



5th World Water Forum

TERMAL VE MADEN SULARI KONFERANSI

24 – 25 NİSAN 2008



**DSİ 18. BÖLGE
MÜDÜRLÜĞÜ-İSPARTA**



**AFYON KOCATEPE
ÜNİVERSİTESİ**

BİLDİRİLER KİTABI

EDİTÖRLER

Prof. Dr. A. Ergün TÜRKER

Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

AFYONKARAHİSAR

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

YAYIN NO: 68

İNTERNET ADRESİ
<http://www.aku.edu.tr>

© AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
Her hakkı Afyon Kocatepe Üniversitesine aittir.
Kaynak gösterilmek suretiyle kullanılabilir.

ISBN: 978-975-7150-87-9
Baskı: Sözkesen Matbaacılık-ANKARA

NİSAN 2008
AFYONKARAHİSAR

KURULLAR

KONFERANS ONURSAL BAŞKANI

Prof. Dr. Veysel EROĞLU

Çevre ve Orman Bakanı

KONFERANS YÖNETİM KOMİTESİ EŐBAŐKANLARI

Haydar KOÇAKER
DSİ Genel Müdürü

Prof. Dr. Ali ALTUNTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi

İsmail Hakkı ERTEKİN

DSİ 18. Bölge Müdürü

KONFERANS SEKRETERİ

Prof. Dr. A. Ergün TÜRKER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

KONFERANS ÜYELERİ

Prof. Dr. Necat İMİRZALIOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILDIZ
Ramazan SELCAN
Yusuf ULUTÜRK

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
DSİ 18. Bölge Müdürlüğü
DSİ 18. Bölge 11. Sondaj
Şube Müdürlüğü

KONFERANS DÜZENLEME KOMİTESİ

İsmail Hakkı ERTEKİN
E. Birol ÖZGÜL
Yrd. Doç. Dr. Metin BAĞCI
Yrd. Doç. Dr. Oktay EMİR
Dr. Afet TUNCAY
ArŐ. Grv. Sena COŐKUN
Uzm. őerife Özgün ÇITAK
Faruk MERMER
Mesut TABAK

DSİ 18. Bölge Müdürlüğü
DSİ 18. Bölge Müdürlüğü
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
DSİ 18. Bölge Müdürlüğü
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Afyon Kocatepe Üniversitesi
DSİ 18. Bölge 183. şube Müdürlüğü
DSİ 18. Bölge 11. Sondaj
Şube Müdürlüğü
DSİ 18. Bölge Müdürlüğü
DSİ 18. Bölge Müdürlüğü

Hü dai MANGA
Akif KILINÇ

KONFERANS BİLİM KURULU

Prof. Dr. A. Tuğrul BAŞOKUR	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Ali BİLGİN	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. İlyas ÇAĞLAR	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Necat İMİRZALIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Vural KAVUNCU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim KOCABAŞ	AUS – Dubai
Prof. Dr. Halim MUTLU	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut PARLAKTUNA	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Eyüp SABAH	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Gültekin TARCAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Alper BABA	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ahmet DOĞAN	Süleyman Demirel Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Oktay EMİR	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Hayrullah DAĞISTAN	Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
E. Birol ÖZGÜL	DSİ 18. Bölge Müdürlüğü

Not: Bilim Kurulu üyelerinin sıralaması alfabetik sıraya uygun olarak yapılmıştır.

ÖNSÖZ

Jeotermal sular ülkemizdeki önemli enerji kaynaklarından birisi olup, bu sular enerji üretiminde, sağlık turizmde, termal ve kaplıca tesislerinde, ısıtma amaçlı ve seralarda kullanılmaktadır. Ülkemiz Jeotermal enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir ülkedir. Avrupa’da ilk sırada, dünyada ise 7. sırada olmamız ülkemizdeki jeotermal kaynakların ne derece büyük bir potansiyele sahip olduğunu açık bir göstergesidir. Ülkemizde 1000 civarında sıcak ve mineralli tabii kaynaklar bulunmakta olup, bunlardan 600’ü sıcak su kaynağıdır. Bilhassa bu kaynaklardan Jeotermal enerji olarak istifade edilmesi ülkemiz için çok önemlidir. Çünkü Jeotermal enerji yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca enerjide dışa bağlı olduğumuz için yerli kaynağımız olan bu enerjinin kullanımı daha büyük önem arz etmektedir.

Türkiye de elektrik üretimine uygun jeotermal saha sayısı 16 civarındadır. Türkiye’nin teorik olarak jeotermal enerji potansiyeli 31500 MWt olmasına rağmen ülkemiz bugün jeotermal enerjiyi doğrudan kullanımı 1306 MWt dir. Buradan bu potansiyelin kalan kısmının biran önce devreye alınması için çalışmaların yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Jeotermal kaynakların ülkemizde elektrik üretimi dışında sağlık turizmde kullanılması açısından da büyük bir potansiyele sahiptir. Nitekim bu maksatla Afyonkarahisar, Kütahya, Ankara, Balıkesir, Bursa, Eskişehir, Denizli, İzmir gibi illerde termal tesisler kurulmuştur. Bu arada Afyonkarahisar’da son yıllarda kurulan termal tesislerin sağlık ve kongre turizmde katkıda bulunmasını da çok önemli görmekteyim, bu konuda daha büyük açılımların olması sadece yurtiçinde değil yurtdışında da termal turizmin tanıtılarak deniz turizmi kadar bir gelir getirmesinin önünün açılacağı kanaatindeyim.

Türkiye’deki bazı jeotermal kaynaklar konut ısıtması amaçlı kullanılmaktadır. Afyonkarahisarda da böyle bir uygulama yapılmıştır. Bu arada seraların ısıtılmasında son zamanlarda sera teknolojisinin gelişmesi ve sera ürünlerinin ihracata yönelmesi ile jeotermal enerjinin seraların ısıtılmasında artan bir hızla kullanıldığını görmekteyiz.

Şu anda ülkemizde 1.200.000 m² sera alanı jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Bu maksatla teşvik kanunundan istifade edilerek bazı seralar jeotermal kaynakla ısıtmalı olarak Afyonkarahisar’da kurulmuş olup bazıları da projelendirme safhasındadır. Jeotermal kaynaklar önemlidir. Ancak, bunları geri kazanmak yani reenjektetmek çevre açısından çok daha önemlidir.

Hükümetimiz ilk defa açılımı gerçekleştirerek jeotermal enerji arama – araştırma ve üretim konusunda 13.06.2007 tarihinde 5686 sayılı kanunu çıkarmıştır. Bu yeni kanuni düzenlemeler ile yatırım güvenliğinin sağlanması, ülkemizde jeotermal enerji yatırımlarına büyük bir ivme kazandıracak ve böylece jeotermal enerji kaynakları kullanımında ülkemizde önemli bir yere gelinecektir.

Bu konferansa konu olan diğer bir kaynak da maden sularıdır. Ülkemiz aslında Avrupa’nın tabii mineralli sular açısından en zengin bir coğrafyaya sahiptir. Ancak Avrupa’da kişi başına yılda 150 litre maden suyu tüketilirken bu oran Türkiye’de 3 litrenin altında kalmaktadır. Tabii mineralli sular ülkemizde yeterince değerlendirilememektedir. Yıllık 65 milyon litre olan bu kaynağın sadece %1’i şişelenip, % 99’u boşa akmaktadır. Dolayısıyla kalan potansiyelin biran önce

değerlendirilmesi kanaatindeyim. Afyonkarahisar'da Kızılay Maden Suyu işletmesi son yıllarda kapasitesini ve satış noktalarını arttırmıştır. Diğer işletmelere de örnek olmuştur.

5. Dünya Su Forumu vesilesi ile Afyonkarahisar'da böyle bir "Termal ve Maden Suları Konferansı"nın düzenlenmiş olması çok faydalı olmuştur. Bu sempozyumun tertiplenmesinde emeği geçen Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü mensuplarına, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğüne, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesine teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca bu sempozyuma fikir ve görüşlerini sunan katılımcılara da teşekkür ederim.

