu nedenle kabuklaşma yönünden en büyük sıkıntılar basınç düşüşlerinin kaçınılmaz olarak meydana geldiği düşey üretim boruları ve yüzey seperasyon aygıtlarında yaşanır.

Karbonat kabuklaşmaları şu yollarla kontrol altına alınabilir:

- Karbonat-bikarbonat dengesini pH ve  $\text{CO}_2$  kısmi basıncı ile ayarlamak,
- Oluşan kabuğu periyodik olarak asit

ya da matkapla temizlemek,

- Uygun bir inhibitörle kabuk oluşumunu engellemek,

- Dalgıç pompa kullanarak basınç düşüşünü ve dolayısıyla kabuk oluşumunu engellemek v.b,

Hem ekonomik ve hem de teknik açıdan diğer yöntemlere göre avantajlı olan inhibitör kullanma yöntemini geliştirmek ve uygulanabilirliğini göstermek üzere ülkemizde birçok inhibitör denemesi yapılmıştır.

## 7- SONUÇLAR

Makale içinde anlatılmaya çalışıldığı gibi, jeotermal araştırmalarda yararlanılan jeokimyasal teknikler ve bu tekniklerde kullanılan parametrelerle jeotermal saha hakkında açıklığa kavuşturulan konular aşağıda verilmiştir Özetlersek (Yıldırım 2000):

- a) Rezervuar sıcaklığı,
- b) Rezervuarı besleyen akışkanın kökeni
- c) Beslenme alanları
- d) Kullanımda kabuklaşma-korozyon eğilimi,
- e) Tektonik yapı ve üretim zonu sınırları
- f) Çevre açısından atık su ve gaz emisyonları,
- g) Farklı yapıda yeraltı suları karışım oranları,
- h) Jeokimyasal ve fiziksel özelliklere göre jeotermal akışkanın uygun kullanım alanının belirlenmesi
- i) Akışkanın ekonomik değeri v.b

Bu bilgilere ulaşılırken, jeokimyasal yöntemlerin kurallarına göre bilinçli bir şekilde kullanılması şarttır. Aksi takdirde, gerçekte ilişkisi olmayan yanlış ve hedeften saptırıcı sonuçlar elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

Barbie, E, 1997. Geothermal Resources: Nature and Utilization, Geothermal District Heating Schemes, Çeşme İzmir, (s.1-27).

Fournier, R.O, 1981. Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering -Geothermal systems; Principles and case Histories ed. by L. Rubbach and L.J.P. Muffler. Wiley New York p.109-143.

Giganbach, W.F, 1989. Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gases, New Zealand, Workshop, University of Auckland.

Clark, I.D. ve Peter, F, 1954. Environmental Isotopes in Hydrogeology.

Henley, R.W, Truesdel A.H. and Barton, P.B. 1984. Fluid–Mineral Equilibria in Hydrothermal System

Hochstein, M.P, 1982. Introduction to geothermal prospecting, the geothermal institute, University of Auckland.

Koga, A, Hydrothermal Geochemistry, Text for the 13th International Group Training Course on Geothermal Energy held at Kyushu University, 1982.

Langelier, W.A, 1936. The analytical control of anti corrosion.

McGraw, A, 1978. Chemical Engineering, Hill publication.



Piper A.M, 1978.Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, T.A.G.U. part, p.914-928

Sönmez, S, 1986. Laboratuarlarda analizi yapılacak su örneklerinde alınacak koruma önlemleri. MTA, Ankara.

Şahinci, A.Ş, 1986. Yeraltı suları Jeokimyası kitabı

Trusedell, A.H, 1976a Summary of Section III Geochemical Technique in Exploration: Proc. 2nd U.N Symp

Tatsuto I, 2000. 'Chemical Analysis of Geothermal Development, Text for the 31th International Group Training Course on Geothermal Energy held at Kyushu University, Fukoka, japan

Yıldırım N, 1996. Hizmet içi eğitim semineri su jeokimyası notları, Akçakoca,

Yıldırım N, 1997. Corrosion and scaling of low- temperature geothermal fluid, "International Summer school' on Direct application of geothermal energy Çeşme, İzmir

Yıldırım N, 1999. "Uygulamalı jeokimya '2000'li yıllarda jeotermal enerji semineri" JENARUM, Gümüldür, İZMİR.

Yıldırım N, 2000. "jeotermal araştırmalarda jeokimyasal yöntemler" Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeotektonik Uygulamalar Sempozyumu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.



# JEOTERMAL ENERJİ KERESTE KURUTMANIN EKONOMİK VE TEKNOLOJİK ANALİZİ

**Dr. Orhan ERDEN**

*Gazi Üniversitesi Endüstriyel San. Eğt. Fak. ANKARA*

Ağaç malzemenin kullanılacağı yere göre denge rutubetine kadar kurutulması, higroskopik bir yapıya sahip olması nedeniyle önemlidir. Teknik olarak kurutulmayan ağaç malzeme çevresiyle nem alış verişinde bulunarak şekil değiştirir ve deforme olur. Kerestelerin teknik olarak kurutulmasında büyük oranda ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Bu ısı ihtiyacının karşılanması sırasında konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanımı hem maliyeti yükseltmekte hemde günümüzde önem kazanan çevre kirliliğine yol açmaktadır. Dünyanın bazı ülkelerinde jeotermal enerjinin kereste kurutmada kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Böylece büyük enerji tasarrufu sağlanarak üretim maliyetlerinin düşmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde jeotermal enerjinin kereste kurutmada kullanım potansiyeli ortaya konulmaya çalışılmıştır. Daha sonra jeotermal enerji ile kereste kurutmanın ekonomik analizi yapılmıştır. İlk yatırım giderlerinin yüksek olması sebebiyle ancak 20m<sup>3</sup>'lük jeotermal enerji kereste kurutma fırınları ekonomik olabildikleri görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal Enerji, Kereste Kurutma, Endüstriyel Uygulamalar

## 1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının en fazla kullanım alanlarından biri de hacim ısıtmasıdır. Jeotermal enerji ile her türlü hacmi kolaylıkla ısıtmak mümkündür(TJD,2006). Jeotermal enerjinin düşük enerji maliyeti ve kereste kurutma için gerekli sıcaklığı sağlayacak yeterli jeotermal kaynakların ülkemizde bulunması, jeotermal enerji ile ülkemizde de kereste kurutmacılığının yapılabileceği fikrini ortaya çıkarmıştır. Jeotermal enerji ile dünyanın birçok ülkesinde ticari kereste kurutmacılığı yapılmakta ve büyük enerji tasarrufları sağlanmaktadır (Lineau, 1990).

Jeotermal enerji ile kereste kurutmada, jeotermal akışkandan elde edilen ısı, ısıtıcılar içerisinden geçerken kurutma odasına ısı yaymakta ve bu ısı vantilatörler tarafından kereste istifi üzerine verilmektedir (Lund, Rangel, 1995). Bu işlem klasik kereste kurutma fırınlarındaki sıcak sulu ısıtma sistemleriyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Mevcut sıcak su kullanan klasik kereste kurutma fırınları, fırının yapısında çok az değişiklik yaparak ve gerekli elemanların ilavesi ile jeotermal enerji kullanır hale getirilebilir ve ekonomik bir uygulama sağlanabilir. Bu çalışmada jeotermal enerji ile kereste kurutmanın ekonomik analizini yapmak için; sıcak su ile ısıtılan 2 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup> ve 60 m<sup>3</sup>lük klasik kereste kurutma fırınlarına ait elektrikli, fuel-oilli ve katı yakıtlı ısıtma sistemleri ile aynı işi yapabilecek olan 100°C, 15 l/s'lik ve maksimum 630 kW ısı verebilecek jeotermal akışkandan ısı sağlayan aynı boyutlardaki fırınlara göre ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yönüyle karşılaştırılmıştır.

## 2. Araştırma Modeli

Jeotermal akışkanın sıcaklığı fırın içerisindeki havanın sıcaklığından en az 10 °C-20 °C fazla olması gerekir(Lund,1995). Bu da kereste kurutma da kullanılacak jeotermal akışkanın sıcaklığının ortalama olarak 95 °C-115 °C olmasını gerekli kılar. Bu verilere göre ülkemizde jeotermal enerji ile kereste kurutma klasik teknik kurutmanın uygulanabilirliğini saha sıcaklıkları bakımından öne çıkarmaktadır. Bu yüzden araştırmadaki hesaplamalarda klasik teknik kurutma sistemi esas alınmıştır.

Jeotermal enerji ile çalışabilecek klasik kereste kurutma fırınlarının diğer enerjilerle çalışan klasik kereste kurutma fırınlarıyla karşılaştırarak ekonomik analizinin yapılabilmesi için, ilk önce 3 adet değişik kapasitelerde klasik kereste fırını belirlenmiştir. Gerekli ısı ihtiyacının hesaplanmasında kullanılacak bir kereste türü belirlenmiş ve buna ait kurutma programı ortaya konulmuştur. Bütün bunların bu bölümde açıklanma sebebi jeotermal enerji ile çalışabilecek klasik kereste kurutma fırınlarının ekonomik analizinin yapılmasında kullanılan kabullerin açıklanmasıdır. Bu kabullere göre istatistiksel işlemler yapılarak jeotermal enerji ile çalışabilecek klasik kereste kurutma fırınlarının ekonomik analizi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

## 3. Bulgular

İşletme maliyeti olarak klasik kereste kurutma fırınlarına ısı sağlayan kazan sistemlerde ana girdi yakıttır. Kereste üreten bir tesiste ortaya çıkan biçme artıkları yakıt olarak kullanıldığı zaman bir yakıt ücreti ödenmediği düşünülebilir. Ancak bu artık maddeler diğer alanlarda kullanıla-

bildikleri için bir ekonomik değer taşırlar. Ayrıca biçme artıklarının yakılması sırasında azami verimin alınabilmesi için yeknesak bir tane büyüklüğüne ulaştırılması ve kurutulması gerekir (Kantay, 1985). Bu sebeplerden dolayı biçme artıklarının işletmeye ek bir maliyet getireceği açıktır. Bu yüzden araştırmada biçme artıklarıyla çalışan bir tesiste işletme maliyeti hesaplanırken katı yakıt (kömür) fiyatları esas alınmıştır (Tablo 3.1.).

karşılıyıp karşılamadığı işletme maliyetlerinin değerlendirilmesi bölümünde açıklanmaya çalışılmıştır.

Jeotermal enerji kullanabilen kereste kurutma fırınlarının ısıtma sisteminin, klasik ısıtma sistemleriyle ilk yatırım ve işletme giderleri açısından karşılaştırılması için enerji fiyat değişimlerinin incelenip trend analizi yapılarak trend denklemlerinin bulunması ve önümüzdeki yıllara ait fiyatların bu denklemler yardımıyla

Tablo 3.1. Bazı yakıtların Alt Isıl Değerleri ve Ocak Verimleri (Güneş, 1986).

Sıra No	Enerjinin Adı	Alt Isıl Değeri	Ocak Verimi
1	KatıYakıt (Ortalama)	2850 Kcal/kg	0.60
2	Fuel Oil	10200 Kcal/kg	0.80
3	Elektrik	860 Kcal/kWh	0.98

Uludağ Göknarı kerestesi üzerinde yapılan kurutma programına göre gerekli ısı enerjisi (Örs 1986) eşitliklerle hesaplandığında gerekli ısı enerjisi miktarı bulunur.

Tablo 3.2.'de görüldüğü gibi, 1 m<sup>3</sup> kereste kurutmak için gerekli enerji kereste kurutma fırının kapasitesi düştükçe artmaktadır. Bu da küçük kapasiteli kereste kurutma fırınlarının 1 m<sup>3</sup> kereste kurutmak için daha çok enerjiye ihtiyaçları olduğunu göstermektedir.

tahmin edilmesi gerekir.

Trend denklemleri kullanılarak 10 yıllık işletme maliyetlerine göre enerji fiyat tahminlerinin ilk yatırım tutarlarının üzerine konulması ile elde edilen bilgisayar grafikleriyle çeşitli enerjilerle çalışan sistemler karşılaştırılmıştır.

Jeotermal enerji ile çalışan kereste kurutma fırının ilk yatırım fazlalığına rağmen işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle 1 yıllık bir süre sonunda elektrik enerjisine karşı avantaj-

Tablo 3.2. Uludağ Göknarının Kurutulması İçin Gerekli Hesaplanan Yıllık Enerji İhtiyacı

Sıra No	Fırın Kapasitesi	Yıllık Enerji İhtiyacı
1	2 m <sup>3</sup>	63.600.000 Kcal
2	20 m <sup>3</sup>	424.000.000 Kcal
3	60 m <sup>3</sup>	1.060.000.000 Kcal

Jeotermal enerjinin ilk yatırım tutarının yüksek olduğu da yadsınamaz bir gerçektir. İlk yatırım tutarının fazlalığının işletme maliyetinden elde edilen karı

lı duruma gelmekte, 3 yıl sonunda ise fuel oil ve katı yakıt avantajlı duruma geçmektedir(Erden,1998).

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünyada kullanılan kereste kurutma sistemleri incelendiğinde mevcut kereste kurutma fırınlarının % 80'ninden fazlasının klasik metotla çalıştığı görülmüştür. Jeotermal enerji ile kereste kurutmada, jeotermal akışkandan elde edilen ısı, ısıtıcılar içerisinden geçerken kurutma odasına ısı yaymakta ve bu ısı vantilatörler tarafından kereste istifi üzerine verilmektedir. Bu işlem klasik kereste kurutma fırınlarındaki sıcak sulu ısıtma sistemleriyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Mevcut sıcak su kullanan klasik kereste kurutma fırınları, fırının yapısında çok az değişiklik yaparak ve gerekli elemanların ilavesi ile jeotermal enerji kullanır hale getirilebilir.

Jeotermal enerji ile kereste kurutmanın ekonomik analizini yapmak için; sıcak su ile ısıtılan 2 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup> ve 60 m<sup>3</sup>'lük klasik kereste kurutma fırınlarına ait elektrikli, fuel-oilli ve katı yakıtlı ısıtma sistemleri ile aynı işi yapabilecek olan 100°C, 15 l/s'lik ve maksimum 630 kW ısı verebilecek jeotermal akışkandan ısı sağlayan aynı boyutlardaki fırınlara göre ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yönüyle karşılaştırılmıştır.

Jeotermal enerji ile çalışan kereste kurutma fırını ancak 20m<sup>3</sup>'lük fırınlarda ekonomik olmaya başlamaktadır. Daha küçük kapasiteli bir tek kereste kurutma fırını için jeotermal enerji uygulaması ilk yatırım fiyatının yüksekliği nedeniyle ekonomik değildir. Ancak 2m<sup>3</sup>'lük 10 adet kereste kurutma fırınına ısı sağlayacak bir jeotermal tesis ekonomik olacaktır. 20m<sup>3</sup> ve daha fazla kapasiteye sahip Jeotermal enerji kullanan kereste kurutma fırınları işletme maliyetinin düşüklüğü nedeniyle ilk yatırım tutarını bir süre sonra amorti etmekte ve avantajlı duruma geçmektedirler.

## KAYNAKLAR

Lineau, P., *Small Geothermal Resources - A guide to development and utilisation, Industrial Applications*, UNITAR / UNDP, Rome,1990.

Lund, W. J., Rangel, A. M., *Pilot fruit drier for the los azufres geothermal field, Mexico*, World Geothermal Congress, Florence,1995.

TJD, *Ucuz Isınma, Temiz Hava için; Jeotermal Merkezi Isıtmanın Dünyada ve Türkiye'deki Durumu ve Ekonomisi*, Türkiye Jeotermal Derneği., Ankara,2006.

Kantay, R., *Ağaç malzeme kurutma fırınlarında ısı tüketiminin azaltılmasına yönelik yeni gelişmeler*, Isı Bilim ve Tekniği VI. Ulusal Kongresi, Ankara,1985.

Erden,O., " Türkiye'de Jeotermal Enerji ile kereste kurutma" G.Ü. E.S.E.F. Dergisi,Sayı 6, Ankara, 1998.

# AFJET AFYON ŞEHİR İÇİ JEOTERMAL ISITMA ŞEBEKESİNDEKİ KOROZYON PROBLEMLERİNİN TESPİTİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

**Pelin HOŐHAN**

*Türkiye Petrolleri A.O. Araştırma Merkezi ,Ankara*

**Oktay AKAT**

*Türkiye Korozyon Derneği, Ankara*

## ÖZET

Isıtma kaynağı olarak Jeotermal suyun kullanıldığı Afjet Afyon Şehir içi Isıtma Şebekesindeki korozyon olayının artış nedenlerinin tespit edilmesi ve yerinde analizlerin yapılarak problemlere çözüm getirilmesi amacıyla geniş kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Afjet Afyon Şehir içi ısıtma sistemindeki korozyon problemlerinin yerinde incelenmesi ve gerekli analizlerin yapılması sonucunda Afjet ısı merkezinden Şehre giden gidiş ve Őehirden dönen dönüş hattında taşınan çözünmüş iyonlar içeren ve iletkenliği yüksek olan su içinde korozyon açısından önemli olan çözünmüş CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> değerlerinin yüksek olduğu; bu özelliğin suyun sıcaklığı ile birlikte boru hattında ciddi boyutta korozyona neden olduğu tespit edilmiştir. Bu hatlarda kullanılan ST 37 çelik borunun mevcut işletme Şartlarında korozyona dayanıklı olmadığı , "fiberglass" boruların (FRP) korozyon kontrolü için Őimdiye dek kullanılmakta olan ST 37 çelik borulara oranla daha etkili olacağı sonucu çıkarılmıştır.

## 1- GİRİŞ

Bu çalışmada Isıtma kaynağı olarak Jeotermal suyun kullanıldığı Afyon Şehir içi Isıtma şebekesindeki korozyon olayının nedenlerini tespit ve yerinde analizlerin yapılması amacıyla Afjet Tesisleri'nde çalışılmıştır.

Bu kapsamda öncelikle yerinde incelemelerde bulunulmuş sistemdeki korozyon olayı değerlendirilmiştir. Daha sonra da bunun sebeplerini araştırmak ve tespit etmek için Jeotermal kuyuları temsilen Jeotermal su toplama havuzundaki suda, şehre verilen ve 70 m derinlikte bir kuyudan çıkarılan şebeke suyunda ve şehir şebekesi hattı içinde kapalı devre dolaşarak ısı merkezine dönen hattaki şebeke suyunda yerinde analizler yapılarak gözlemlerde bulunulmuş; bu noktalardan alınan ve TPAO Araştırma Merkezi Üretim Teknolojisi Laboratuvarları'na getirilen su örneklerinde kimyasal analizler yapılmış, korozyon ve birikinti oluşturma eğilimleri incelenmiştir.

Ayrıca şehir şebekesine giden ve dönen hatlarda iç korozyon nedeni ile korozyona uğrayan borulardan korozyon örnekleri alınarak ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) ve XRF (X Işınları Floresans Spektrometresi) cihazları ile analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılarak sorunların çözümleri için alternatif önerilerde bulunulmuştur.

## 2- KAPALI SİSTEM DOLAŞIM HATLARINDA KOROZYONUN OLUŞMA MEKANİZMASI

Su içinde çözünmüş olarak bulunan gazlar korozyondan birinci derecede sorumludurlar. Bunlar oksijen, karbondiok-

sit ve hidrojen sülfürdür. Yüksek miktarda tuzluluk (özellikle klorürler) içeren sular da boru iç yüzeyinde korozyonu önleyecek etkinlikte kalsiyum karbonat filmi oluşması beklenemez. Bunun yerine su ile taşınan koloidal parçacıklar ve kirlilik belirli noktalarda çökelerek, buralarda ayrıışan kalsiyum karbonat birikintilerinin süresiz ve boşluklu bir yapı ile oluşmasını sonuçlar.

Çökeltilerin kapladığı alanlar çevreleri ile pil oluşturarak (farklı havalandırma hücreleri), korozyonun birikintiler altında yoğunlaşmasına ve boru duvarının bu noktalarda incelenerek uzun vadede delinmelerine yol açarlar. Karbondioksit bakımından zengin olan sular, boru iç yüzeyinde koruyucu kalsiyum karbonat filmi oluşmasını önler. Bu gelişme sonucu doğrudan ortama terkedilen çelik yüzeyde korozyon meydana gelir.

Korozyonu belirleyen faktör suda çözünmüş olarak bulunan oksijen ve suyun pH değeridir. Özellikle, sıcak sular da karbondioksit etkisi artan asitlik (pH değerinde düşme) ile kendini gösterir. Suda bulunan hidrojen sülfür anodik bölgelerde depolarizasyonu hızlandırarak korozyon olayına katkıda bulunur (Patton, 1993), (NACE, 1979), (Loyd, 1992), (Franco, 1995).

## 3- AFJET MERKEZİ ISITMA SİSTEMİ

Afjet Afyon ısı değişim ve dağıtım merkezi ile ısıtılan konutlar arasında mevcut tesis edilmiş toplam 29954 m değişik çaplarda çelik borulu şebeke bulunmaktadır. Bu borular ısıtılmış sıcak suyu beş ayrı bölgeye taşımakta ve geri getirmektedir. Kapalı devrelerdeki su sirkülasyonu şebekedeki ısı ihtiyacını karşılayacak şekilde pompa debilerini ayarlayabilen frekans konvertörlü elektrik motorları



ile sağlanmaktadır. Her devre üzerinde müstakil eşanjörler bulunmaktadır. Eşanjörlerin ısıtılması ısı merkezine getirilen jeotermal sıcak su ile sağlanmaktadır. Burada eşanjör girişleri 90 °C ve çıkışları da 45 °C civarındadır. Bölgelere ısı ileten borular ısı izolasyonlu olup dönüş boruları çıplaktır. Sıcak su taşıyan boruların çıkıştaki sıcaklığı 60 °C, dönüşte de 45 °C civarındadır.

Taşınılan sıcak suyun sıcaklığına göre çıkış borularında değişik basınçlar dolayısıyla debiler uygulanmaktadır. Her bölge çıkışının başında, tesisata bağlı bir denge deposu bulunmaktadır. Bu depolar tesisattaki statik yüksekliği karşılamak üzere basınç altındadırlar. Deponun üst kısmında basınçlı hava, alt kısmında ise su bulunmaktadır. Deponun üzerinde bulunan sıkıştırılmış havanın yarattığı basınç ile su, şehir tesisatındaki en yüksek noktaya kadar bütün sistemi doldurabilmektedir. İstenilen basıncın sağlanabilmesi için depolara kompresörle hava basılmaktadır. Deponun alt tarafındaki su, sistemde dolaşan su ile bağlantı halindedir. Isınma nedeniyle tesisattaki su genleştiğinde; bu depolarda seviye yükselmekte, soğuma hacmi azaldığından buradan karşılanmaktadır.

#### **4 - SİSTEMİN KOROZYON AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN YERİNDE YAPILAN ÖN İNCELEME SONUÇLARI**

Afjet tesislerinde şebekede yapılan ön incelemelerden elde edilen bulgularla sistemin durumu özetlenecek olursa; şebeke üzerinde açılan bir noktada apartman giriş ve çıkış borularının bakır-bakır sülfat referans elektroduna göre dış yüzeyinin potansiyeli ölçülmüş ve -570 mV

olarak bulunmuştur. Bu bulgu katodik koruma uygulanmadığını göstermektedir (Baeckmann, Schwenk ve Prinz, 1997), (Morgan, 1993).

Isı merkezi çıkışındaki flanşların elektiriksel yönden izole olmadığı saptanmıştır. Şebeke borularının dış yüzeylerinin korozyona karşı herhangi bir yöntemle korunmadığı görülmüştür. Apartman giriş ve çıkış borularının uygun plastik borularla değiştirildiği ve bundan sonra su kayıplarının 200 m<sup>3</sup>/gün iken 120-130m<sup>3</sup>/gün'e kadar azaldığı yetkililerce ifade edilmiştir. Şebeke üstündeki kazılardan ve sökülmüş boruların incelenmesinden, delinmelerin çoğunlukla iç korozyondan meydana geldiği görülmüş olup bu hasarlar görüntülenmiştir.Önemli bulunan numuneler laboratuvarında incelenmek üzere alınmıştır. Şebeke üzerinden çıkarılmış bulunan çelik borunun, doğrudan kaçak akım korozyonu nedeniyle delindiği belirlenmiştir. (Bundan önceki bina giriş ve çıkış borularında elektrik kaçaklarını önleyecek izole flanşlar kullanılmamıştır.) Sistemdeki kaçak suyun, ısı merkezindeki klorürü oldukça zengin, derin kuyudan alınan su ile tamamlandığı belirlenmiştir. Şebekedeki kaçaklar nedeniyle iç korozyonu önleyecek inhibitör uygulaması yapılamamıştır. Şebeke borularındaki boşalmalar nedeni ile denge deposuna sık sık hava basıldığı, bu nedenle ısıtma şebekesindeki boruların içindeki suda bol miktarda oksijen bulunduğu tahmin edilmektedir. Şebeke dönüş borularında kullanılan bitüm esaslı kaplamada cam tülü ile yeterince destek görülmemiştir.

#### **5- AFJET TESİSLERİNDE YERİNDE YAPILAN ANALİZLER**

Afjet Tesislerinde korozyona uğrayan şehir şebeke gidiş ve dönüş borularında

iç korozyonun olduğu tespit edilmiştir. İç korozyonun nedenini tespit için Jeotermal kuyuları temsilen Jeotermal su toplama havuzundaki suda, şehre verilen ve 70 m derinlikte bir kuyudan çıkarılan şebeke suyunda ve şehir şebekesi hattı içinde kapalı devre dolaşarak ısı merkezine dönen hattaki şebeke suyunda yapılan yerinde analizlerde sisteme verilen su içerisinde çözülmüş halde bulunan gazların ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2S$ ) iç korozyona neden olduğu bilindiğinden, adı geçen noktalarda çözülmüş gaz analizleri yanında pH, sıcaklık, karbonat, bikarbonat değerleri de tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Afjet tesislerinde yerinde

Parametre	Jeotermal Havuz	Şehre Verilen Şebeke Suyu	Hat İçi Dolaşan Su
pH / °C	8,31 / 48,7	7,49 / 22,5	8,24 / 27
$CO_3$ , (ppm)	74,5	0	37,25
$HCO_3$ , (ppm)	1060,4	469,61	772,58
Çözülmüş $O_2$ , (ppm)	2	0,2	3
Çözülmüş $CO_2$ , (ppm)	200000	20	192000
Çözülmüş Kükürt, (ppm)	0	0	0
Sistem İşletim Sıcaklığı (°C)	95-98	65	45
Tuzluluk (ppm)	2403	186	2470

yapılan analizler

Korozyon açısından suda çözülmüş gazların ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2S$ ) önemi bilinmektedir. Çizelge 1.'de verilen analiz sonuçlarından Jeotermal havuz ve hat içi dolaşan suda çözülmüş  $CO_2$  konsantrasyonunun sırasıyla 200000 ve 192000 ppm , çözülmüş oksijen miktarının 2 ve 3 ppm gibi korozyon açısından aşırı yüksek

olduğu görülmektedir. Bunun yanında kuyudan çıkarılan ve şehre verilen şebeke suyunun çözülmüş  $CO_2$  miktarı 20 ppm ve çözülmüş  $O_2$  miktarı 0,2 ppm dir. Her üç noktada yapılan analizlerin sonucunda  $CO_2$  ve  $O_2$  konsantrasyonunun korozyon açısından sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. Jeotermal havuzdan alınan suyun arada bir kaçakları tamamlamak için şehir şebeke suyuna katılması ve bu işlemler sırasında sisteme hava girişi gibi nedenlerden dolayı hat içi dolaşan suyun içindeki çözülmüş  $O_2$  ve  $CO_2$  miktarını arttırdığı görülmektedir. Ayrıca bu gazların yanında şehre verilen şebeke suyuna oranla tuzluluğu 14 kat daha yüksek olan jeotermal suyun kaçakları önlemek için şebeke suyuna takviye edilmesi ve sıcaklığın 65 °C civarında olmasının da hat içi dolaşan suya oldukça korozif bir özellik kazandırdığı görülmektedir.

Bu gazlardan özellikle  $O_2$  korozyon açısından çok tehlikelidir. Çünkü  $O_2$  katot polarizasyonunu geciktirmekte ve demir iyonlarının oksit şeklinde çökmesine neden olmaktadır.Korozyonun önlenmesi için sudaki çözülmüş  $O_2$  değerinin 20 ppb'den yüksek olmaması gerekmektedir (Patton, 1993), (NACE, 1979), (Loyd, 1992), (Franco, 1995).