Bu sempozyumdan elde edilen neticelerin; bu konuda araştırma yapan bilim adamları, enerji, termal tesis, seraların ısıtılması gibi hususlarda yatırım yapmak isteyen iş adamlarına faydalı olmasını dilerim.

Prof. Dr. Veysel EROĞLU
Çevre ve Orman Bakanı

ÖNSÖZ

Ülkemizde ve Afyonkarahisar’da jeotermal araştırmalar, genellikle mevcut sıcak su kaynaklarında yapılmakta ve soğuk yeraltı suyu ile karışmış jeotermal akışkana ulaşıldığında sondajlar sonuçlandırılmaktadır. Afyonkarahisar’daki en önemli jeotermal bölgeler olan Ömer-Gecek ve Gazlıgöl sahalarında da bu durum geçerlidir.

ABD’nin batı eyaletlerinde ve İzlanda’da jeotermal saha araştırmaları, sıcaklığı 200 °C’den düşük sistemlerde gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte derin jeofizik araştırmalar sonucunda 285 °C’lik hazne kayaç sıcaklıklarına ulaşan derin dolaşımli sistemlerin ortaya çıkmasıyla jeotermal enerji potansiyelinin 5-10 kat artabileceği ileri sürülmektedir.

Afyonkarahisar’da derin jeofizik çalışmalar yaparak halen işletilmekte olan hazne kayaçlardan daha derinde ve daha yüksek sıcaklıkta hazne kayaçların varlığını araştırıp sondajlarla denetleyerek jeotermal sistemin modelinin oluşturulması gerekmektedir. Böylece çok daha yüksek sıcaklıkta ve daha zengin jeotermal sular elde etmek mümkündür. Afyon Kocatepe Üniversitesi 2008 yılında gerçekleştirdiği atılımlarla bu konuda bölgede gereksinim duyulan iş gücü ve teknik altyapıya yönelik çalışmalarını planlı bir şekilde sürdürerek *Jeotermal ve Yeraltı Suları Araştırma Merkezi*’ni kurmuştur.

Afyonkarahisar jeotermal sahası için üzerinde durulması gereken bir diğeri önemli konu ise bu sahaların korunması ve jeotermal suların bünyesindeki bazı elementlerin çevre ve insan sağığına vereceği zararların önlenmesidir. Bunun için mutlaka reenjeksiyon konusuna da önem verilmesi gerekmektedir. Bölgedeki otellerde sağıık amacıyla kullanılan jeotermal su, reenjeksiyonla yeraltına verilmeden önce arıtılmalı ve bölgede merkezi bir arıtma tesisi kurulmalıdır. Ayrıca reenjeksiyon işlemi için uygun alanlar belirlenmeli ve jeotermal kuyu tekniğine uygun kuyular açılarak rezervuardan çekilen sıcak suyun, aynı koşullarda yeraltına reenjekte edilmesi zorunludur.

Termal ve mineralli suların en önemli kullanım alanlarından birisi sağııktır. Bu bakımdan Afyonkarahisar, Türkiye’nin sağıık turizminde önemli bir merkezidir. Üniversitemiz Turizm İşletmecilik ve Otelcilik Yüksekokulu ile Afyon, Sandıklı, Dinar Meslek Yüksekokullarında bu hizmetleri yerine getirecek elemanları yetiştiren ilgili eğitim programları yürütölmekte olup, bu yıl itibariyle Sağıık Yüksekokulumuz bünyesinde *Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Bölümü* açılmıştır.

Konferansın ölkemize ve Afyonkarahisar’a yararlı olacağı umuduyla, Konferansın düzenlenmesinde emeği geçen herkese şükranlarımı sunarım.

Prof. Dr. Ali ALTUNTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörü

ÖNSÖZ

Kurulduğu 1954 yılından bu yana yarım asrı aşan sürede Ülkemiz su kaynaklarını geliştirme çalışmalarını sürdüren Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), öncelikli hedefini “su kaynaklarının en etkin şekilde kullanılması” olarak tespit etmiştir. DSİ, belirlenen bu hedefe ulaşmak için; teknik, ekonomik ve aynı zamanda çevreyle uyumlu projeler geliştirmekte ve uygulamaktadır. Ülke nüfusunun yaklaşık %35’ini istihdam eden tarım sektöründe sulu tarımı yaygınlaştırmak, sanayinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi yerli hidrolik kaynaklardan karşılamak, insanımıza AB standartlarında içme-kullanma suyu temin etmek ve ülkemizde her yıl maddi ve manevi büyük zararlar meydana getiren taşkınlarla mücadele etmek görevlerimiz arasındadır.

Ülkemizin teknik ve ekonomik olarak sulanabilir arazi miktarı 8,5 milyon ha olarak hesaplanmıştır. Günümüz itibarıyla sulamaya açılan 5,13 milyon hektarlık alanın 2,93 milyon hektarı DSİ sulama tesisleridir.

DSİ, faaliyetlerini günün gelişen teknolojilerine ayak uydurarak geliştirmektedir. Bu sebeple, 2003 yılından itibaren sulama projelerinde, basınçlı borulu şebeke uygulamalarına geçilmiştir. Böylece hem su tasarrufu sağlanmış hem de modern sulama sistemleri (yağmurlama ve damla sulama) teşvik edilmiş olacaktır.

Ülkemizin, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyeli, yaklaşık olarak yıllık 130 milyar kWh hesaplanmıştır. Günümüz itibarıyla Türkiye’de hidroelektrik santraller; 13 384 MW kurulu güce ve toplam potansiyelin %36’sına karşılık gelen 46 793 GWh yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. Hidroelektrik potansiyelin enerjiye dönüştürülmesi sürecinde DSİ, oluşturulan 13 384 MW kurulu gücün 10 380 MW’ını (%77) gerçekleştirerek bu alanda lider olduğunu göstermiştir. Ülkemizde kapasite bakımından en büyük 25 adet HES’in 20 adedi DSİ tarafından inşa edilmiştir.

2007 yılı sonu itibarıyla hizmete alınan 21 adet içme-kullanma suyu temini tesisiyle 26 milyon vatandaşımıza 2,7 milyar m³ içme-kullanma suyu temin edilmiştir. İnşaatı devam eden 20 adet proje tamamlandığında ise buna ilaveten, 10 milyon vatandaşımıza 1 milyar m³ içme-kullanma suyu temin edilecektir.

Bilindiği gibi, akarsularımızın akış rejimi düzensiz bir seyir izlemektedir. Bu sebeple meydana gelen taşkınlar, depremden sonra en fazla can ve mal kaybına sebep olan tabii afet olarak bilinmektedir. Son 20 yılda meydana gelen taşkınlarda 396 vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve yaklaşık 2,5 milyar YTL’lik ekonomik kayıp meydana gelmiştir. DSİ, kuruluşundan günümüze kadar 37’si baraj 4 364’ü taşkın tesisi olmak üzere, toplam 4 401 adet taşkın koruma tesisini hizmete alarak, 977 bin hektar alan ve bu alan içindeki bütün yerleşim yerlerini taşkından korumuştur.

Ülkemizde “su” denildiğinde akla gelen yegâne kuruluş olan Genel Müdürlüğümüz, Dünyada su konusunda söz sahibi seçkin kuruluşların arasında yer almak ve karar mekanizmalarında söz sahibi olmak maksadıyla 2000 yılında Dünya Su Konseyi’ne üye olmuştur. O tarihten bu yana ve özellikle de son yıllarda gösterdiği uluslararası performansı ile Beşinci Dünya Su Forumunun, 2009 yılında İstanbul’da gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Önceki Dünya Su Forumlarının, ev sahibi ülkelere sağladığı imkânları göz önünde bulundurduğumuzda, Forumun ülkemiz su sektörünün

daha da gelişmesine katkı sağlaması kaçınılmazdır. Bu organizasyonun bir faydası da, ülkemizin uluslararası su kuruluşlarıyla olan ilişkilerinin daha da gelişmesi; anılan kuruluşların yönetim kurullarında aktif görev alan Türk yetkililerin sayısının giderek artması şeklinde ortaya çıkacaktır.