## 6- KOROZYONA UĞRAYAN ŞEHİR ŞEBEKESİ GİDİŞ VE DÖNÜŞ BORULARINDA TAŞINAN SUYUN ANALİZİ

Jeotermal kuyuları temsilen Jeotermal su toplama havuzundan, şehre verilen 70 m derinlikte bir kuyudan çıkarılan şebeke suyu ve şehir şebekesi hattı içinde kapalı devre dolaşarak ısı merkezine dönen hattaki şebeke suyundan alınan örnekler, TPAO Araştırma Merkezi Üretim Teknolojisi Müdürlüğü Laboratuvarları'na getirilerek kimyasal analizleri yapılmıştır, ayrıca Örnekleme yapılan noktalarda proses basınç ve sıcaklık şartlarında su örneklerinin birikinti oluşturma eğilimleri belirlemek için Oddo Thomson (1998) 'dan bilgisayarda uygulanmış Excel programı kullanılmıştır. Adı geçen software programında üretim hacmi, su kimyasını ve örnekleme noktası sıcaklık ve basınçları kullanarak SI doygunluk indeksleri hesaplanmaktadır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de, birikinti oluşturma eğilimi ise Çizelge 3'de verilmişlerdir. Çizelge 2'deki analiz sonuçlarından hat içi dolaşan su, başlangıçta kuyudan şebekeye verilen suyun özelliklerinden oldukça uzaktır. Hatta, kaçakları tamamlamak amacı ile zamanla jeotermal suyun şebeke suyuna ilave edilmesi nedeni ile jeotermal suyun özelliklerine yakın hale geldiği görülmektedir.

Jeotermal su ve hat içi dolaşan su sodyumlu, bikarbonatlı, sülfatlı, klorürlü, aşırı miktarda çözünmüş CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, içeren korozif sıcak sulardır. Çizelge 3'den suların birikinti oluşturma eğilimlerine bakılacak olursa, her üç su örneği de CaCO<sub>3</sub> tipi birikinti oluşturma eğiliminde olup, jeotermal su ve hat içi dolaşan suyun BaSO<sub>4</sub> oluşturma eğilimi de mevcuttur.

Çizelge 2. Afjet tesislerinden alınan su örneklerinde yapılan analizler

Özellik	Jeotermal Havuz	Kuyudan Gelen ve Şehre Verilen Şebeke Suyu	Hat İçi Dolaşan Su*
pH / °C	8,31 / 48,7	7,49 / 22,5	8,24 / 27
İletkenlik (µs/cm)/°C	10310 / 24,6	1780 / 26,2	9390 / 24,4
Sodyum, (mg/l)	1458	112,7	1499
Potasyum, (mg/l)	133	39,89	56,6
Kalsiyum, (mg/l)	123,4	147,3	22,23
Magnezyum, (mg/l)	10,25	49,37	10,59
Baryum, (mg/l)	0,13	0,08	0,2
Demir, (mg/l)	0,2	0,29	2,07
Stronsiyum, (mg/l)	4,78	2,21	2,2
Klorür, (mg/l)	1589	243	1694,45
Sülfat, (mg/l)	518,49	107	452,65
Karbonat, (mg/l)	74,5	0	37,25
Bikarbonat, (mg/l)	1060,4	484,76	772,58
Suyun Tuzluluğu (mg/l)	2403	186	2470

\* Sistem 14 mayıstan itibaren işleme kapatıldığından ısı merkezine dönüş hattında, borularda kalan sudan alınmıştır.

Parametre	Jeotermal Havuz	Kuyudan Şehre verilen Şebeke Suyu	Hat içi Dolanan ve Isı Merkezine Dönen Şebeke Suyu
pH /° C	10,91	9,37	10,15
T (°F)	208	149	113
P (psi)	8,82	29,4	29,4
CaSO <sub>4</sub> (Anhidrit) SI	-0,81	-1,71	-2,27
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (Gypsum) SI	-1,41	-2,06	-2,26
SrSO <sub>4</sub> (Calestite) SI	-0,56	-1,60	-1,16
BaSO <sub>4</sub> (Barite) SI	0,27	-0,37	0,52
CaSO <sub>4</sub> .1/2H <sub>2</sub> O SI	-1,3	-1,87	-2,11
CaCO <sub>3</sub> SI	5,64	3,49	3,17

Çizelge 3. Su örneklerinde birikinti oluşturma eğiliminin belirlenmesi için hesaplanan (SI) doygunluk indeksleri

## 7- KOROZYONA UĞRAYAN ŞEHİR ŞEBEKESİ BORU ÖRNEKLERİNDE YAPILAN ANALİZLER

Şehre verilen şebeke suyu dışı izolasyonlu ST 37 çelik boru ile taşınmaktadır. İç korozyona uğrayan 450 mm çapındaki boru örneğinin 25.05.2006 tarihinde çekilen fotoğrafı Şekil 1'de , yine iç korozyona uğradığı görülen şehir şebekesinden ısı merkezine dönen ve izolasyonsuz ST 37 çelik boru örneğinin fotoğrafı da

Şekil 2'de verilmiştir.

Korozyonun sebeplerinin belirlenmesi ve sahada yerinde yapılan analiz sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmesi amacıyla, korozyona uğrayan Şekil 1. ve 2'de fotoğrafı görülen boruların iç kısmından alınan korozyon ürünlerinin ICP-OES (İndüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) ve XRF (X Işınları Floresans Spektrometresi) teknikleri ile analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



**Şekil 1. İç korozyona uğrayan izolasyonlu şehir şebeke gidiş borusunun fotoğrafı**



**Şekil 2. İç korozyona uğrayan izolasyonsuz şehir şebeke dönüş borusunun fotoğrafı**

### 7.1- ICP-OES ve XRF Analizleri

450 mm çapındaki gidiş ve dönüş hattında korozyona uğrayan boru örneklerinin iç kısmındaki delinmek üzere olan bölümden alınan iki adet korozyon ürünü örneği hidroklorik asit ile çözüldürüldükten sonra İndüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi ile (ICP-OES) elementel analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

**Çizelge 4. ICP-OES analiz sonuçları**

Numune Tanımı	ICP-OES Analiz Sonuçları (% Elementel, Ağırlıkça )	
	İzolasyonlu Şehir Şebeke Gidiş Borusu	İzolasyonsuz Şehir Şebeke Dönüş Borusu
Boru Korozyon Ürünleri	Na : 0,068	Na : 0,08
	Ca: 12,08	Ca: 4,03
	Mg : 0,43	Mg : 0,31
	Fe : 36,42	Fe : 32,65
	K : 0,0204	K : 0,073
	Al : 0,070	Al : 2,4
	Cr : 0,0016	Cr : 0,0008
	Cu : 0,017	Cu : 0,008
Mn : 0,27	Mn : 0,13	

Çizelge 4'deki analiz sonuçlarından her iki örneğin de ağırlıkça yüksek oranda demir elementi içerdiği, bunun yanında miktar bakımından kalsiyumun ikinci element olarak bulunduğu Na, Mg, K, Al, Cr, Cu, Mn gibi elementlerin ise eser miktarda olduğu görülmektedir.

Aynı örnekler katı halde X-ışını Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı ile de analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5'deki sonuçlara göre baskın bileşik olarak gidiş hattından alınan örnekte % 56,42, dönüş hattından alınan örnekte ise % 49,48 oranında  $Fe_2O_3$  bulunmuştur. Korozyon ürünü örneklerinin bu mineralleri takiben düşük oranlarda CaO,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , MgO ve diğer oksit bileşikleri içerdiği görülmektedir.

Çizelge 5. XRF analiz sonuçları

Numune Tanımı	XRF Analiz Sonuçları ( % Bileşen, Ağırlıkça )	
	İzolasyonlu Şehir Şebeke Gidiş Borusu	İzolasyonsuz Şehir Şebeke Dönüş Borusu
Boru Korozyon Ürünleri	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 56,42	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 49,48
	CaO : 22,18	CaO : 4,67
	MgO : 0,22	MgO : 0,59
	SiO <sub>2</sub> : 3,27	SiO <sub>2</sub> : 3,59
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0,08	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0,40
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 4,91
	MnO : 0,30	MnO : 0,12
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,018	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,02
	CuO : 0,021	CuO : 0,015
	K <sub>2</sub> O : < 0,02	K <sub>2</sub> O : 1,27
	ZrO <sub>2</sub> : 1,17	ZrO <sub>2</sub> : 0,6
SO <sub>3</sub> : 0,25	SO <sub>3</sub> : 0,16	

Çizelge 5. XRF analiz sonuçları

## 8- AFJET MERKEZİ ISITMA SİSTEMİNDE KOROZYONUN ÖNLENMESİ İÇİN ÖNERİLER

Başlangıçta su içinde bulunan çözünmüş oksijen korozyonla harcanarak etkisini kısa sürede kaybeder. Bu safhada oluşan korozyon reaksiyonu çelik yüzeyin alkalinitesini arttırır, ve boru yüzeyinde ince bir kalsiyum karbonat filminin oluşmasını sağlar. Oksijenini tümüyle kaybeden suyun korozyon etkinliği içerdiği hidrojen iyonlarının azlığı nedeni ile fevkalade sınırlıdır.

Dolaşım hattı işletmeye alınırken tasviye edilmiş (yumuşatılmış ve bazı korozyon unsurlardan arındırılmış) su ile doldurulmalıdır. Dolaşım hattından su kaçakları

önlenmeli, ve bu ve başka nedenlerle oluşan basınç düşmesi durumlarında sisteme basılacak katma (make-up) suyu miktarı en az düzeyde tutulmalıdır. Katma suyunun arıtılmış olması gerekir. Aksi halde katma suyu ile birlikte sisteme sürülen korozyon ve birikinti oluşturan unsurlar korozyon olayının yeniden başlamasını sağlar. Boru hatlarının boşaltılması durumunda, boşaltma ile yeniden doldurma arasındaki geçen süre olabildiğince kısa tutulmalıdır. Çünkü, boşaltılmış durumdaki boru hattında (hemen kurutma yapılmamışsa) çözünmüş oksijenin neden olduğu korozyon tehlikeli boyutlara ulaşabilir. Kapalı sistem boru hattına eşanjör kesiminde veya başka noktalarda tasviye edilmiş katma suyu dışında su girmesi kesinlikle önlenmelidir.

Yerinde yapılan tespitlerimize göre sistemdeki korozyon homojen dağılımlı olmayıp yerel aşınma ve delinmeler şeklinde etkinlik göstermektedir. Bu duruma göre boru şebekesinin kullanım ömrünü tamamladığı söylenebilir. Korozyona uğrayan boruların bazı kesimlerinin değiştirilmesi veya onarılması önerilmemektedir. Çünkü değiştirilmesi zorunlu hale gelen hat bölümlerinin belirlenmesi yer altında gömülü borular için oldukça güç ve pahalı işlemler gerektirmektedir.

Mevcut şebeke sıcak su hattının yeniden ST 37 çeliği malzemedeki tesis edilmesi ve mevcut altyapıdaki yetersizliklerle aynı işletme şartlarının devam etmesi durumunda korozyon olaylarının yine aynı boyutlarda büyük sorun olacağı kesindir. Ancak bu yol tercih edilirse alt yapıda yapılması gerekli değişiklik ve geliştirmelerin ayrıca ele alınıp projelendirilmesi gerekmekte ve boru şebekesi değişken debili sisteme göre tasarlanmalıdır. Son yıllarda jeotermal suları enerji kaynağı olarak kullanan (konutların ve

seraların ısıtılması vb.) uygulamalarda ST 37 çelik borulara alternatif olarak elyaf-la desteklenmiş fiberglass plastik (FRP) boruların kullanımı hem maliyet hem de işletme kolaylığı ve korozyona dayanıklılık açısından tercih edilmektedir (Conover, Ellis ve Curzon, 1982), (Ellis,1985).

## 9- SONUÇLAR

Korozyon problemlerinin yerinde incelenmesi ve gerekli analizlerin yapılması sonucunda Afjet Tesislerinde jeotermal kuyulardan gelen ve Jeotermal havuzda toplanan suda , kuyudan şehir şebeke hattına verilmek üzere çıkarılan suda ve hat içinde dolaşan ısı merkezine dönüş hattından alınan sudan yapılan analizlerin sonucunda CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> konsantrasyonunun korozyon açısından sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. Afjet şehir içi ısıtma tesisleri 14 Ekim- 14 Mayıs zaman aralığında çalışmakta, bundan sonraki 4 ay boyunca Afjet ısı merkezine kapalı devre olarak bağlı şehir şebeke hattı içerisindeki su boşaltılmakta ve dolayısı ile bu süre zarfında boru içinde oksijen korozyonu artmaktadır. Jeotermal havuzdan alınan suyun arada bir kaçakları tamamlamak için şehir şebeke suyuna katılması ve bu işlemler sırasında sisteme hava girişi gibi nedenlerden dolayı, hat içi dolaşan suyun içindeki çözünmüş O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> miktarını arttırdığı görülmektedir. Ayrıca bu gazların yanında şehre verilen şebeke suyuna oranla tuzluluğu 14 kat daha yüksek olan jeotermal suyun kaçakları önlemek için şebeke suyuna takviye edilmesi ve sıcaklığın 65 °C civarında olmasının da hat içi dolaşan suya oldukça koroziv bir özellik kazandırdığı tespit edilmiştir. Tüm bu durumların sistemde korozyonun hızlı bir biçimde oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Şebeke gidiş ve dönüş hatlarında korozyona uğrayan borulardan alınan korozyon ürünlerinin ICP-OES ve XRF tekniği ile yapılan analizlerin sonuçları da bu bulguları doğrulamaktadır. Sonuç olarak gerek yerinde gerekse laboratuvarında yapılan incelemeler ve analizlerden elde edilen bulgulara göre tespit edilen koroziv ortam için boru hatlarında kullanılan ST 37 çeliğinin uygun bir malzeme olmadığı görülmektedir. Bu malzeme yerine elyaf-la desteklenmiş fiberglass plastik (FRP) boruların kullanımı hem maliyet hem de işletme kolaylığı ve korozyona dayanıklılık açısından tercih edilmelidir. Adı geçen malzemenin mekanik özellikleri ve sıcaklığa dayanıklılığı son yapılan çalışmalarda oldukça iyileştirilmiştir. Bununla birlikte doğru kullanılmadıklarında şiddetli kopma ve kırılma gibi sorunları beraberinde getirebilmektedir. Ancak bu tip malzemeleri seçerken işletme basıncı ve sıcaklığına dikkat edilmelidir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, Afjet Tesisleri'nde yerinde inceleme ve tüm çalışmalarımız sırasında bilgi ve deneyimlerini aktaran ve destekleyen Afjet Genel Müdürü Sn Cahit Serteser, İşletme Mühendisi Sn Erhan Özşakacı'ya ve Sn Profesör Dr. Mustafa Doruk'a teşekkürlerini sunarlar.