Forum, DSİ'nin dışa açılmasının çok açık bir göstergesidir. DSİ, Forum ile küresel manada yeni bir misyon kazanmıştır. Diğer bir ifade ile DSİ, sadece ülke içinde su konularının koordinasyonunu sağlayan bir kuruluş olmakla yetinmemiş, küresel su politikalarının karar mekanizmasında yer almıştır. Böylesine Dünya çapındaki bir su faaliyetinin düzenlenmesinde DSİ'nin merkezi rol üstlenmesi tesadüfi değildir. Çünkü DSİ, 54 yıllık bir su kültürü olan; adında "su" geçen Ülkemizdeki tek merkezi kuruluştur.

Beşinci Dünya Su Forumu bölgesel hazırlıkları sürecinde DSİ, ulusal ve uluslararası bölgesel toplantılar yapmaktadır. DSİ öncülüğünde yapılan bu toplantılar, Beşinci Dünya Su Forumu'nun bölgesel sürecinde ülkemizin önceki forumların ev sahibi ülkelerden farklı ve orijinal bir yaklaşım sergilediğinin göstergesidir. Bu yaklaşımın özü, hazırlık sürecini daha yerel düzeye yaymak şeklinde özetlenebilir. Ölçeği küçülten bu yaklaşım, yerel konuların Forumda daha iyi temsil edilmesini sağlamaya yöneliktir. Beşinci Dünya Su Forumu organizasyonunun en önemli başarılarından biri de bu olacaktır.

Çevre ve Orman Bakanımız Sayın Prof. Dr. Veysel EROĞLU'nun talimatıyla DSİ Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan ve DSİ'nin ilgili Bölge Müdürlüklerince düzenlenmekte olan "DSİ Bölge Müdürlükleri Su Konferansları"nın gayesi; her Bölge Müdürlüğü için özel olarak belirlenen konu başlığıyla ilgili yerel ve bölgesel paydaşları bir araya getirmek suretiyle, Forumun tematik programının geliştirilmesine azami katkıyı sağlamak; ilgili konu başlığında uygun bir tartışma ortamını hazırlamak ve forum haftası sırasında Dünya su kamuoyuna aktarılacak sonuçlar elde etmektir. Bu anlamda, DSİ Genel Müdürlüğü uhdesinde Bölge Müdürlüklerince düzenlenen söz konusu konferanslara DSİ mensupları ve akademik çevrelerin katılımı yanında konuyla ilgili diğer paydaşların da (suyula ilgili kamu kuruluşları ve yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları, su yöneticileri ve su kullanıcıları gibi) en yüksek düzeyde katılımlarının sağlanması hedeflenmektedir.

Su Konferanslarını gerçekleştiren Bölge Müdürlüklerimizi bu başarılarından dolayı kutlarım. Su konferanslarının eşgüdümünü yapan Genel Müdürlüğümüz ilgili birimlerine, Forum Sekreteryası çalışanlarına, konferansların bilim, düzenleme ve danışma heyetine teşekkür eder, DSİ Bölgesel Su Konferanslarının neticelerinin Kuruluşumuza ve Ülkemize hayırlı ve uğurlu olmasını dilerim.

Haydar KOÇAKER
DSİ Genel Müdürü

ÖNSÖZ

2000 yılında Dünya Su Konseyi'ne üye olan Türkiye, 4.Dünya Su Forumunun yapıldığı Meksika'da, o zamanki DSİ Genel Müdürümüz ve şimdiki Çevre ve Orman Bakanımız Sayın Prof. Dr.Veysel EROĞLU'nun üstün çabaları ile 5. Dünya Su Forumuna ev sahipliğini üstlenmiştir.

Bu doğrultuda söz konusu forum, 16-22 Mart 2009 tarihlerinde İstanbul'da gerçekleştirilecektir.

İstanbul'da yapılacak ve ana teması 2009 Birleşmiş Milletler Dünya Su Günü için belirlenen "Su Birleştirir" teması ile de uyum sağlayan ve "Su konusundaki Farklı Görüşleri bir araya getirme" olan 5. Dünya Su Forumu; Marakeş(Fas), Lahey(Hollanda), Kyoto(Japonya) ve Meksiko City(Meksika) Dünya Su Forumlarının devamı olacaktır.

Farklı görüşleri bir araya getirme, su ile sağlık, enerji, gıda, tarım, iklim, tatlı su ve deniz suyu gibi çeşitli su kullanıcıları arasındaki bir bağlantıyı işaret eder. Bu tema, bilgi ve deneyimleri paylaşma yoluyla su teknolojisi, finansman, kapasite ve yönetim konularındaki boşlukları doldurmayı ifade eder. Bu Forum; su dünyasını, Avrupa ile Asya ve Ortadoğu ile Afrika kavşağında yer alan Türkiye'de bir araya getirecektir. Farklılıkları ortaya çıkaracak ve çeşitli sektörleri ve durumları birbirine yaklaştıran fırsatı sağlayacak olan Forumda, Dünyanın çeşitli yerlerinde su yönetiminden alınan dersler paylaşılacaktır.

5. Dünya Su Forumu, önemli global su konularının çözümüne katkı sağlamaya kendini adanmış çok paydaşlı bir organizasyon olarak Dünya Su Konseyinin görünüşünü ve ününü artıracak gibi su kaynakları ve su yönetimi konularını geliştirmede lider olarak Türkiye'nin görünüşünü, pozisyonunu ve ününü de artıracaktır.

Bu su Forumuna Ülkemizden daha fazla katılımın sağlanması amacıyla, DSİ Bölge Müdürlüklerinde değişik konularda konferans düzenlenmesi kapsamında, Bölge Müdürlüğümüz ve Afyon Kocatepe Üniversitesi ile ortaklaşa olarak "Termal ve Maden Suları" Konferansı düzenlenmiştir. Bu konferansta;

- Termal ve Maden Sularında Saha Araştırmaları
- Termal Suların Kullanım Alanları ve Özellikleri
- Termal Suların Çevre ile Etkileşimi
- Kaplıca ve Sağlık Turizmi, konu başlıkları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan Jeotermal kaynaklar, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı 20° C den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir.

Türkiye zengin jeotermal kaynaklara sahip olup, potansiyel olarak dünyanın 7. ülkesi konumundadır. Afyonkarahisar da Denizli'den sonra Türkiye'nin ikinci büyük jeotermal alanlarına sahip ilimizdir.

Termal suların kullanım alanları sürekli zenginleşmekte, enerji üretimi, ısıtma, endüstri, kaplıca ve sağlık turizmi yanında kozmetiğe kadar uzanmaktadır. Türkiye'deki termal ve sağlık turizm tesislerine ait toplam yatak kapasitesinin yüzde 33'ü Afyonkarahisar'da bulunmaktadır. Diğer taraftan konutların ısıtma sisteminde de termal sulardan yararlanılmaktadır. Değişik kullanım alanlarına sahip termal ve maden sularının ele alındığı ve Bölgemizin sorumluluk sahası içerisinde yer alan Afyonkarahisar'da gerçekleştirilen bölgesel nitelikteki bu konferansın, bu sektörde hizmet verenlere önemli ölçüde katkı sağlayacağı muhakkaktır.

Konferansın düzenlenmesinde emeği geçenlere, bildirimleri ile iştirak eden ve görüşleriyle katkıda bulunan tüm katılımcılara teşekkür eder, selam, sevgi ve saygılarımı sunarım.