## KAYNAKLAR

Patton, C.C. 1993, Corrosion Control in Water Injection Systems, *Materials Performance*, August

NACE,1979, *Corrosion Control in Petroleum Production*, TPC.5, Houston,Texas

Loyd, W.J. 1992, *Corrosion and Water Technology*, OGCI Publications, Oil and Gas Consultants International, Inc, june, Tulsa

Franco, R.J., 1995, Materials Selection for Produced Water Injection Piping, *Materials Performance*, January

Baeckmann, W.V., Schwenk, W, Prinz, W, 1997, *Handbook of Cathodic Corrosion Protection*, third edition, 1997, Houston, Texas

Morgan, J, 1993, *Cathodic Protection*, second edition, NACE Houston ,Texas

Conover,M.F., Ellis,P.F, Curzon, A, 1982, *Material Selection Guidelines for Jeotermal System*, Radian

Corparation, Austin, Texas

Ellis,P.F, 1985, Companion Study Guide to Short Course on Jeotermal Corrosion and Mitigation in Low Temperature Geothermal Heating Systems, Radian Corporation, Austin,Texas



# FARKLI ENERJİ KAYNAKLARININ KONUT ISITMASINDA EKONOMİK ANALİZİ

Rüştü GÜNTÜRKÜN<sup>1</sup>

Hasan ŞAHİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi, KÜTAHYA

<sup>2</sup>Dumlupınar Üniversitesi Simav Meslek Yüksek Okulu, KÜTAHYA

## ÖZET

Bu çalışmada; 2552 m<sup>2</sup> alana sahip konutlar örnek alınarak, bu konutların kömür ve jeotermal enerji gibi farklı enerji kaynağı ile ısıtılabilmesi için gerekli ilk yatırım ve yıllık ısınma maliyetleri incelenmiştir. Ayrıca, binaların ısıtılmasında jeotermal enerjiden faydalanılmasının ekonomik olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için 2552 m<sup>2</sup>'lik bir alanın ısıtılmasında kullanılan yakıtların ekonomik analizi yapılmıştır. Yapılan ekonomik analiz sonucunda, jeotermal enerji ile ısınmanın diğer alternatif enerji kaynaklarına göre daha ekonomik olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif Enerji Kaynağı, Ekonomik Analiz, Jeotermal Enerji, Simav.

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik açıdan giderek gelişmeleri, enerjiye olan ihtiyaçları da hızla arttırmaktadır. Bu nedenle ülkeler, bir yandan alışılmış enerji kaynaklarından daha ekonomik yararlanma yollarını, diğer yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarından daha kapsamlı olarak faydalanma şekillerini araştırmaktadırlar. Gerçekten de araştırmacılar, son yıllarda jeotermal, güneş, rüzgâr ve gel-git gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile daha fazla ilgilenmekte ve söz konusu kaynaklardan, daha ekonomik olarak yararlanmak için araştırmalar yapmaktadırlar [1].

Konuya bu açıdan bakıldığında, Dünya'da enerji ihtiyacının hızla artışı, geleneksel enerji kaynaklarının dışında, yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmuştur. Söz konusu yeni enerji kaynaklarının biri de jeotermal enerjidir. Enerji kaynaklarının ekonomik olarak kullanılabilirliğinin temelinde, enerji üretim maliyetleri yer almaktadır. Bu çalışmada, modern işletmeciliğinin koşulu olarak ele alınan uygun karar alma sürecinde kullanılan güvenilir yöntemler, ekonomik analiz yöntemleri altında incelenmektedir. Kütahya'nın Simav ilçesinde jeotermal enerji ve kömür ile konut ısınmasında, ilk yatırım maliyetleri ile birim ısıtma giderleri belirlenmiş ve bu giderlerin yıllara göre değişimleri incelenmiştir.

İnsanlar, tükenmeyen, temiz ve elde edilmesi düşük maliyetli enerji kaynaklarına sahip olmak isterler. Kullanılacak enerji kaynağının belirlenmesi kolay değildir. Bütün sorunları çözecek, kirlenmeye yol açmayan ve ucuz olacak bir enerji kaynağı henüz bulunamamıştır. Gaz, petrol, kömür, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji gibi kaynakların hepsi avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Enerji kaynaklarının gelecek yıllardaki kullanımı dü-

şünüldüğünde, daha temiz bir çevre için güvenli, ucuz ve halk sağlığını tehlikeye düşürmeyen kaynaklara gereksim duyulduğu açıktır. Petrol, kömür ve nükleer enerjinin atıkları ortadan kaldırılabılır ya da çevresel, güvenlik ve işçilik maliyetlerini de içeren, kapsamlı bir maliyet muhasebesi yapılırsa, yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetinin fosil ve nükleer kaynaklardan daha az olduğu görülecektir [2].

Isı ve elektrik enerjisi olarak kullanılan jeotermal enerji potansiyeli bakımından Türkiye, Dünya'nın 7. ülkesidir. Jeotermal enerjinin kullanımı sıvı ve buhar ağırlıklı hidro termal sirkülasyona dayanmaktadır. Düşük ve orta entalpili kaynaklar ısıtma amaçlı, yüksek entalpili kaynaklar ise elektrik enerjisi üretimi amacı ile kullanılabilir. Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de, ağırlıklı olarak Ege (Özellikle Aydın, Çanakkale, Denizli, İzmir, Kütahya), Kuzey Batı Anadolu ve Orta Anadolu'da bulunan 170 jeotermal saha belirlenmiş olup, bunların sadece %5'i yüksek entalpili (yüksek basınç ve sıcaklığa sahip akışkan) sahalarıdır. Türkiye'nin elektrik üretimi amacı ile kullanılabilir jeotermal kapasitesi 350 MW olup, elektrik enerjisi üretim kapasitesi yıllık 1.4 milyar kWh düzeyindedir. Ülkemizde Denizli-Kızıldere de yer alan tek jeotermal elektrik santrali 20.4 MW kurulu güçtedir [2]. Ülkemizde 2003 yılı itibarıyla jeotermal enerjiden elektrik üretimi 89 GWh, ısı üretimi ise 784 Bin Tep'dir [3].

Kömür; Dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmını oluşturan katı yakıttır. Katı yakıtlar arasında da en önemlileri taşkömürü ve linyittir. Türkiye'de taşkömürü rezervi Kuzey-Batı Anadolu karbonifer havzasında bulunmaktadır.

Bu havzada 2001 yılı sonu itibariyle 428 milyon tonu görünür olmak üzere, toplam 1.126 milyar ton taşkömürü rezervi vardır. Toros dağlarında ve Diyarbakır ili sınırları içerisinde günümüzde işletilmeyen ve 20 milyon ton olarak kestirilen bir ek taşkömürü rezervinden söz edilmektedir. Türkiye’de 7.339 milyar ton görünür olmak üzere, toplam 8.075 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır [3]. Ülkemizde kömür rezervlerinin artırılması için kömür oluşumları arama ve projelendirme çalışmalarını yeni bir düzenleme ile yeniden başlatmak gerekmektedir.

Ülkemizde halen işletmede olan 11 adet bölgesel ısıtma sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerin eşdeğer konut kapasiteleri, sistemlere entegre olan kullanımlar, işletmeye alınma yılları, kapasiteleri, kaynak sıcaklıkları ve kullanıcılar tarafından 100 m<sup>2</sup>’lik bir daireye 2003–2004 ısıtma sezonunda ödenen ücretler Çizelge 1.1’de verilmiştir [4, 5].

Çizelge incelendiğinde, en çok konut ısıtması yapılan yer, Balçova ve Narlıdere olduğu görülmektedir. Yapılan bu ısıtmanın toplam kapasitesi 76 MWt’dir. Bunun yanında en son işletmeye alınan yerleşim yeri Salihli olduğu ve toplam kapasitesinin de 142 MWt olduğu görülmektedir.

Halen Denizli ve Sarayköy bölgesel ısıtma sistemleri üzerinde çalışılmaktadır. Ülkemizde 1983’ten beri jeotermal bölgesel ısıtma sistemine bağlanan konut sayısı, yılda ortalama %23 oranında artmıştır [6].

Bu şartları sağlayan jeotermal enerji sahaları yeryüzü üzerinde sınırlı bölgelerde bulunmaktadır. Ülkemiz bu açıdan zengin bir potansiyele sahip olup, yapılan araştırmalarda bugüne kadar toplam ısıtma üretim kapasitesi 2420 MW olan 600’den fazla jeotermal kaynak belirlenmiştir. MTA’nın araştırmalarına göre ülkemizin muhtemel jeotermal potansiyeli 31500 MW’dır [7].

**Çizelge 1.1.** Ülkemizdeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve bazı işletme bilgileri [2004]

Şehir	İşletmeye Alınma Yılı	Isıtma Kapasitesi (eşdeğer Konut sayısı)	Entegre Olan Kullanımlar*	Jeotermal Akışkan Sıcaklığı (°C)	Toplam Kapasite (MWt)	Kullanıcıların Ödediği Aylık Ücret ** (ABD \$)
Gönen	1987	3400	K, E	80	11.42	34
<b>Simav</b>	<b>1992</b>	<b>3200</b>	<b>K, S</b>	<b>120</b>	<b>126.44</b>	<b>33</b>
Kırşehir	1994	1800	K	57	45.15	26
Kızılcahamam	1995	2500	K, S	80	20.92	26
Balçova	1996	11500	K	137	76	24
Afyon	1996	4500	S	95	221.23	31
Kozaklı	1996	1000	S	90	57.65	35
İzmir-Narlıdere	1998	1500	-	98	-	24
Diyadin	1998	400	K	78	87.04	Belirtilmemiş
Sandıklı	1998	2000/5000	K	70	32.47	18
Salihli	2002	2000/20000	K	94	142	19

\* K: Kaplıca, E: Endüstriyel amaçlı, S: Sera

\*\* 2003–2004 ısıtma sezonu

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Simav'da konutların jeotermal enerji ve kömür ile ısıtılmasının ekonomik yönü incelenmiştir. Bunun için 2552 m<sup>2</sup> 'lik kapalı alana sahip konutlar örnek alınmıştır. Örnek alınan Bu konutlar 2004 yılına kadar merkezi sistem kullanılarak kömürle ısıtılırken, 2004 yılından itibaren jeotermal enerji kullanılarak ısıtmaya başlanılmıştır. Çalışmamızda aynı alanın 2000-2006 yılları arasında yakıt olarak kömür veya jeotermal enerji kullanılması durumunda maliyet açısından ne olacağı araştırılmıştır. Tablo 1'de 2000-2006 yılları arası ısınma için kullanılan kömür miktarı ve maliyeti ile jeotermal enerji için kullanım bedeli olarak verilen maliyet çıkarılmıştır. Jeotermal enerjinin yıllık maliyeti: birim fiyat x Isıtılan alanın metre karesi x 10.5 ( Belediye yılda üç ay yarı fiyat aldığı için ay sayısı 10.5 alınmıştır) olarak hesaplanmıştır. Kömürlü sistemden jeotermal sistemine geçiş için yapılan tüm masraflar jeotermal enerjiye geçtikten bir yıl sonra amorti olmuştur. Jeotermal enerji ile ısıtma yapılan konutlarda 24 saat ısınma ve sıcak su kullanımı mevcuttur. Örnek alınan konutlara ait alanları Çizelge 2.1'de verilmiştir [2].

Çizelge 2.1. Jeotermal enerji ve kömür ile ısıtılan toplam konut alanları

Sıra no	Isıtılan konut alanları		
	Eni (m)	Boy (m)	Alan (m <sup>2</sup> )
1	9	27	234
2	9	14	126
3	14	20	280
4	12	13	156
5	10	17	170
6	12	17	204
7	8	16	128
8	9	17	153

9	6	9	54
10	6	11	66
11	6	9	54
12	10	15	150
13	11	19	209
14	8	22	176
15	9	20	180
16	9	17	153
17	5	7	35
18	4	6	24
<b>Toplam</b>	-	-	<b>2552</b>

Çizelgede görüldüğü gibi, toplam konut alanının 2552 m<sup>2</sup> 'lik alanı kömür ve jeotermal enerji kullanılarak ısıtılmaktadır. Materyal olarak seçilen konutların ısıtılması için gerekli olan ilk yatırım giderinin hesaplanmasında, sistemde kullanılan tüm elemanlar ve bunların ABD \$'ı bazında satın alma bedelleri dikkate alınmıştır. Jeotermal enerji ile merkezi ısıtma sisteminde yıllık tamir bakım ve yakacak masrafları yok denecek kadar azdır. Ancak, ısıtılan konutun büyüklüğüne göre birim alan başına (m<sup>2</sup>) Simav Belediyesi'ne abonman ücreti ödenmektedir. Bunlara ek olarak, jeotermal enerji ile ısıtma için ilk katılım bedeli 300 \$/daire ve bağlama ücreti 24 \$/daire alınarak ilk yatırım bedeli bulunmuştur. Bulunan bu değerler Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Şekil 2.1'de verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde, jeotermal enerji ile ısıtmanın 1845 \$/daire olduğu görülmektedir. Toplam yatırım maliyeti, Simav Belediyesi abonelik şartları ve tesisat maliyetinden oluşmaktadır. Abonelik şartları, katılım payı ve bağlama ücretini içermekte olup daire başına 324 \$'dır. Toplam tesisat maliyeti, konut için 6084 \$'dır. Bu tesisat maliyeti, malzeme bedeli ve işçilik giderinden oluşmaktadır. İşçilik gideri toplam malzeme bedelinin %20'si kadar olup 882 \$'dır.

Çizelge 2.2. Jeotermal enerjili ile ısıtma için gerekli olan ilk yatırım maliyeti [10]

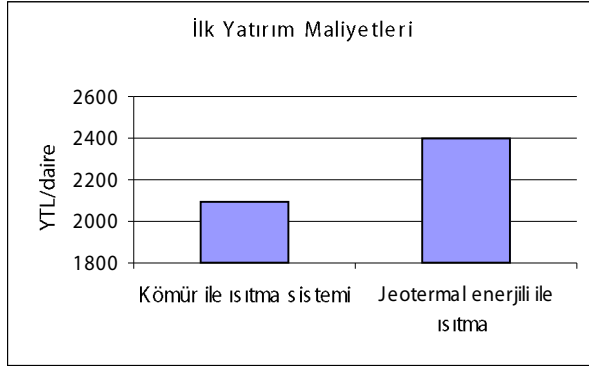
Malzeme	Miktarı (Adet)	Birim maliyeti (ABD \$ / birim)	Toplam Maliyet (ABD \$)
Eşanjör (60000 kcal/h)*	1	1075	1075
Panel radyatör	40 m	45	1800
Boyer (125 L)	4	202	808
Sıcak su pompası	1	176	176
Fiber vana 2"	6	29	174
Çek valf 2"	4	16	64
Termostatik vana	1	62	62
Kapalı genişleme deposu	1	32	32
Termometre	3	6	18
Emniyet ventili	1	4	4
Manometre	2	4	8
Pislik tutucu	2	4	8
Diğer ekipmanlar	-	180	180
Tesisat Maliyeti			4409
KDV (% 18)			794
İşçilik maliyeti (% 20)			882
Toplam Tesisat maliyeti		\$/bina	6084
		\$/daire	1521
Simav Belediyesi Abonelik şartları	Katılım payı (3 \$/m <sup>2</sup> )	100 m <sup>2</sup>	300
	Bağlama ücreti	\$/daire	24
Toplam yatırım maliyeti		1845 \$/ daire	
		<b>2399 YTL/daire</b>	

\*Simav ilçesinde halen 4 katlı konut için yaygın kullanılan eşanjör tipidir.

Malzeme	Miktarı (Adet)	Birim maliyeti (ABD \$ / birim)	Toplam Maliyet (ABD \$)
Panel radyatör	40 m	45	1800
Kazan (60000 kcal/h)	1	1351	1351
Boyer (125 L)	4	202	808
Sıcak su pompası	1	176	176
Fiber vana 2"	6	29	174
Açık genişleme deposu	1	100	100
Diğer ekipmanlar	-	100	100
Çek valf 2"	4	16	64
Termostatik vana	1	62	62
Termometre	3	6	18
Manometre	2	4	8
Pislik tutucu	2	4	8
Emniyet ventili	1	4	4
Toplam Tesisat Maliyeti			4673
KDV (% 18)			841
İşçilik maliyeti (% 20)			934
Toplam yatırım maliyeti		6448 \$/bina	
		1612 \$/daire	
		<b>2096 YTL/daire</b>	

Çizelge 2.3. Kömür ile ısıtma sistemi için gerekli olan ilk yatırım maliyeti [10]

Çizelge de görüldüğü gibi, kömür ile ısıtma sisteminde, jeotermal enerji sisteminde bulunan eşanjörün yerine kazan yer almaktadır. Kömür ile ısıtma yapılabilmesi için gerekli olan tesisat maliyetinin 100 m<sup>2</sup>'lik bir daire için 1612 \$ olduğu görülmektedir. Toplam tesisat maliyeti, gerekli olan malzeme bedeli ve işçilik giderinden oluşmaktadır. Toplam işçilik bedelinin 934 \$ olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1. 100 m<sup>2</sup>'lik daire için ilk yatırım giderleri

Seçilen örnek konut, kömür ve jeotermal enerjili ısıtma sistemi ile ısıtılmakta-

Çizelge 2.4. Kömür ve Jeotermal için yıllara göre yapılan harcama miktarı

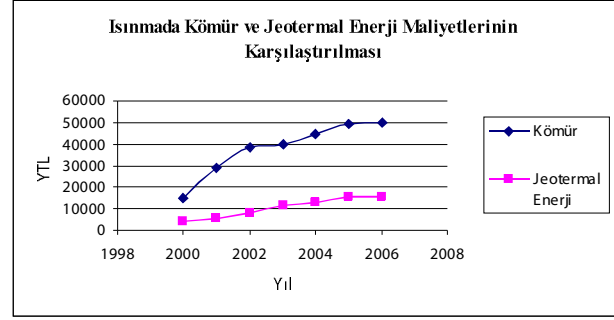
Yıl	Kömür ile ısıtma maliyeti			Jeotermal enerji ile ısıtma		
	Kömür miktarı	Birim fiyat/Ton	Toplam (YTL)	Birim fiyatı	Yıllık birim maliyeti	Toplam (YTL)
2000	256,22	58,90	15091,36	0,15	1,61	4099,79
2001	250,12	116,60	29163,99	0,19	1,99	5064,44
2002	260,24	148,70	38697,69	0,29	3,10	7904,82
2003	240,13	164,50	39500,56	0,43	4,49	11468,69
2004	260,32	170,00	44254,40	0,47	4,96	12647,71
2005	258,32	190,10	49106,82	0,59	6,20	15809,64
2006	250,14	200,00	50027,00	0,59	6,20	15809,64

Çizelge 2.5. 2007 Yılı için belediyenin ücret tarifesi

Enerji Kaynağı	Isıtılan Alan					
	Konut			Sera		
	Birim Fiyatı (YTL/ m <sup>2</sup> )	Alan (100*m <sup>2</sup> )	Toplam (YTL/yıl)	Birim Fiyatı (YTL/ m <sup>2</sup> )	Alan (1000*m <sup>2</sup> )	Toplam (YTL/yıl)
Jeotermal Enerji	0,61	5000	3202500	0,09	200	144000

dır. Karşılaştırmayı yaparken jeotermal enerji, kömür ve kalorifer yakıtlı kat kaloriferi ile ısıtma sisteminin ekonomik ömrü 10'ar yıl alınmıştır. Enerji kaynaklarının karşılaştırılmasında 2000-2006 yılları arasında gerçekleşen yakacak miktarı ve birim maliyetleri Çizelge 2.4 ve Şekil 2.2'de verilmiştir.

Şekil 2.2. Jeotermal enerji ve Kömür



için yapılan harcamaların yıllara göre değişimi

Simav'da jeotermal enerji kullanılarak 500.000 m<sup>2</sup> konut ve 200.000 m<sup>2</sup> sera alanı ısıtılması yapılmaktadır. Isıtılan toplam alanlar ve bir yıllık ısıtma ücretleri Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Eğer Çizelge 2.5'deki alanlar kömür ile ısıtılmış olsaydı Çizelge 2.4'deki verilere göre yaklaşık 3 kat gibi bir bedelin ödenmesi gerekmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında 2007 yılı ve bundan sonraki yıllar için jeotermal enerji kullanılarak ısınmanın çok daha ucuz olduğu sonucuna varılır. Yaptığımız bu çalışmada jeotermal enerjiden yararlanılarak yapılan bina ısıtmasının yaklaşık olarak kömürle ısıtılan alanlardan %65 daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Yurdumuzda mevcut jeotermal kaynakların büyük bir kısmı, 150°C ve altındaki sıcaklıklarda su üretimi yapılan düşük entalpili sahalardır. Bu nedenle jeotermal enerjinin kullanımı başta binaların ısıtılması, seracılık ve kaplıcalar olmak üzere elektrik üretimi dışındaki alanlarda yoğunlaşmıştır. Türkiye, toplam 820 MW kurulu kapasite ile, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında ABD, Çin ve İzlanda'dan sonra, dördüncü sırada gelmektedir. Bu kapasitenin 327 MW'ı, balneolojik (kaplıca) amaçla kullanılmaktadır. 493 MW'ı ise, konut ve sera ısıtılması kurulu kapasitesi olup, yıllık ortalama 0.44 kullanım oranı ile  $1.9 \cdot 10^9$  kW-saat enerji üretilmektedir [8]. Bu miktar, Türkiye'nin genel enerji tüketimi içinde %0.1 gibi bir orana karşılık gelmektedir. Ancak sağladığı konfor, ucuzluk, yerli bir kaynak ve temiz enerji olması nitelikleri ile, jeotermal enerji bulunduğu yerlerde gözardı edilmemesi gereken bir enerjidir [9].

Jeotermal enerji yer kabuğu içindeki büyük miktarda enerjinin yer yüzeyine ulaşması ile açığa çıkan ısı enerjisidir. Yer kabuğunun derinliklerinden yer yüzeyine doğru büyük bir enerji akışı olmakla birlikte, teknik ve ekonomik sınırlamalar nedeniyle bu enerjinin ancak çok küçük bir bölümü kullanılabilir düzeydedir. Günümüzde yararlanılan jeotermal enerji kaynakları, yer yüzeyinden yaklaşık 2000

m derinliğe kadar olan bölgelerden su veya buhar üretimi ile sınırlıdır. Yer kabuğundaki her sıcak bölge, jeotermal enerji üretimi için uygun olmayıp, bu enerjinin yer yüzeyine ulaşması için taşıyıcı akışkan olarak suyun dolaşımını sağlayacak jeotermal koşulların oluşması gereklidir [9].

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, jeotermal enerji ile konut ısıtılmasının teknik ve ekonomik yönü incelenmiştir. Jeotermal enerjiden yararlanılarak yapılan bina ısıtmasının, çağdaş yaşam koşulları gözetildiğinde daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca çalışmada, jeotermal enerji ile yapılan ısıtmanın bina ömrüne eşit olduğu göz önüne alınmadan, yalnızca 7 yıl için kıyaslama yapılmıştır. 30 yıllık bir dönem düşünülürse, jeotermal enerji ile ısıtmanın ne kadar ekonomik olacağı şüphesizdir. Zaten, çağdaş yaşam koşullarına uygunluk açısından düşünüldüğünde kömür, diğer ısıtma sistemlerine göre daha fazla hava kirliliği yarattığı ve maliyetinin yüksek olması bakımından ısınmada tercih edilir bir seçenek olması gerekir.

Bugün yurt geneline bakıldığında konutların ısıtılması genellikle, fuel-oil, doğal gaz, kömür ve jeotermal enerji ile yapılmaktadır. Jeotermal enerji, doğal bir enerji kaynağı olduğundan dışarıya bir bağımlılığı yoktur. Artan petrol fiyatları ve nakliye masrafları göz önüne alınırsa, jeotermal enerji dışındaki yakıt türleri ile konutların ısıtılması oldukça pahalıya mal olmaktadır. Bu enerji ile ısıtma yapılan konutlarda, 24 saat ısınma ve sıcak su kullanımı mevcuttur. Çalışmada elde edilen verilere göre jeotermal enerji ile konutların ısıtılması oldukça ucuza mal olmaktadır.

Son yıllarda jeotermal enerjiye kar-

şı yapılan yatırımlar jeotermal enerjinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bugün, Türkiye'nin en büyük jeotermal merkezi ısıtma sistemleri İzmir Balçova ve Kütahya-Simav'da bulunmaktadır. Türkiye çapında birçok belediye bu enerjiden yararlanmak için yatırım projeleri hazırlamaktadır. Bu projelerde konut ısıtılmasının yanında seraların da ısıtılması hedeflenen amaçlar arasındadır. Ayrıca, jeotermal enerji ile birçok kaplıca tesisi insanlarımıza sağlık yönünden hizmet vermekle beraber turizm gelirimize de önemli katkı sağlamaktadır.

Simav-Eynal sahasında bulunan jeotermal akışkanın sıcaklığı merkezi ısıtma için oldukça yüksektir. Jeotermal akışkanın enerjisinden tam olarak yararlanılmadığı için bu yörede kurulacak entegre tesis ile elektrik üretiminin yanı sıra, atık ısı ile Simav ilçesinin ısıtılması, endüstriyel kullanım, sera ve termal tesislerin ısıtılması yapılabilecektir. Ucuz ve temiz bir enerji olan jeotermal kaynakların öncelikli olarak devreye alınması, bu kaynağın bulunduğu yörelerimize ve ülkemize önemli ölçüde ekonomik ve sosyal katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, Simav'da bulunan jeotermal enerji merkezi ısıtma sisteminin yıllık 6 ay, günlük 16 saat çalıştırılması; hem maliyetlerin azalmasını hem de doğal zenginliğin gereksiz yere kullanılmasını engellemiş olacaktır. Bu şekilde yaz aylarında ki gereksiz kullanımlar azaltılmış ve kuyuların ömrü de artmış olacaktır. Zaten yaz aylarında konut ısıtılmasına gerek duyulmamakta ve sistem gereksiz yere çalıştırılmaktadır.

### **KAYNAKÇA**

[1] Şahin, H., 2005, Simav İlçesinde Farklı Enerji Kaynakları İle Bina Isıtılmasının Ekonomik Analizi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri

Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

[2] Ulutaş, B., 2004, Türkiye'deki enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve tüketim yerlerine göre en uygun dağılımı, II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya.

[3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2005, [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) (16.02.2005)

[4] Hepbaşlı, A. and Özgener, L., 2004, Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (2004) 433-460.

[5] Mertoğlu, O., Bakır, N. and Kaya, T., 2003, Geothermal applications in Turkey, *Geothermics*, 32: (2003) 419-28.

[6] Mertoğlu, O., 2000, Türkiye'de jeotermal enerji uygulamaları ve gelişimi, Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, s:1-9.

[7] DRAHOR, M.G., KUMLUTAŞ D., GÖKTÜRKLER G., Dünyada ve Türkiye'de Jeotermal Enerji ve Kullanımı, YEKSEM 2001 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyum Bildirileri, sayfa:61-68, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 18-21 Ocak 2001.

[8] BATIK, H., KOÇAK, A., AKKUŞ, İ., ŞİMŞEK, Ş., MERTOĞLU, O., DOKUZ, İ., BAKIR, N., Geothermal Energy Utilization and Development in Turkey, *Proceedings of World Geothermal Congress*, p:85-91, Japonya, 2000.

[9] KÜÇÜKA S., V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi Jeotermal Bölge Isıtılması Dağıtım Sistemlerinin Genel Esasları, 2001.

[10] Selahattin Tuzcu, 2004, Sözlü görüşme, Makine Mühendisi, Simav/Kütahya.



# JEOTERMAL ENERJİ VE ISINMA AMAÇLI KULLANIMININ EKONOMİK OLARAK İNCELENMESİ

**Çağatay PAMUKÇU**

**Gürcan KONAK**

*Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Müh. Böl. / İZMİR*

## ÖZET

Bu çalışmada ilk olarak, jeotermal enerjinin genel bir tanımı yapılmış ve mevcut doğal ve yapay jeotermal saha türleri anlatılmıştır. Jeotermal enerjinin jeolojik olarak oluşum nedenleri açıklanmış ve bu jeolojik tablo çerçevesinde Türkiye'nin sahip olduğu enerji potansiyeli bölge bazında ve rakamsal olarak verilmiştir. Daha sonra, jeotermal enerjinin geniş kullanım olanaklarına kısaca değinildikten sonra, ısıtma alanındaki, özellikle de konut ısıtmasındaki uygulaması incelenmiştir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaşanan enerji krizinin aşılmasında doğal kaynakların verimli olarak kullanımının önemi vurgulanmış ve bu anlamda jeotermal enerjinin bireysel ve ülke ekonomisine sağlayacağı katkılar, diğer enerji kaynaklarıyla beraber karşılaştırılmalı olarak belirtilmiştir. Sonuç olarak; jeotermal enerjinin ancak gerekli çevresel önlemler alındığı ve bilinçli bir şekilde kazanıldığı takdirde temiz, doğal, yenilenebilir ve en ekonomik enerji kaynağı olduğu kanısına varılmıştır.