İsmail Hakkı ERTEKİN
DSİ 18.Bölge Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KURULLAR	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	x
BÖLÜM 1: TERMAL VE MADEN SULARINDA SAHA ARAŞTIRMALARI	1
Ülkemizde termal, maden suları kaynakları ve kullanımı- V. EROĞLU	2
Yenilenebilir enerji ve jeotermal kaynaklarımız- H. DAĞISTAN	11
Afyonkarahisar’da alternatif jeotermal alanlar ve mevcut jeotermal alanların geliştirilebilirliği: Ön çalışma- A.E. TÜRKER, Y. ULUTÜRK, A. YILDIZ, M. BAĞCI, A. ERDEM ve İ. DUMLUPUNAR	24
İç Batı Anadolu’nun rejyonel ısıl yapısının jeofizik veriler ile yorumu- N. DOLMAZ	42
Afyonkarahisar jeotermal sahalarının jeolojik ve mineralojik evrimi- İ. H. KARAMANDERESİ	51
Jeotermal sondajlarda formasyon kaynaklı ilerleme güçlüklerinin analizi- A. ÖZDEMİR	66
Batı Anadolu’da kabuk elektriksel yapısı ile jeotermal sistemler arasındaki ilişki- İ. ÇAĞLAR	80
Afyonkarahisar ilinde yer alan jeotermal sahaların incelenmesi- B. AKAN ve S. SÜER	92
Türkiye’de jeotermal enerji konusunda yaşanan sorunlar ve jeotermal sondajların önemi- K. AKPINAR	101
Uşak-Banaz jeotermal alanının jeelektrik yöntemlerle araştırılması- A.E. TÜRKER, D.A. KEÇELİ, M.A. KAYA ve Z.KAMACI	115
Jeotermalde açılım: Kızgın kuru kaya çalışmaları projesi- H. DAĞISTAN	130
Urganlı jeotermal alanının (Turgutlu-Manisa) jeolojisi ve sondaj verileri ışığında yeniden değerlendirilmesi- S. YILMAZER, S. PASVANOĞLU, A. YAKABAĞ ve S. VURAL	143
Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında yeni bulgular- H. DAĞISTAN, İ. KARA ve M. DURDU	156
Ülkemizde jeotermal sondajcılık- A. ÖZDEMİR	170
Hisaralan (Sındırgı-Balıkesir) jeotermal enerji potansiyelinin bölge jeoturizmi açısından önemi- F. ÇOBAN, G. BÜYÜKKAHRAMAN, M. S. AYDOĞAN ve C. KOCABAŞ	175

BÖLÜM 2: TERMAL SULARIN KULLANIM ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ	180
Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahası kuyuları sıcaklık, basınç ve test verileri üzerine bir değerlendirme- E. GIRBALAR	181
Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) sıcak sularının kimyasal özellikleri- H. MUTLU	203
İscehisar (Afyonkarahisar) maden ve jeotermal sularının jeokimyasal özellikleri ve potansiyel kullanım alanları- M. BAĞCI, I. C. ENGİN, Y. ULUTÜRK, E. ÖZKAN ve H. AKBULUT	204
Dikili-Bergama (İzmir) termal kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanım alanları- T. ÖZEN, G. TARCAN, Ü. GEMİCİ ve N. AKSOY	216
Afyonkarahisar bölgesindeki bazı jeotermal kaynakların radon konsantrasyonları- H. A. YALIM, B. ORUNCAK, R. ÜNAL, İ. H. SARPÜN, A. AKKURT	229
Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminde oluşan korozyon ve kabuklaşmanın inhibitör kullanılarak önlenmesi- A. BÜYÜKSAĞIŞ ve S. EROL	235
Termal sulardaki sıcaklık ve tuz içeriği (Na ₂ SO ₄ , NaCl) parametrelerinin mermere olan etkisinin irdelenmesi- A.SARIIŞIK, B.ERSOY ve G.SARIIŞIK	249
Şişelenmiş maden sularının radon konsantrasyonları - H. A. YALIM, B. ORUNCAK, R. ÜNAL, İ. H. SARPÜN ve A. AKKURT	262
Afyonkarahisar jeotermal sisteminde oluşan kabuklaşma ve korozyonun ryznar ve langelier indexleri ile hesaplanması- A. BÜYÜKSAĞIŞ ve S. EROL	263
Polonya'daki jeotermal enerji kaynakları- C. A. PIENKOWSKI	276
Gönen termal sularının kullanım alanlarının ve bölgeye katkılarının değerlendirilmesi- A. ASLAN, B. YÜKSEL, B. ASIMGİL ve T. AKYOL	280
Kütahya-Simav'da jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımı sorunları ve çözüm önerileri- M. PAKSOY, Ö. TÜRKMEN, M. DİREK	288
Gönen'de konutlarda jeotermal enerji kullanımının yapısal ve mimari analizi- B. ASIMGİL, A.ASLAN ve B. YÜKSEL	299
Jeotermal kaynaklar ve akuakültürde kullanılabilirliği- M.FERHATOĞLU, O. ÖZDEN ve G. GÖKÇEN AKKURT	309
Doğal mineralli suların mevzuat açısından değerlendirilmesi- N. GÜNGÖR	320

	<u>Sayfa No</u>
BÖLÜM 3: TERMAL SULARIN ÇEVRE İLE ETKİLEŞİMİ	322
Jeotermal alanlarda koruma alanlarının belirlenmesi- B. AKAN ve H. DAĞISTAN	323
Jeotermal kaynakların kullanımıyla oluşabilecek çevre sorunları ve Afyonkarahisar ili üzerine bir inceleme- A. ENGİN, İ. C. ENGİN	332
Kızıldere jeotermal atık su karakteristiği ve sorunsuz reenjeksiyon için uyulması gerekenler- N. YILDIRIM	345
Kızılay (Gazlıgöl- Afyonkarahisar) maden suyunun koruma alanlarının belirlenmesi- Y. ULUTÜRK, A. YILDIZ, M. BAĞCI ve N. ÖZDEĞİRMENCI	358
Asit maden sularının oluşumundaki biyojeokimyasal prosesler- N. ÇELİK BALCI ve K. MANDERNACK	369
Afyon-Sandıklı jeotermal sahası koruma alanlarının belirlenmesi- B. AKAN, Ö. F. TAMGAÇ ve H. ÜNAL	376
Eski çağlarda Afyonkarahisar yöresindeki doğal sıcak su kaynakları- A. DIRER ÖZSAYIN, F. N. DIRER	390
BÖLÜM 4: KAPLICA VE SAĞLIK TURİZMİ	395
Afyonkarahisar’da termal turizm potansiyeli ve geleceğine ilişkin beklentiler- O. EMİR, H. H. SOYBALI, A. BAYTOK	396
Afyon Kocatepe Üniversitesi kaplıca kür merkezi tedavi uygulamaları- H. TOKTAŞ, Ü. S. DEMİRDAL, A. TÜREL, D. EVCİK ve V. KAVUNCU	408
Bel ağrısı tedavisinde akuatik egzersizlerin klinik etkinliği: randomize kontrollü çalışma- Ü. DÜNDAR, Ö. SOLAK, İ. YİĞİT, D. EVCİK, V. KAVUNCU	410
Su içi egzersiz programı postmenapozal osteoporozu olan kadınlarda denge ve yaşam kalitesini artırır- Ö. SOLAK, Ü. DÜNDAR, T. ÇAKIR, S. BABAĞLU, H. TOKTAŞ, D. EVCİK ve V. KAVUNCU	412
Diz osteoartiti olan hastalarda kaplıca ve çamur tedavilerinin etkinliği- D. EVCİK, V. KAVUNCU, A. YETER, İ. YİĞİT	414
Yetişkinlik, yaşlanma ve sosyal faaliyet olarak termal kaplıcalar-P. DURSUN	415
Afyonkarahisar ili sıcak su kaynaklarından izole edilen Gr (-) basillerin tanımlanması- S. ERCAN-AKKAYA ve M. KIVANÇ	417

Bölüm 1

**TERMAL VE MADEN SULARINDA
SAHA ARAŞTIRMALARI**

ÜLKEMİZDE TERMAL, MADEN SULARI KAYNAKLARI ve KULLANIMI

THE THERMAL AND MINERAL WATER SOURCES AND USAGE OF THESE WATERS IN TURKEY

EROĞLU V¹.

Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

ÖZET

Sürdürülebilir kalkınma, esasında bir değişme sürecidir. Bu değişme süreci içinde kaynakların kullanımı, yatırımların yönlendirilmesi ve teknolojik gelişmenin yönünün belirlenmesi gerekmektedir. Bugün ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle ülkede harcanan enerji miktarı bir biri ile doğru orantılıdır. Ülkemiz gelişmekte olan ülkeler arasında yer almakta ve her geçen gün enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan ihtiyaca cevap verebilmek gayesiyle değişik enerji kaynakları kullanılmaktadır. Her bir enerji kaynağının da bir maliyeti vardır ki bu gerek ekonomik, gerek sürdürülebilirlik ve de gerekse çevre yönünden ele alındığında ekonomik maliyet karşılanabilmekte, artan maliyetlerde karşılandıkça sürdürülebilir olmakta, fakat bozulan çevreyi yeniden eski haline getirmek veya tükenen kaynağı yerine koymak bazen mümkün olamamakta ve en önemlisi de enerji ihtiyacını karşılamakta dışa bağımlı duruma gelinmektedir. Bu sebeptendir ki gelişmiş ülkeler enerji ihtiyaçlarını değişik kaynaklardan karşılamaktadır. Günümüzde, enerji ihtiyacının büyük bir kısmı hidrolik enerji ve fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak gelecekte, fosil yakıtların giderek tükenmesi ve artan çevre meseleleri yüzünden yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Bu beklentide fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları aranmaktadır. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar neticesinde yenilenebilir ve çevre dostu temiz enerji kaynaklarının arasında en önemlilerinden birisi olan Jeotermal enerjiyi gündeme getirmektedir. Jeotermal Enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20 C° den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar ihtiva edebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir.

Jeotermal, düşük (20 C° -70 C°), orta (70 C° -150 C°) ve yüksek (150 C° 'den yüksek) entalpili (sıcaklıklı) olmak üzere genelde üç gruba ayrılmaktadır. Yüksek entalpili akışkandan elektrik üretiminde, düşük ve orta entalpili akışkandan ise ısıtmada yararlanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Termal su, maden suyu, kullanım.

ABSTRACT

Sustainable development is fundamentally an exchange period. It is necessary to use resources, orientate investments and determine the direction of technological improvement in this exchange period. Today, the level of development is directly proportional to the amount of energy used in that country. Our country is among the developing countries and demand for energy increases with each passing day. In order to answer this increasing demand, various energy resources are used. Every energy resource has a cost and if it is handled in the sense of economy, sustainability or environment, this cost is met with an economical expenditure. Increasing costs can be sustained if it can be covered, but it is impossible to restore the damaged environment and to bring the exhausted resources back. Most importantly, we become dependent to other countries. Therefore, the energy demand is covered from various resources in developed countries. At the present, this demand is met mostly from hydraulic energy and fossil fuels. But it is necessary to find new energy resources, because of exhausting energy sources and increasing environmental problems. The aim is to find an alternative to the fossil fuels. The studies carried out to find new resources bring the geothermal energy in the front among the environmentally friendly energy resources. Geothermal energy can be defined as hot water or vapor which is formed from accumulated heat in different depths of earth. Its temperature is always more than 20 C and it contains more melted minerals, various salts and gaseous as compare to normal underground waters.

Geothermal can be categorized under three groups according to its temperature; low (20 C° -70 C°), middle (70 C° -150 C°) and high (150 C° and more) temperature waters. The waters with high temperature are used for electricity production while the others are used for heating purposes.

Key Words: Thermal water, mineral water, usage.

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz yüz yılda ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ülkede harcanan enerji miktarı ile doğru orantılıdır. Bugün ülkemizde kendi öz kaynaklarımız ile elde edebildiğimiz ve aynı şekilde kullanabildiğimiz, temiz ve de uygun kullanıldığında çevre dostu olan atıl durumdaki jeotermal kaynaklarımız bulunmaktadır. Bugün itibarı ile enerji eldesinde kullanımı her ne kadar az ise de bu kaynağa yönelmesi halinde daha ucuz ve kaliteli bir enerji kaynağı eldesi mümkündür.

Jeotermal kaynakların sayısı açısından ülkemiz şanslı bir ülke olmakla birlikte, sıcaklıklarına bakıldığında aynı durumdan bahsetmek daha zordur, zira kaynakların büyük bir kısmı düşük ve / veya orta entalpili kaynak niteliğindedir.

Jeotermal kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması ve atık niteliğindeki enerjisi alınmış olan sıcak akışkanların reenjeksiyon yöntemi ile yeniden yeraltına verilmesi durumunda jeotermal enerji temiz ve ucuz bir enerji kaynağıdır.

2. JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji yerin derinliklerinden gelen, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Isı yeryüzüne yakın derinliklere, termal iletkenlik yolu ile taşınır.

Bu hadise eriyik haldeki magmanın yukarı bölgelere sokulması ile veya sıcak katmanlar olan astenosferin, kıtasal kabuk kalınlıklarının az olduğu kıta parçalarında yukarıya daha çok ısı iletilmesi ile gerçekleşir. Bu fiziki hadiseler neticesinde, anormal ısınmış bölgelerdeki yeraltı suları, hidrotermal kaynaklar olarak sıcak su veya buhar çıkışları şeklinde yüzeyde görülür. Jeotermal enerji yerküre içindeki içsel enerjinin bir sonucudur. Yerin yüzeye yakın kısımlarında jeotermal enerji, geçirimli kanallarda ve gözenekli ortamlarda hidrolik konveksiyon ile kontrol edilir. Bunun neticesinde, jeotermal enerji yüzeye yakın derinliklerde sıcak su ve buhar şeklinde yoğunlaşarak erişilebilecek derinliklerde hidrotermal sistemleri oluşturur.

Jeotermal kaynak, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde 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 ihtiva edebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir.

Jeotermal enerji ise bunlardan dolayı veya doğrudan her türlü faydalanmayı ihtiva etmektedir. Ayrıca, herhangi bir akışkan ihtiva etmemesine rağmen, bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanan, yerin derinliklerindeki "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.

Ülkemiz jeotermal sistemlerin oluşmasında etkili olan unsurların yaygın olmasından dolayı, jeotermal enerji potansiyeli yönünden zengindir. Türkiye aktif Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı üzerinde bulunan coğrafi pozisyonuna bağlı olarak jeolojik açıdan çok kırıklı olması ve magmatik-volkanik etkinliklere maruz kaldığından, jeotermal kaynak zenginliği bakımından Dünya da 7. sırada, Avrupa da ise 1. sırada yer almaktadır.

Enerji, sanayileşme ve kalkınmanın ana girdisidir. Bütün dünyada olduğu gibi ekonomik ve sosyal gelişmişliğin önemli göstergesi kişi başına tüketilen enerji miktarı ve tüketilen enerji kaynağı çeşitliliğidir.

Enerji kaynaklarının farklı fonksiyonlar ve çevresel etki anlamında, kendilerine has özellikleri vardır. Burada önemli olan ekonomik, sosyal ve çevresel gelişmelere yönelik hem günümüz hem de gelecek için enerji çeşitliliği dengesinin sağlanmasıdır.

Ülkemizde hayat seviyesi her geçen gün artan enerji tüketimi yönünden gelişmişlik göstermektedir. Ancak ülkemiz çok çeşitli enerji kaynağına sahip olmakla birlikte mevcut enerji kaynakları tüketimi karşılayamamakta, üretilenden fazlası tüketilmektedir. Eğer yerli enerji kaynaklarında kullanım çeşitlendirilmez ve enerji tüketimindeki artış bu hızla devam ederse ihtiyacın karşılanmasında dışa bağımlılık giderek artacaktır. Bu bakımdan Türkiye, enerji kaynaklarını en ekonomik ve azami derecede istifadeyi sağlayacak biçimde değerlendirmek, tükenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif enerji kaynaklarını da kullanmak zorundadır. Ülkeler son zamanlarda yenilenebilen, uzun vadede ucuza mal edilebilen temiz enerji kaynaklarından

yararlanmaya yönelmektedir. Bu bakımından enerjiye güvenilir bir şekilde ve düşük bedelle ulaşmak son derece önemlidir.

Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji, yenilenebilir, kirlenici etkisi olmayan, çevre dostu, yerli, sürdürülebilir özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür.

2.1. Dünyada Jeotermal Enerji

Dünyada jeotermal enerjiden elde edilen elektrik üretimi 8912 MWe, elektrik dışı kullanım ise 27825 MW'dır. Elektrik enerjisi olarak yıllık üretim 72,6 milyar KWh, 27825 MWt ise 4,9 milyon konutu ısıtmaya eşdeğerdir.

Dünyada jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke sıralaması:
ABD, Filipinler, İtalya, Meksika ve Endonezya'dır.

Dünyada jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke sıralaması ise Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve TÜRKİYE şeklindedir. Dünya jeotermal potansiyelinin 1/8'i ülkemizdedir.

2.2. Ülkemizde Jeotermal Enerji

Ülkemiz 600'ü sıcak su tabii çıkışı olmak üzere 1000 civarında sıcak ve mineralli tabii çıkışlara sahiptir.

MTA Genel Müdürlüğü'nün 1962 yılından buyana yapmış olduğu jeotermal etüt ve aramalar sonucu 187 adet jeotermal saha keşfedilmiş olup bu sahalardan yaklaşık 200000 metre derinlikte olmak üzere 447 adet sondaj yapılmış ve 3353 MWt potansiyel görünür hale getirilmiştir.

Tabii çıkışların yaklaşık kullanılabilir kapasitesi 600 MWt ile birlikte Türkiye'nin açığa çıkarılmış jeotermal enerji olarak toplam kullanılabilir kapasitesi 3953 MWt'dir. Bugün bu kapasitenin yaklaşık % 33'ü kullanılmaktadır.

Türkiye'nin teorik jeotermal enerji potansiyeli 31500 MWt olarak kabul edilmektedir. Ülkemiz bu potansiyel ile Dünyada 7. Avrupa da ise 1. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin bugün jeotermal enerjiyi doğrudan kullanımı 1306 MW termaldir. Doğrudan kullanım açısından ise Dünyada 5. durumdadır.

3. KULLANIM ALANLARI

Jeotermal sahalardan üretilen akışkan, sıcaklık değerlerine göre değişik alanlarda kullanılmaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalarda üretilen akışkan sera, konut, zirai kullanımlar gibi ısıtmacılık uygulamalarında, yiyecek kurutulması, kerestecilik, kâğıt ve dokuma sanayi, dericilik ve soğutma tesisleri gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen akışkandan ise elektrik üretimi ve entegre olarak diğer alanlarda da yararlanılmaktadır.

Türkiye'nin toplam 1306 MWt'lık doğrudan kullanımının 671 MWt'lık kısmı 15 değişik ilde konut ve tesis ısıtmacılığında (yaklaşık 70 bin konuta eşdeğer), 233 MWt'lık kısmı 1.200.000 m² sera ısıtmasında, 402 MWt'lık kısmı 215 adet termal tesiste kullanılmaktadır. Ayrıca Denizli Kızıldere sahasında 120 bin ton CO₂ kuru buz üretilmektedir.

3.1. Elektrik Üretimi

Türkiye'de elektrik üretimine uygun 13 olan saha sayısı 16'ya çıkarılmıştır. Bu sahaların görünür hale getirilmiş kapasitesi 112 MWe civarındadır. Tüm sahaların geliştirme çalışmaları yapıldığında bu kapasite 590 MWe'ye çıkarılacaktır.

Bu sahalardan Denizli-Kızıldere de 15 MWe Kurulu güce sahip santralden 12 MWe, Aydın-Salavatlı da 7,4 MWe'lik kurulu güce sahip santralden 7 MW elektrik üretilmektedir. Kızıldere'deki santral 2007 yılı içerisinde 7500 saat çalışarak 94 milyon KWh elektrik üretilmiştir. Ayrıca Aydın-Germencik'te 45 MWe'lik santral kurma çalışmaları devam etmektedir.

3.2. Termal ve Kaplıcalar

Tıpta "Termomineral Sular" olarak adlandırılan termal suyun kaplıcada kullanılabilmesi için o suyun yeraltından çıkan tabii termal su olması, sıcaklığının 20 °C üzerinde bulunması, litresinde ise en az 1 gram mineral bulunması gerekmektedir. Türkiye'de yılda 10 milyon kişi kaplıcalara gitmektedir. Uzmanlar, ister sağlıklı, ister müzmin bir rahatsızlığı olsun herkesin hastalık durumlarında tedaviyi güçlendirmek, sağlıklı durumlarda ise bağışıklık sistemini güçlendirmek için yılda bir kez kaplıca kürü almasını tavsiye etmektedir.

Kaplıcaların tedavi maksatlı olarak tavsiye ettikleri başlıca hastalıklar:

Solunum sistemi hastalıkları, Cilt hastalıkları, Kas iskelet sistemi hastalıkları, Kalp dolaşım sistemi hastalıkları, Mide bağırsak hastalıkları, Böbrek ve idrar yolları hastalıkları, Kadın doğum hastalıkları, Nörolojik hastalıklar.

Bu kaplıcalardan bazıları;

Afyonkarahisar-Gazlıgöl, Afyonkarahisar-Ömer, Afyonkarahisar-Sandıklı-Hüdayi, Ankara-Kızılcahamam, Balıkesir-Gönen, Bursa-Çekirge, Bursa-İnegöl, Çanakkale-Ezine, Denizli-Pamukkale, Eskişehir-Sarıcakaya, İzmir-Çeşme, Konya-Ilgın, Kütahya-Harlek (ılıcaköy), Manisa-Demirci, Muğla-Köyceğiz, Samsun – Havza, Sivas-Kangal, Tuzla ve Yalova 'dır.

3.3. Seraların Isıtılması

Jeotermal enerjinin kullanım alanlarından biri de sera ısıtıcılığıdır. Ülkemizde 1.200.000 m²'lik sera alanı jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır.

Bu alanlardan bazıları:

Balçova, Seferhisar, Afyonkarahisar-Ömer, Sivas-Sıcakçermik, Edremit-Havran, Sandıklı-Hüdai, Urfa-Karaali, İzmit-Dikili ve Sındırgı-Hisaralan'dır.

3.4. Konutların Isıtılması

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

Bu sahaların başlıcaları;

Gönen (Balıkesir), Kızılcahamam (Ankara), Sandıklı (Afyonkarahisar), Sarayköy (Denizli), Edremit (Balıkesir), Diyadin (Ağrı), Simav (Kütahya), Narlidere+Balçova (İzmir), Kozaklı (Nevşehir), Salihli (Manisa), Bigadiç (Balıkesir), Afyonkarahisar ve Kırşehir'dir.

4. JEOTERMAL KAYNAKLARIN KORUNMASI ve ÇEVRE TESİRLERİ

Jeotermal alanlarda yer alan doğal sıcak su çıkışları, artezyenik olmayan kuyular ve zayıf zonlar jeotermal sistemin kirlenmeye açık alanlarıdır. Bu alanların yapılacak olan jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler ışığında korunması gereken kısımlarının belirlenip gereken tedbirlerin alınması ve bunlara uyulması gerekmektedir.

Jeotermal kaynak alanlarının korunması, kaynağın sürdürülebilirliğinin sağlanması, kirlenmeye uğurlardan korunması, ayrıca kullanımı ve tesis yönüyle de korunması gayesiyle jeotermal sahalarla koruma alanlarının belirlenmesi ve bu alanlarda belirlenen tedbirlere uyulması gerek arama ve gerekse işletme dönemlerinde büyük önem taşımaktadır.