## 1 JEOTERMAL ENERJİNİN TANIMI

Jeotermal enerji, en basit şekliyle yerkürenin içinde varolan ısının kazanılması ve kullanıma sunulması olarak tanımlanabilir. Bu enerjinin diğer yeraltı sularına oranla bünyelerinde çok daha fazla ergimiş mineraller ve gazlar ile su buharı içerdiği bilinmektedir. Sözkonusu enerjinin bir kısmı mantoda yer alan kayaçların radyoaktif bozunması sonucu oluşurken, diğer kısmı da yerkürenin kabuk bölümünde yer alan magmatik kayaçların ısısından kaynaklanmaktadır. Jeotermal enerji sahaları genellikle 3 gruba ayrılmaktadır (DPT ÖİK Raporu, 1992):

- 1) Düşük entalpili sahalar (20-70 °C)
- 2) Orta entalpili sahalar (70-180 °C)
- 3) Yüksek entalpili sahalar (>180 °C)

Bu tür bir klasifikasyonla birlikte, pratikte 150 °C lik bir sıcaklık düşük entalpili ile yüksek entalpili sahalar arasındaki sınır değeri olarak kabul edilmektedir.

Yüksek entalpili sahalar; okyanus ortası sırtları, yitme zonları, kıtasal çatlaklar ve çarpışma alanlarında lokalize olup, bu bölgelerdeki ısı akışı ortalamanın oldukça üzerindedir. Bir teoriye göre bu tür jeotermal sistemlerin yalnızca genç volkanizmanın ve kabuksal yükselmelerin olduğu yerlerde bulunduğu bilinmektedir.

Düşük entalpili sahalar ise tortul havzalarında yer almaktadır. Düşük entalpili akışkanlar volkanik zonalarda olduğu gibi başka yerlerde de bol miktarda bulunmaktadır. Bu yüzden dünya üzerindeki toplam rezervleri bir önceki türe göre oldukça fazladır. Jeolojik olarak açıklanacak olursa; bu sahalar dağ kıvrımlarının

marjinlerinde yer alan ve çökmeye uğrayan tortul havzalardır. Düşük entalpili akışkanın ekonomik denebilecek sınırlar içindeki kullanımı ülkeden ülkeye değişim gösterse de, genellikle bu değerin 25 °C civarında olması önerilmektedir (Aytekin, 1997). Şekil 1, yerküre üzerinde yer alan düşük veya yüksek entalpili sahaları genel hatlarıyla gözönüne sermektedir.

## 2 JEOTERMAL SAHA TÜRLERİ

Jeotermal rezervuarlar genel olarak su esaslı veya buhar esaslı sahalar olarak ikiye ayrılır. Su esaslı sahalar da kendi içinde sıcak su ve ıslak buharlı sahalar olarak sınıflandırılmaktadır.

### 2.1 Su Esaslı Sahalar

Sıcak su sahaları yüzeyde 100 °C'ye kadar ulaşan sıcaklıklarda sıcak su üretebilen oluşumlardır. En düşük sıcaklığa sahip sahalar olmakla beraber, rezervuarın sıvı fazda su içerdiği kesin olarak bilinmektedir. Konveksiyon sistemlerdeki su, ısının derin kaynaklardan alınarak üst kısımdaki ve sondajlarla ulaşılabilir derinlikteki bir rezervuara taşınması rolünü üstlenmektedir.

Daha önce sözü edilmiş olan ıslak su buharı sahaları ise sıcak su ve su buharının bir kombinasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür sahalar 100 °C'yi aşan sıcaklıklarda basınçlı su ve rezervuarın daha sığ kısımlarında ise az miktarda buhar içerirler.

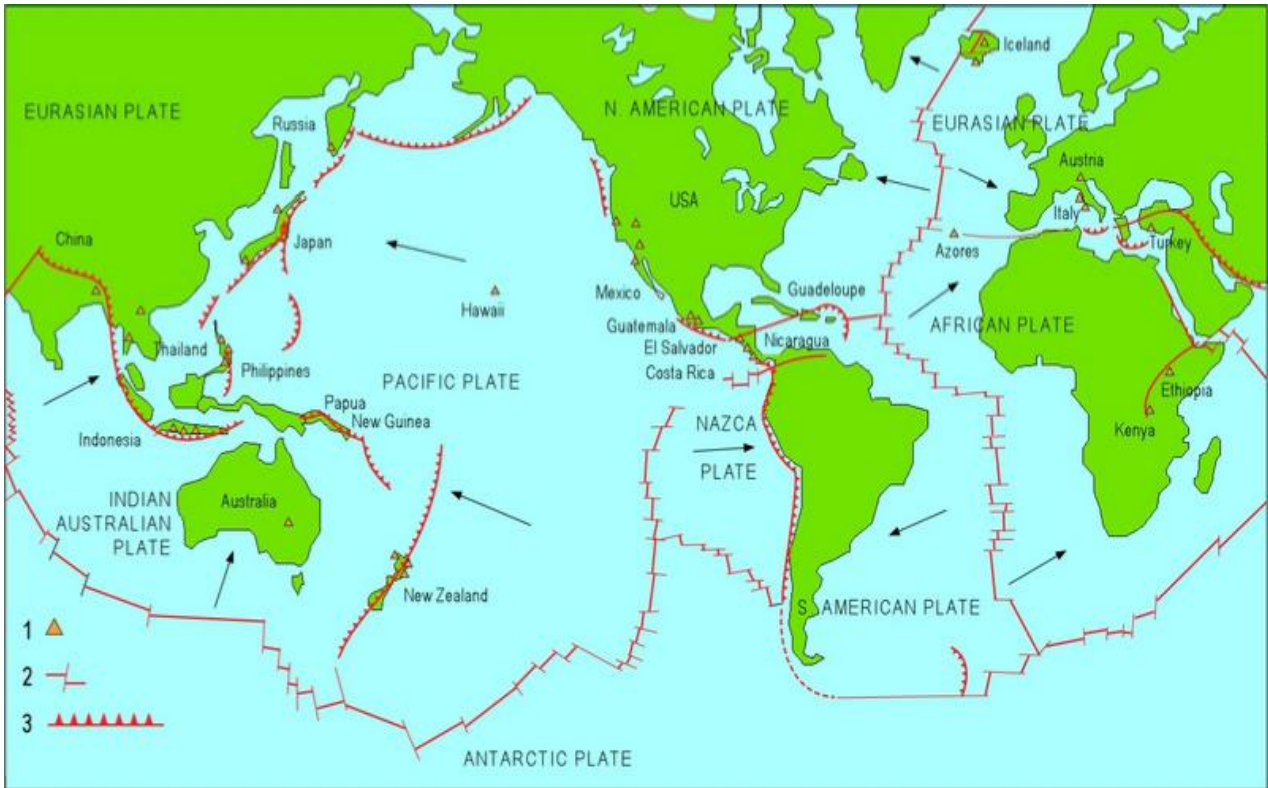
### 2.2 Buhar Esaslı Sahalar

Buhar esaslı sahalar, atmosferik basıncın çok üstündeki değerlerde kuru ve doymun ya da süper ısıtılmış derecede buhar içeren rezervuarlardır. Jeolojik

olarak ıslak buhar sahalarına benzemekle birlikte, burada üstteki kayacın geçirgenliği büyük rol oynamaktadır. Geçirimsiz bir tabaka rezervuarın üstünü örterek yüksek sıcaklıktaki akışkanın yüzeye ulaşmasını önleyerek, sözkonusu akışkanın büyük basınç altında tutulmaktadır. Bu tür sahalarda zaman zaman su+buhar karışımına rastlansa da, ortamdaki en baskın hal buhar fazıdır. Dünya üzerinde gerçekleştirilen elektrik üretiminin yarısından çoğu şu 6 buhar esaslı sahadan karşılanmaktadır; Larderello (İtalya), Mt. Amiata (İtalya), Geyzerler (Kaliforniya), Matsuwaka (Japonya), Kamojang ve Darajat (Endonezya). Bunun dışında, sayıları az olmasına karşın, ABD ve İtalya'da hiç sıvı faz içermeyen ve süper ısıtılmış kuru buhar üreten bazı sahaların varlığı da bilinmektedir.

### 2.3 Kızgın Kuru Kayaç Sistemleri

Yerkürenin içinde depolanmış halde olağandışı bir ısı birikimi mevcutsa ve buna ek olarak, yeraltında sıcak su sirkülasyonunu mümkün kılacak doğal olarak oluşmuş çatlaklar ve boşluklar bulunmuyorsa; bu durumda hidrolik olarak birbirine paralel olarak açılan sondajlar yardımıyla yapay açıklıklar oluşturulmaktadır. Böylece oluşturulmuş olan bu çatlaklarda meteorik kökenli su dolaştırılmakta ve yeraltında ısınan su yukarı çekilmektedir. Bu tür yapay olarak yaratılmış sistemler, kızgın kuru kayaç sistemleri olarak adlandırılır.

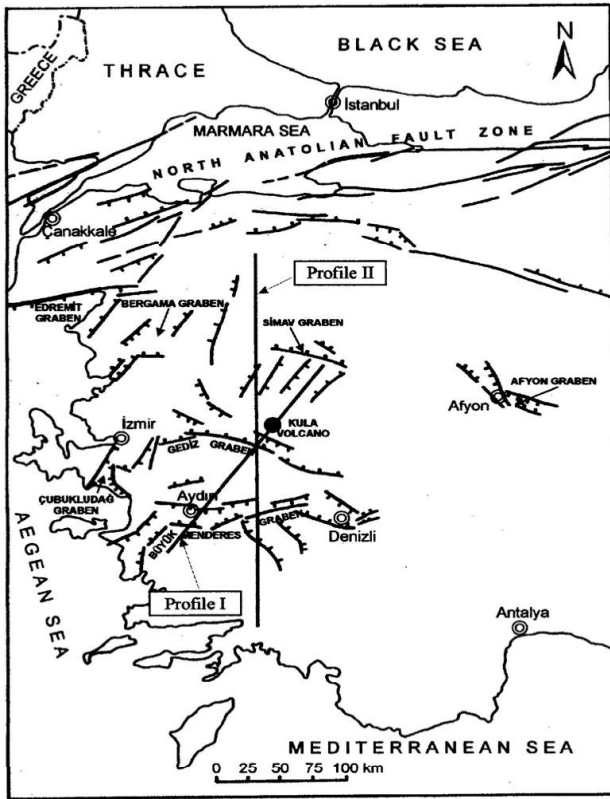


Şekil 1. Dünya Üzerindeki Jeotermal Oluşum Bölgeleri (Kruger & Otte, 1973).

### 3- JEOTERMAL ENERJİNİN JEOLojİK EVRİMİ VE TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL POTANSİYELİ

Jeotermal sahaların yaygın olarak aktif yakınlaşan ve uzaklaşan plaka sınırları boyunca, genç volkanizma ve tektonizmanın var olduğu alanlarda lokalize olduğu kabul edilmektedir.

Türkiye'nin de özellikle batı bölgesinin bu evrim içinde yer aldığı bilinmektedir. Afrika ve Avrasya kıtalarının Mesozoik ve Tersiyer dönemlerindeki bağlı hareketleri, bu iki plakayı birbirine yaklaştırmış ve sözkonusu kıtasal levhaların çarpışmasıyla, kabuk genç olduğundan, Afrika levhası bir anlamda Avrasya kıtasının altında yitmeye uğramıştır (Güleç & Şimşek, 1994). Tüm bunlara ek olarak, özellikle Batı Anadolu Bölgesi, jeotermal oluşumlara olanak tanıyacak bir dizi grabenlerle ve şiddeti ile dağılımı bölgede farklılıklar gösteren ve Eosen devrinden beri aktif olan volkanizma ile karakterize



Şekil 2. Batı Anadolu Bölgesi Jeotermal Sahaları (Güleç & Şimşek, 1994)

edilmektedir. İşte bu yüzden, Batı Anadolu bölgesi jeotermal enerji açısından ülke genelinde en yüksek sıcaklıktaki ve nitel olarak da diğer bölgelere göre üstünlük sağlayan bir bölge konumundadır. Şekil 2, Batı Anadolu bölgemizdeki hemen hemen tüm jeotermal sahaları mevcut volkanizma ve tektonik oluşumlarla birlikte göstermektedir.

Orta Anadolu'nun batı kesimlerinde nispeten az olan tektonik aktiviteye bağlı olarak daha düşük jeotermal enerji çıkışlarına rastlanmaktadır. Orta Anadolu'nun doğu kesimlerinde de aynı şekilde kayda değer bir enerji fazlalığına rastlanmamaktadır. Bu bölgede istisna olacak şekilde sadece Nevşehir-Kozaklı, Ankara-Kızılcahamam, Kırşehir-Terme ve Sivas-Sıcakçermik alanlarında yüksek jeotermal enerji çıkışları bulunmaktadır. Doğu Anadolu bölgesinde de benzer bir durum mevcuttur. Yalnızca, genç volkanik aktiviteden kaynaklanan cüzi miktarlarda enerji oluşumları gözlenmekte olup, bunlar Van-Zilan ve Erzurum-Pasinler sahalarında yer almaktadır.

Yukarıda anılan tüm bölgeleri içine alacak şekilde ülkemizin tahmini jeotermal potansiyeli şu şekilde hesaplanmıştır:

- Kayaç içinde yer alan kaynaklar:  $9.46 \times 10^{13}$  j
- Su içinde yer alan Kaynaklar :  $1.49 \times 10^{13}$  j

(Dimitrov, Mertoğlu & Popovski, 1997).

Tüm kaynaklar gözönüne alındığında, Türkiye sahip olduğu jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyada ilk 7 ülke içinde yer almaktadır. Elimizde bulduğumuz tüm potansiyel hesaba katılacak olursa; merkezi ısıtma

sistemleri, termal kaplıca tesisleri ve sera ısıtma işlemlerini kapsayacak şekilde ısıtma amaçlı kullanılacak olan jeotermal enerjinin toplam kapasitesi 2000 MWt değerini aşarken, elektrik üretimine yönelik kullanım için ise toplam kapasitenin 350 MWe olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara ülke genelinde, sıcaklıkları 40 °C ile 232 °C arasında değişen yaklaşık 140 jeotermal sahada yapılmış olan 124 sondaj çalışması yardımıyla varılmıştır. Ancak, günümüzde jeotermal enerjinin kullanıma sokulmuş rakamları elektrik amaçlı olarak 20 MWe iken, yaklaşık 40 binin üzerinde konut ve 20.000 m<sup>2</sup> sera ısıtmacılığını içine alan 274 MWt lık ısıtma amaçlı kullanımdır(MTA Türkiye Jeotermal Envanteri, 1996).