Çevre tesirlerine gelince:

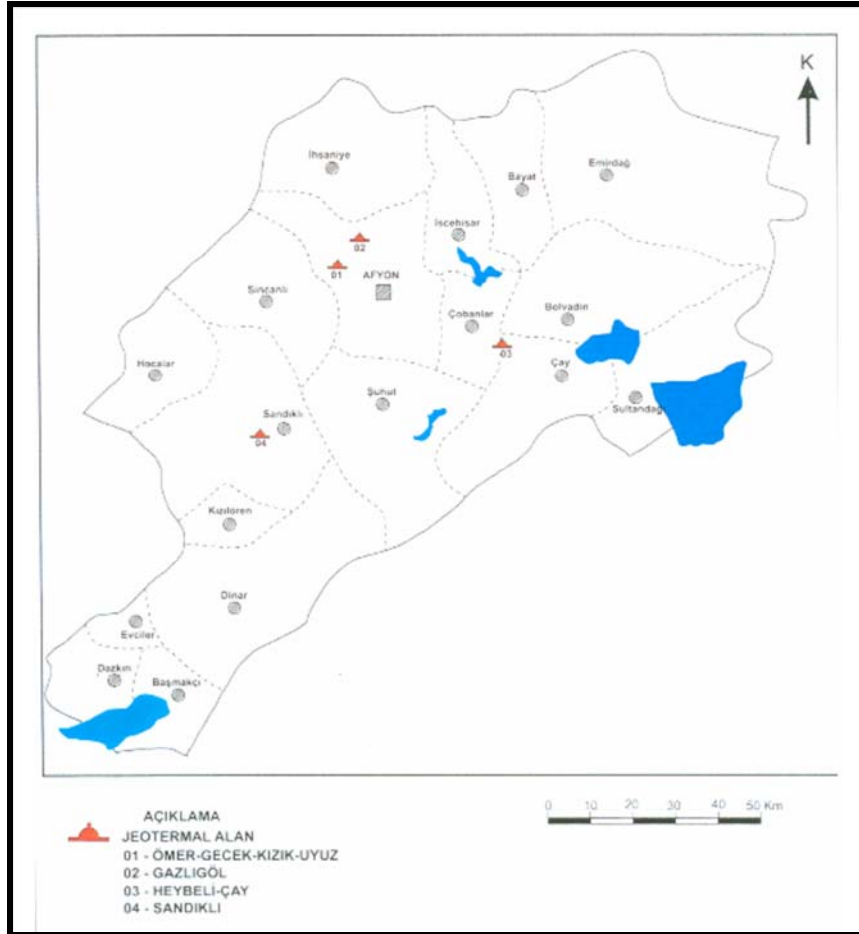
Jeotermal kaynaklardan yararlanılabilmesinde önemli faktörlerden biri de hiç şüphesiz akışkanın kimyasal bileşimidir. Akışkanın içerisinde eriyik halde bulunan mineraller üretim kuyularında, iletim hatlarında ve eşanjörler içerisinde kabuklaşmalara ve korozyon etkilerine sebep olabilmektedir.

Ayrıca, Jeotermal akışkanlar bünyelerinde Bor ihtiva etmektedir. Bor elementinin akışkan içerisinde az miktarda bulunması halinde bitkilerin gelişmeleri ve büyümeleri açısından önemli bir element olmakla birlikte, akışkan içerisindeki konsantrasyonun fazla olması halinde bitkileri çürütüp, toprakta birikerek toprağı çoraklaştırmakta, hatta toprağı kullanılamaz hale getirmektedir.

Jeotermal akışkanlar içinde insan ve hayvan sağlığını tehdit eden Arsenik, Civa, Kadmiyum, Kurşun, Krom vb. ağır metaller bulunmaktadır. Bu yüzden içme ve kullanma suyu temin edilen yüzeysel ve yeraltı sularına jeotermal akışkanların karışması halinde bu suların kalitelerinin bozulmasına, hatta kullanılamaz hale gelmesine sebep olmaktadır.

5. AFYONKARAHİSAR İLİ JEOTERMAL ALANLARI

Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde dört adet jeotermal alan bulunmaktadır (Şekil 1). Kaynak ve kuyulardan elde edilen sular termal, kaplıca, seraların ısıtılması ve konutların ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 1. Afyonkarahisar il sınırları içerisindeki jeotermal alanlar.

5.1. Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı

Çizelge 1. Ömer-Gecek jeotermal alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Ömer hamamı kaynakları	51-64	2,5*
Gecek hamamı kaynakları	52-64	1,5*
Kızık-Uyuzhamamı kaynakları	46-74	2,10*

*Toplam debileri göstermektedir.

Ömer-Gecek alanındaki kuyulardan elde edilen sıcak akışkan ile Kızık-Uyuz yöresindeki tabii kaynaklar kaplıca maksatlı kullanılmaktadır. Ayrıca Ömer-Gecek yöresinde bir otel ve 35 villa tipi motelin yanı sıra sera ısıtmacılığı yapılmaktadır. Kuyulardan elde edilen sıcak akışkandan Afyonkarahisar şehrinin bir kısmının ısıtılmasında yararlanılmaktadır.

5.2. Gazlıgöl Jeotermal Alanı

Gazlıgöl mahallesi doğusu ile Alçın çayı arasında 14 adet sıcak su kaynağı bulunmaktadır.

Bunlardan önemli olanları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2. Gazlıgöl jeotermal alanındaki kaynaklar

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Kükürtlü Kaynağı	54	1,5
Eski Hamam	47,8	0,5
Yeni Hamam	38-46	0,17-0,5
Açık Hamam	58	0,5

Bu alandaki sıcak suları kaplıca maksatlı kullanılmaktadır.

5.3. Heybeli-Çay Jeotermal Alanı

Kaynaklar Heybeli kaplıcaları ve Karaburun mevkiinde yüzeylenmektedir.

Çizelge 3. Heybeli-Çay jeotermal alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Heybeli Kaynakları	36,5-50	0,1-3,8
Karaburun Kaynakları	30	0,5
Çobanhamamı Kaynakları	30	0,7
Karaburun T.Kuzey koyu	30	0,2

5.4. Sandıklı Jeotermal Alanı

Çizelge 4. Bölgede geniş bir alana yayılmış çok sayıda sıcak su kaynağı vardır

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Hamamçay Kaynakları	45-70	112*

*Beş adet kaynağın toplam debisi. Sıcak sular ısıtmacılıkta ve balneolojide kullanılmaktadır.

8. SONUÇLAR

Ülkemizde jeotermal kaynaklar, önemli bir enerji kaynağıdır. Bu kaynaktan enerji üretimi, kaplıcalar, sağlık turizmi, sera ve konutların ısıtılması gayesiyle kullanılmaktadır. Ancak bu kullanımların çevre ile uyumlu bir şekilde daha da yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu kaynakların en uygun şekilde kullanımlarının planlanması, korunması ve tekrar geri kazanılması önem kazanmaktadır.

9. KAYNAKLAR

MTA “Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri” 2005/ANKARA

DSİ Faliyet Raporu, 2006/ANKARA

Ünalın, G., 1997. Türkiyenin Enerji Kaynakları. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, ANKARA

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE JEOTERMAL KAYNAKLARIMIZ

DAĞISTAN, H.

MTA Genel Müdürlüğü Enerji Dairesi Başkanlığı, Ankara
hayrullah@mta.gov.tr

ÖZET

Günümüzde, pek çok ülkede sürdürülebilir kalkınmayı sürdürülebilir enerji yolu ile elde etmeye yönelik ulusal programlar tatbik edilmekte ve belirlenmiş sürdürülebilir hedeflere ulaşmak için stratejiler geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda, özellikle geçiş ekonomisine sahip ülkelerde enerji verimliliğinin artırılması ve kaynakların çeşitlendirilmesine yönelik gayretler devam etmektedir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi giderek önem kazanmakta ve teşvik edilmektedir. Başlıca hidrolik, güneş, rüzgâr ,biyokütle, jeotermal, dalga ve gel-git'in oluşturduğu yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik, güneş ,rüzgar ve jeotermal enerji açısından ülkemiz önemli bir potansiyele sahiptir.Bu kaynaklarımızdan jeotermal enerji ye detaylı olarak değinilecektir.