#### **4- JEOTERMAL ENERJİNİN GENEL KULLANIM ALANLARIVETÜRKİYE'DEKİ DURUM**

Jeotermal enerjinin elektrik veya elektrik dışı birçok kullanım alanı mevcut olup, bu endüstriyel kullanım alanları akışkanın çıkış sıcaklığına bağlı olarak Çizelge 1'de gösterildiği üzere Lindal Diyagramı'nda sistematik bir şekilde toplanmıştır.

Bilindiği üzere Türkiye'nin bu geniş kullanım alanlarından faydalanma konuları esas olarak kaplıcalar ile sınırlı olmaktadır. Bunun dışındaki kullanım yerlerine de kısaca değinildikten sonra günümüzde uygulaması en cazip ve ekonomik hale gelen konut ısıtmacılığındaki kullanımı anlatılacaktır.

Türkiye'deki tek yüksek entalpili sahalar Batı Anadolu'da yer aldığı için, günümüzde de hala kullanımda olan ilk elektrik santrali 1968 yılında Denizli-Kızıldere yöresinde kurulmuştur. Santralin kapasitesi 20 MWe olup, bu merkezde karşı-

laşılan en büyük sorunlar santralin sebep olduğu gürültü ve daha önemlisi, atık akışkanın direkt olarak çevredeki akarsulara verilmesidir. Denizli dışında ikinci bir gelecek vaadeden ve 99- 101 °C lik bir çıkış sıcaklığına sahip bulunan Aydın-Germencik bölgesinde de yeni bir elektrik santrali kurulması yolunda planlar yapılmış olup, bu santralin inşası için proje çalışmalarına başlanmıştır. Jeotermal enerji ile sera ısıtmacılığı ise ülkemizde ilk olarak Kızıldere yöresinde denenmiştir. Elektrik üretiminden sonra yüzeye ulaşmış olan sular, direkt olarak yaklaşık 0.5 ha alana sahip bir seranın ısıtılması için yönlendirilmiştir. Ancak, bu akışkanın hiçbir ön muameleden geçirilmeden kullanılması çelik borularda tıkanmaya ve sistemin kısa sürede çökmesine neden olmuştur. Son zamanlarda ise, Simav Belediyesi'nin ve özel sektörün ortak girişimleriyle toplamda 8 ha lık bir alanın ısıtılması için gerekli işlemlere başlanmış ve projenin yarısı bugün itibarıyla tamamlanmıştır. Türkiye, tümü cam sera şeklinde olmak üzere, jeotermal enerji ile sera ısıtmacılığı uygulamasında ısıtılan toplam alan bakımından 7.30 ha lık değerle Avrupa çapında sekizinci sırada yer almaktadır. Bu konuda liderlik ise 130.38 ha lık alanla Macaristan'a aittir. Seracılık olayı en çok iklimin uygun olduğu Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde görülmektedir. Örnek vermek gerekirse, Antalya ili tek başına bütün sera alanlarının % 70'ini elinde tutmaktadır (Dimitrov, Mertoğlu & Popovski, 1997). Diğer bölgelerimizde seracılığın rağbet görmemesinin en büyük sebebi, Doğu bölgelerindeki üreticilerin iklim koşullarının doğal bir sonucu olan yüksek ısıtma giderleri nedeniyle Batı'daki meslektaşlarıyla rekabet edememeleridir. Ancak buralarda da jeotermal akışkanın yeterli sıcaklıkta bulunduğu yerlerde, bilinçli

°C	Kullanım Yerleri	Elektrik Üretimi	Isıtma
180	Yüksek Konsantrasyon Solüsyonun Buharlaşması Amonyum Absorpsiyonu ile Soğutma	+	
170	Hidrojen Sülfür Yoluyla Ağır Su Eldesi	+	
160	Kereste, balık vb. Yiyeceklerin Kurutulması	+	
150	Bayer Prosesi ile Alüminyum Eldesi	+	+
140	Çiftlik Ürünlerinin Kurutulması (konservencilik)		+
130	Şeker Endüstrisi ve Tuz Eldesi		+
120	Rafine Tuz Eldesi		+
110	Çimento Kurutulması		+
100	Organik Maddelerin Kurutulması (yosun, et, sebze) Yün Yıkama ve Kurutma		+
90	Balık Kurutma		+
80	Konut ve Sera Isıtmacılığı		+
70	Soğutma İşlemleri		+
60	Hayvancılık ve Mantar Yetiştirme Balneolojik Banyolar		+
40	Toprak Isıtma Sağlık Tesisleri		+
30	Yüzme Havuzları Fermentasyon İşlemi		+
20	Balık Çiftlikleri		+

Çizelge 1 . Lindal Diyagramı (MTA Türkiye Jeotermal Envanteri, 1996).

bir şekilde ve sonuçta çevreye bir zarar vermeyecek bir düzende yapılacak sera ısıtmacılığı, klasik yollarla yapılan sera ısıtmacılığındaki masrafları önemli ölçüde giderecektir.

#### 4.1 Jeotermal Enerjinin Konut Isıtmasında Kullanımı

Bilindiği üzere ülkemiz, birçok konuda olduğu gibi günlük hayatımızda kullandığımız enerji kaynakları konusunda da dışa bağımlıdır. Bu dışa bağımlılık ulusal ekonomimize zarar verdiği gibi, birey düzeyine indirgeyecek olursak en basit anlamda aile bütçelerini de sekteye uğratmaktadır. Dışa bağımlılığı en aza indirmenin en önemli yolu da hiç şüphesiz

elimizdeki yerüstü ve yeraltı kaynaklarının farkına varmamız ve bu kaynaklardan maksimum fayda sağlayarak hem ferdi hem de ulusal ekonomiye katkı sağlamanızdır.

Elimizde varolan doğal kaynaklardan belki de en önemlisi direkt bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjidir. Günümüzde ülke gündemini en fazla meşgul eden konulardan biri kış aylarında büyük kentlerdeki ısıtma sorunları, değişik ısı kaynaklarının çevreye verdiği zararlar ve elbetteki bireysel düzeyde hepimizi ilgilendiren ve her geçen yıl bir öncekine göre belirgin bir artış gösteren ısınma giderleridir. Bu tür giderlerden kaçınmak için maalesef birçok konutta hızla yaygınlaşan ve son derece ilkel ve bir o kadar

da tehlikeli bir sistem olan tüpgazla ısınma sağlanmaktadır. Hava kirliliğini engelleyen ve konutlar içerisinde nispeten homojen bir ısınma sağlayan bir diğer temiz ısınma aracı ise klimalardır, ancak bunların da elektrik tüketimi ve dolayısıyla masrafları çok fazla olmaktadır. Tüm bu olumsuzlukları önlemek ve 1970'li yıllarda başgösteren petrol krizine ekonomik anlamda yenik düşmemek amacıyla, dünya üzerinde ilk olarak İzlanda, Fransa ve ABD'de jeotermal enerji ile merkezi ısıtma çalışmaları hız kazanmıştır (Harrison & Mortimer, 1990).

Ülkemizde ise bu konuda Gönen'in farklı bir yeri bulunmaktadır, çünkü ilk merkezi konut ısıtma çalışmaları burada start almış olup, mevcut sistem 11 yıldır kullanımdadır. Kurulmuş olan sistemin kapasitesi 17 MWt olup, bu kapasite ile 3000 konut ve 600 yataklı bir otelin ısınması sağlanmaktadır. Bu ilk çalışmayı Simav, Kırşehir, Kızılcahamam ve Afyon'daki merkezi ısıtma uygulamaları izlemiştir. Son olarak ise; diğer örneklerle oranla ülkemizdeki en modern ve ileri teknolojinin kullanıldığı İzmir-Balçova ısıtma sisteminin hayata geçirilmesi gözümüze çarpmaktadır. Projenin büyüklüğü şu anda 5000 konut için tasarlanmış olup, ileriki yıllarda bu rakamın Balçova için ilk etapta 10000'e, daha sonra ise 25000 konuta yükseltilmesi düşünülmektedir.

Prensip olarak sistem; değişken debi ve sabit sıcaklık farkına göre çalışmaktadır. Dönen akışkanın sıcaklığı 40 °C de sabit tutulurken, iç ortamın sıcaklığının ise 20 °C değerinde sabitlenmesi sağlanmaktadır. Akışkanın ilk çıkış sıcaklığı 135 °C olup, debisi ise genellikle 25 lt/s dir (Güngör & İlkan, 1997).

Sözedilen diğer örnekler dışında farklı kapasitelerde olmak üzere, Sandıklı, Salihli, Çeşme, Pamukçu ve Narlıdere

yerleşim bölgelerinde de benzer ısıtma sistemlerinin uygulamaya konması an meselesidir (Türkiye Jeotermal Derneği Bülteni-1. Sayı, 1997).

Jeotermal enerji ile konut ısıtmacılığının sağlamış olduğu en büyük avantajlar herhangi bir yanma olayı olmadığı için atmosfere H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> ve azot oksitlerin emisyonu gerçekleşmediğinden ötürü çevre dostu olması, bilinçli bir reenjeksiyon yardımıyla yenilenebilir bir kaynak olması, doğal kökenli oluşu ve hepsinden önemlisi ısınmada göstermiş olduğu ekonomik performanstır.

Bununla birlikte ısıtma operasyonlarında karşılaşılabilecek sorunlara karşı önlem alma zorunluluğu vardır ki, bu kriterler:

- Zemin sübidansı
- Üretim esnasındaki sorunlar
- Kabuklaşma ve korozyon
- Enerji ve basınç kayıpları
- Ekipmanın deformasyonu
- İşletme problemleri
- Kalifiye personel gerekliliği

olarak sıralanabilir. Ancak, bu noktalar baştan gözönünde bulundurulur ve gerekli planlamalar bu çerçevede yapılırsa oldukça ekonomik ve optimal bir ısınma sağlanmış olur.

## 4.2 Jeotermal Enerji ile Isınmanın Ekonomik Analizi

Bu başlık altında yapacak olduğumuz makro ekonomik çaptaki değerlendirmeler, 100 m<sup>2</sup> lik bir konut referans olarak alınarak ve İzmir-Balçova merkezi ısıtma

sistemindeki uygulama ile diğer reel örnekler ele alınarak yapılmıştır.

Yatırım Maliyeti: Jeotermal enerji ile ısıtılacak bir konut için Şubat 2007 tarihi itibarıyla, vatandaşın 1600 \$ (2240 YTL) lik bir ön yatırım masrafı alınmaktadır.

Isıtma Tarifeleri: 100 m<sup>2</sup> lik bir daire için aylık ısıtma gideri İzmir-Balçova'da 55 YTL, yıllık ısıtma gideri ise 55 YTL x 12 = 660 YTL olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradaki örnekte, enerjiyi sağlayan özel şirket, o kışın iklim şartlarına göre ısınma süresini kendisi belirlemekte olup, merkezi ısıtma yılda ortalama olarak 5 ay sürmektedir. Bu sistemin görünmeyen fakat en önemli avantajlarından birisi, banyo ve mutfaklarda kullanılan sürekli sıcak su kullanım bedelinin de yukarıdaki rakamlara dahil olmasıdır.

Aynı büyüklükte bir dairenin kat kaloriferi aracılığıyla ısıtılması yoluna gidilecek olursa, belki bu sistemde de kişinin kendi arzusuna kalmış olan esnek ve homojen bir ısınma sağlanmış olur, ancak bu tip bir sistemin beraberinde getireceği maliyetler, jeotermaldekiyle kıyaslanmayacak kadar yüksektir. Böyle bir ısınma şeklinde ilk olarak tüm sistemin kurulabilmesi için minimum 2000 \$ (2800 YTL) lik bir harcama gerekmektedir. Bunun yanında, bu büyüklükteki bir konutu ısıtmak için İzmir'de yıllık yaklaşık olarak 700 lt motorin kullanılmakta olup, bu halde bir dairenin ısınma gideri yıllık olarak 2,25 YTL x 700 lt = 1575 YTL olarak karşımıza çıkmaktadır (Şubat 2007).

Yine kaloriferli, ancak bu kez ısınmanın merkezi olarak kömürle sağlandığı bir diğer sistemde, her ne kadar apartmanın hangi iklim kuşağında yer aldığı, kaç daireden oluştuğu, bitişiğinde başka konutlar bulunup bulunmadığı ve yapısal konumu gibi ısınma giderini etkileyen fak-

törler olsa da, bu değer 1. iklim bölgesinde yer alan İzmir için yıllık ortalama olarak 900 YTL dir (12 dairelik bir apartmanda). Bu miktarın, ısınmanın daha uzun aylar sürdüğü ve karasal iklim koşullarının egemen olduğu bölgelerde belirgin bir artış göstereceği gözardı edilemeyecek bir gerçektir. Isınma bedelinden çok, kömürle yapılan bir ısıtmanın atmosfere vereceği zararlar belki de düşünülmesi gereken daha elzem bir kriterdir.

Diğer bir temiz enerji olan doğal gazın 2. iklim bölgesinde yer alan Bursa'daki bir uygulamasını örnek verecek olursak; ilk önce tesisat da dahil olmak üzere tüm sistemin kurulması için yaklaşık 2150 \$ (3000 YTL) lik bir harcama yapmanız gerekmektedir. Kış mevsiminde ısıtma yapıldığı sürece (6 ay), kullanıma bağlı olsa da genel olarak 120 YTL/ay lık bir fatura ödemek şarttır. Konut ısıtmasının yapılmadığı diğer aylarda ise, mutfak yakıtı ve banyodaki sıcak su kullanımı için ise aylık 10 \$ (14 YTL) ödemek durumunda kalınmaktadır (Şubat 2007). Öte yandan; doğalgazın sızıntı ve patlama gibi riskleri mevcutken, jeotermal enerjide böyle bir endişenin yer almaması dikkat edilmesi gereken bir başka noktadır. Yapmış olduğumuz bu sayısal incelemeleri daha kolay sergilemek amacıyla, sözkonusu ısınma kaynaklarına ait tüm giderler, 100 m<sup>2</sup> lik bir konut için Çizelge 2'de sistematik olarak gruplandırılmıştır.

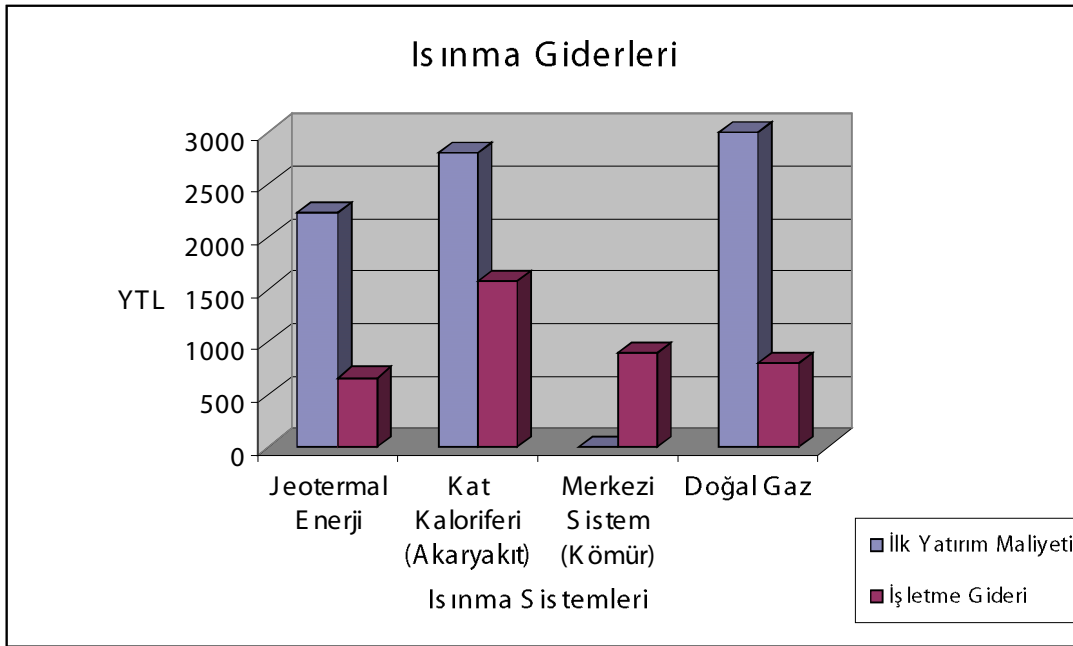
Çizelge 2 esas alınarak hazırlanan ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri açısından karşılaştırmalı grafik Şekil 3 de görülebilmektedir.

Buradan da görülmektedir ki, rezervuarlar boşa harcanmadığı, jeolojik formasyona ve çevreye zarar verilmediği sürece jeotermal enerji ile ısınma diğer sistemlere büyük üstünlük sağlamaktadır.



Çizelge 2. Farklı Enerji Kaynaklarının Maliyet Açısından Karşılaştırılması (YTL)

Isınma Sistemi	İlk Yatırım Maliyeti	İşletme Gideri
Jeotermal Enerji	2240 YTL	660 YTL
Kat Kaloriferi (Akaryakıt)	2800 YTL	1575 YTL
Merkezi Sistem (Kömür)	Mevcut Değil	900 YTL
Doğal Gaz	3000 YTL	804 YTL



Şekil 3. Isınma Sistemlerinin Ekonomik Karşılaştırması

Yukarıda yapmış olduğumuz genellemeleri destekler şekilde 2006 yılında yapılmış bir başka araştırmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. Farklı Enerji Kaynaklarıyla Isıtma Giderleri (US \$/1000 kcal- 2006)

Isınma Şekli	Isınma Gideri
Akaryakıt (Radyatör)	3.5
Kömür (Radyatör)	3.4
Doğal gaz	2.8
Jeotermal Enerji	0.13-0.63

## 5- SONUÇLAR VE ÖNERİLER

• Jeotermal enerji oluşumları levha sınırları boyunca, tektonizmanın ve volkanik aktivitelerin fazla olduğu bölgelerde karşımıza çıkmaktadır. Alp-Himalaya orojenik kuşağındaki lokasyonuna bağlı olarak, Türkiye ve özellikle de Batı Anadolu Bölgesi, sayısız faylar, genç oluşumlu grabenler ve yaygın tektonizma ile karakterize edilmektedir. Elektrik üretimi de bu nedenle yalnız bu bölgemizde gerçekleşmektedir.

• Jeotermal enerjinin ülkemizdeki asıl yaygın kullanım alanı kaplıca amaçlı tesislerdir. Bu tür tesisler en azından modernize edilirse ve yeterli dış tanıtımla turistik bir kimliğe büründürülebilirse, ülkemiz ekonomisine hiç kuşkusuz büyük getiriler sağlayacaktır.

• Jeotermal enerjiyle konut ısıtması ülkemizde henüz yeni sayılabilecek bir uygulama olmasına karşın, konunun önemi giderek kavranmaya başlanmış ve tüm jeotermal potansiyel içeren alanlarda bu yönde girişimlere geçilmiştir. Jeotermal enerji, diğer ısı kaynaklarıyla karşılaştırılacak olursa hem ilk yatırım, hem de ısıtma giderleri açısından çok büyük artılar arz etmektedir. Bu tür ısıtma sistemleri ülke genelinde mümkün olan her yerde kurularak, sahip olduğumuz doğal kaynak değerlendirilmeli ve ulusal ekonomi ile çevreye olumlu yönde katkıda bulunma yoluna gidilmelidir.

• Sonuç olarak belirtmek gerekirse; jeotermal enerji ancak gerekli çevresel önlemler alındığı ve bilinçli bir şekilde kazanıldığı takdirde temiz, doğal, yenilenebilir ve en ekonomik enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 6- KAYNAKLAR

Aytekin, E. (1997). *Türkiye'de Jeotermal Enerji Üretimi-Seminer Çalışması*. İzmir:Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü. Pp. 9-13.

Dimitrov, K., Mertoğlu O., & Popovski, K. (1997). *Strategy of Geothermal Development in Agriculture in Europe At The End Of 21<sup>st</sup> Century*. Skopje. Pp. 72-78, 108-113, 116.

Dimitrov, K., Mertoğlu O., & Popovski, K. (1997). *Geothermal District Heating Schemes*. Skopje: International School On Direct Application Of Geothermal Energy. Pp. 1-1, 1-8, 1-9, 1-25, 2-5, 2-9.

Güleç, N. & Şimşek, Ş. (1994). *International Volcanological Congress Excursion Guide*. Ankara: ODTÜ Yayınları. Pp. 1, 5-7.

Güngör, A.& İlkan, Z. (1997). *III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*. İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası. Pp.620, 625-627.

Harrison, R.& Mortimer N.D. (1990). *Geothermal Heating*. Brussels, Pergamon Press. Pp. 13, 83-85.

*Jeotermal Enerji. DPT ÖİK Raporu*. (1992). Ankara.

Kruger, P.& Otte, C. (1973). *Geothermal Energy-Resources, Production and Stimulation*. California: Stanford University Press. Pp. 14-17.

*MTA Türkiye Jeotermal Envanteri*. (1996). Ankara.

*Türkiye Jeotermal Derneği Bülteni*, 1. Sayı\_(1997). Ankara. Pp. 6-8, 18, 22.

# JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN KLASİK MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİYLE TEKNİK VE EKONOMİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

**Dr. Orhan ERDEN**

*Gazi Üniversitesi Endüstriyel San. Eğt. Fak., ANKARA*

## ÖZET

Ülkemizde önemli bir potansiyeli bulunan jeotermal enerjinin önemi tüm dünyada yaşanan küresel ısınmanın etkilerinin artmasıyla dahada önem kazanmıştır. Türkiye jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında dünyadaki ilk 5 ülke arasında yer almaktadır. Mevcut jeotermal enerji potansiyelinin büyük bir bölümü merkezi ısıtmaya uygundur.

Birçok ülkede konutların ısıtılmasında merkezi ısıtma sistemleri tercih edilmektedir. Ülkemizde bu trend bazı yerleşim merkezlerinde hızla artmaktadır. Bu çalışmada Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemleri(JMIS) teknik olarak analiz edildikten sonra Klasik Merkezi Isıtma Sistemleriyle(KMIS) teknolojisini karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu iki ısıtma sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemlerinin 5 yıl sonra proje yatırımını geri ödediği ancak Klasik Merkezi Isıtma Sistemlerinin yüksek işletme giderleri sebebiyle proje yatırımını geri ödeyemediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal Enerji, Isıtma Teknolojisi, Klasik Merkezi Isıtma Sistemleri

## 1. Giriş

Evlerde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ise evlerin ısıtılmasına yöneliktir. Evler ısıtılırken kullanılan ısıtma sistemlerinin niteliklerinden kaynaklanan bazı etkilerden dolayı enerji kayıpları ve çevre kirliliği oluşmaktadır. Her binada ayrı ayrı kazan daireleri tesis etmek yerine, bu binaların dışında tesis edilecek bir tek merkezden ısıtma yapılırsa böyle bir sistem merkezi ısıtma denir. Isıtılacak bölge çok büyük ve yoğun bir yerleşim bölgesi ise bir şehir ısıtması söz konusudur (Gürdal, 1998).

Bireylerin yaşadıkları mekanların ısıtılmasında kullanılan enerji türlerini ve sistemlerini tanıması hayat standartlarının yükselmesine, daha bilinçli enerji tüketmesine ve çevreye daha az zarar vermeden yaşamasına yardımcı olacaktır. Bu çalışmada konut ısıtılmasında dünyada en iyi konut ısıtma türlerinden biri sayılan merkezi ısıtma sistemlerinin teknolojik ve ekonomik özelliklerinin analizi, merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan enerji türlerinin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Araştırmada Kullanılan

#### Materyal

Araştırmanın ana materyalini Türkiye’de bulunan en gelişmiş teknolojiye sahip jeotermal merkezi ısıtma sistemi ve klasik merkezi ısıtma sistemlerinden örneklem yolu ile seçilenlerden elde edilen bilgiler ve alan araştırması yoluyla ulaşılan veriler oluşturmaktadır. Konu ile ilgili yapılmış olan çeşitli yayınlar ile istatistiki bilgilerden de verilerin analizinde ve bulguların yorumlanmasında yararlanılmıştır.

## 2.2. Araştırmada Kullanılan

### Yöntem

İlk önce ısıtma sistemleri hakkındaki yazılı yayınlar toplanarak bu konuda bir ön inceleme yapılmıştır. Sonra sistemlerin bulunabilen fizibilite çalışmaları incelenmiştir. Sistemlerin projeleri de tetkik edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra sistemlerin bulunduğu yerlerde alan araştırması çalışmaları yapılmıştır. Böylece sistemler ile ilgili tüm verilere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Veriler değerlendirilmeden önce genel bir kontrolden geçirilmiştir. Çelişkili ve eski veriler ayıklanmaya çalışılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde ise endüstriyel teknoloji eğitimi disiplininin ilkeleri esas alınmıştır. Sistemlerin teknolojik ve ekonomik nitelikleri her yönüyle karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Böylece bireylerin yaşadıkları ortamlardaki teknolojiyi tanıyabilmesi ve diğer teknolojilerle karşılaştırma yapabilmesi ilkeleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### 2.2.1. Teknolojik Karşılaştırmanın

#### Yapılması

Sistemlerin teknolojik analizinde bir merkezi ısıtma sistemini meydan getiren beş ana unsur esas alınmıştır. Bunlar;

- Enerji Elde Etme Sistemi,
- Enerji Taşıma
- Isı Üretim Merkezi,
- Isı Dağıtım Sistemi,
- Bina Sistemi'dir.

## 2.2.2. Ekonomik Karşılaştırmanın

### Yapılması

İlk yatırım tutarları üzerine işletme maliyetleri konularak gelecek 10 yıllık bir süreç içerisinde sistemlerin ekonomik durumları karşılaştırılmıştır. Sistemlerin gelecek 10 yıllık dönemdeki işletme maliyetlerinin tespitinde istatistiksel yöntemlerden trend analizi metodundan yararlanılmıştır.

## 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Jeotermal enerjiye sahip bölgelerde (şehirlerde) doğalgaz, fuel-oil, kömür kullanımı yerine jeotermal enerjinin kullanılmasının özendirilmesi devletçe teşvik edilmeli ve potansiyele göre öncelikli olarak kullanılmalıdır.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de merkezi ısıtma sistemi yatırımlarına önem verilmesi, çevre kirliliğinin azalması ve enerji tasarrufu sağlanması açısından önemlidir. Türkiye’de de merkezi ısıtma sistemleri JMIS kullanılarak yaygınlaştırılmalıdır.

Jeotermal enerjinin öz varlığımız olması, kullanırken sadece inhibitör, CTP borular, plaka eşanjör gibi malzemenin dışında ülkemiz için döviz tasarrufu sağlaması nedeniyle jeotermal kaynağın bulunduğu yerleşim alanlarında JMIS ‘nin kurulması enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır. Atık jeotermal akışkanın sağlık ve termal tesislerde, seralarda entegre kullanımı ayrıca önemli bir kazanç ve ekonomi sağlayacaktır.

JMIS ve KMIS ısı merkezlerinde şehir içi dağıtım sistemine yapılacak su ilavelerinde kabuklaşma ve korozyona karşı bu suya inhibitör dozajı yapılması gerekir.

Jeotermal akışkan taşıma borularının

üretimindeki teknolojik gelişmelerin ülkemizde kullanılmasıyla Sandıklı’da jeotermal akışkan 10km sadece 2°C sıcaklık kaybıyla taşınmıştır. Bu başarı jeotermal akışkanın uzağında bulunan yerleşim yerlerine de JMIS kurulabileceğini göstermiştir. Balçova JMIS’nin yakınında jeotermal akışkanın üretimi sistemi çok daha avantajlı ve ucuz enerji üreten konuma taşımaktadır.

Akışkan sıcaklığı yükseldikçe ısı dağıtım sisteminde ısı kayıpları da artmaktadır. Isı kaybını en aza indirebilmek için optimum izolasyon kalınlığı seçilmelidir.

Isıtıcı akışkan olarak sıcak su kullanımı buhara göre dağıtım sisteminde ısı kayıpların azalmasına neden olmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde elektrik üretimi sonunda ortaya çıkan atık akışkanın kullanımı KMIS daha ekonomik konuma getirecektir.

## KAYNAKLAR

Gürdal E., 1999, Merkezi şehir ve bölge ısıtma sistemleri, **Doğalgaz Dergisi Sayı 43.**

Popovski, 1998, Summary of technical elements of geothermal district heating schemes, **International Summer School on Direct Application Of Geothermal Energy**, Macedonia.

Randlov, P., 1997, District heating handbook, **European District Heating Pipe Manufacturers Association**, Denmark.

Rafferty D. K., 1996, Environmental considerations for geothermal energy as a source for district heating, **Geo Heat Center at the Oregon Institute of Technology, USA**

TJD, 2006, Jeotermal enerjinin dünyadaki ve Türkiye'deki mevcut durumu, potansiyeli ve değerlendirme alanları, **Türkiye Jeotermal Derneği Bülteni**, Ankara.