MTA Genel Müdürlüğü'nün 1962 yılından bu yana yapmış olduğu prospeksiyondan başlayarak jeolojik, hidrojeolojik, jeokimya ve jeofizik etüt çalışmaları sonunda 186 adet jeotermal saha keşfedilmiş olup bu sahalarda toplam 192500m derinlikte olmak üzere 446 adet sondaj yapılmış ve 3328 MWt potansiyel görünür hale getirilmiştir. Doğal çıkışların yaklaşık kullanılabilir kapasitesi olan 600 MWt ile birlikte Türkiye'nin jeotermal enerji olarak toplam kullanılabilir kapasitesi 3928 MWt' dir.

Türkiye'nin teorik jeotermal enerji potansiyeli 31500 MWt olarak kabul edilmektedir (1). Ülkemiz bu potansiyeli ile Dünya da 7. Avrupa da ise 1. konumdadır. Türkiye'nin bugün jeotermal enerjisi doğrudan kullanım kapasitesi 1306 MWt'dir. Doğrudan kullanım açısından ise Dünyada 5. durumdadır. Günümüzde MTA Genel Müdürlüğü'nün ortaya çıkarmış olduğu bu jeotermal potansiyelden elektrik üretimi, konut-sera ısıtılması, termal turizm gibi alanlarda yararlanılmaktadır. Türkiye'nin toplam 1306 MWt'lık doğrudan kullanımının 671 MWt'lık kısmı 15 değişik ilde konut ve tesis ısıtmacılığında, 232 MWt'lık kısmı 1200.000 m² sera ısıtmasında ve 402 MWt'lık kısmından 215 adet termal tesiste yararlanılmaktadır.

Türkiye'de elektrik üretimine uygun 13 olan saha sayısı 15' e çıkartılmıştır. Bu sahaların görünür hale getirilmiş kapasitesi 112 MWe civarındadır. Tüm sahaların geliştirme çalışmaları yapıldığında bu kapasite 565 MWe' ye çıkacaktır (2). Bu sahalardan Denizli-Kızıldere' de 15 MWe kurulu güce sahip santralden 12 MWe, Aydın-Salavatlı'da 7,4 MWe'lik kurulu güce sahip santralden 7 MW elektrik üretilmektedir. Kızıldere'deki santral 2006 yılı içerisinde 7500 saat çalışarak 94 milyon KWh elektrik üretmiştir. Ayrıca

Aydın-Germencik'te 45 MWe'lik, jeotermal elektrik santrali kurma çalışmaları devam etmektedir.

Jeotermal enerji arama-araştırma ve üretim konusunda 5686 sayılı Kanun 13.06.2007 tarihinde çıkmıştır. Yeni yasal düzenlemeler ile yatırım güvenliğinin sağlanması, ülkemizde jeotermal enerji yatırımlarına büyük bir ivme kazandıracak ve böylece yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında ülkemizde önemli bir yere gelinecektir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, jeotermal , verimlilik.

1. GİRİŞ

Enerji sanayileşme ve kalkınmanın ana girdisidir. Dünya'da ekonomik ve sosyal gelişmişliğin bir göstergesi de tüketilen enerji kaynağıdır. Küresel enerji tüketiminde 2006 sonu itibariyle, fosil yakıtlar ve nükleer enerjinin payı % 82, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise % 18 civarındadır (9). Küresel elektrik üretiminde yenilebilir kaynakların payı % 3.4, büyük hidroliklerin payı % 15, nükleer ve fosil yakıtların ise % 81olarak gerçekleşmiştir. Bir başka açıdan 2006 sonu itibariyle Dünyada yenilenebilir kaynakların elektrik kurulu güçlerine ayrı ayrı baktığımızda (Gigawatt olarak) büyük hidrolik güç 770, rüzgar türbinleri 74, küçük hidrolik güç 73, biyo kütle gücü 45, jeotermal güç 9.7, güneş fotovoltaik –grid hatlı 5.1, güneş grid hatsız 2.7, konsantre solar ısı gücü 0.4, okyanus gelgit gücü 0.3 dür. Isıtma açısından ise (Gigawatt termal olarak) biyokütle ısıtması 235, jeotermal ısıtma 33, solar kolektör ısıtması 105 olduğu görülmüştür.

Ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretimi hedeflerine bakıldığında; Avrupa birliği ülkelerinde örneğin Avusturya 'da mevcut % 23 paya sahipken 2020 de % 34 ' e çıkartmak, İngiltere'de mevcut pay % 1.3 iken 2020 de % 15 e çıkartmak, Almanya'da mevcut pay % 5 .8 iken 2020 de % 18 e çıkartmak hedeflenmiştir. Gelişmekte olan ülkelerden Çin'de de mevcut pay % 8 iken 2020 de % 15, Endonezya'da mevcut pay % 3 iken 2020 de % 15 e çıkartmak hedeflenmektedir(9). Hedeflere bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı yakın gelecek için büyük teknolojik gelişmeler ve yatırımların olacağı görülmektedir.

Jeotermal enerjide ise elektrik üretiminde 9700 Mw kurulu güç olduğu ısıtma uygulamalarının ise 33000 Mw termal civarına ulaştığı görülmüştür. Ayrıca jeotermal kaynaklardan ısının enerjiye dönüştürülmesi amacıyla teknolojilerin geliştirildiği bilinen flashing ve çift çevrim sistemli santrallere ilaveten düşük sıcaklıklı(70°C civarında) jeotermal kaynaklardan Kw mertebesinde güç santrallerinin yapılarak bunlardan da enerji üretiminin mümkün olduğu görülmüştür. Daha önceleri kızgın kuru kaya çalışmaları şeklinde başlatılan ısı madenciliği çalışmalarında büyük gelişme kaydedildiği ve geliştirilmiş jeotermal sistem (EGS) modeli şeklinde; öncelikle derin (3-5 km civarında) kuyular açılarak sıcak kristalin kayaçlara ulaşılması halinde o derinliklerde kırık ve çatlaklar geliştirilerek rezervuar şartları oluşturulup, taşıyıcı akışkanlar vasıtasıyla ısı madenciliğinin yapılabildiği ve rezervuar modellenmesinin yapıldığı projeler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Özellikle Avustralya'da 8 adet projenin yürütüldüğü bilinmektedir. Çok yakın gelecekte bu sistemlerden ticari anlamda

verim alınacağı belirtilmektedir. Isıyı taşıyıcı olarakta karbondioksit gazının kullanılması halinde daha başarılı olunacağı düşünülmektedir. Bu sistem mevcut jeotermal sistemlere de uygulanarak jeotermal sistemlerin verimliliği büyük oranda artırılabilir.

Jeotermal kaynaklara dayalı ABD kurulu gücünün 2.8 Giga watt olduğu 2050 yılında EGS sistemleri ile bu gücün 100 Gw ta çıkartılacağı düşünülmekte olduğu belirtilmektedir(9). EGS sistemi çeşitli uluslar arası (Dünya Bankası vs.) kredileri ile ülkemizde de uygulanabilir.

Enerji kaynaklarının fonksiyonel özelliği ve çevresel etkileri anlamında, kendilerine has özellikleri vardır. Burada önemli olan ekonomik, sosyal ve çevresel gelişmelere yönelik hem günümüz hem de gelecek için Enerji çeşitliliği dengesinin sağlanmasıdır. Ülkemiz ölçeğinde ise bunu sağlarken potansiyel arz eden yerli kaynaklarımızın sosyal ve ekonomik gelişmelere paralel olarak, yeni teknolojik imkanlardan da yararlanılarak, çevreyle uyumlu bir biçimde kısa ve uzun vadede üretim ve tüketim planlamalarının yapılarak harekete geçirilmesidir.

Ülkemizin enerji kaynaklarına göre kurulu gücü ve tüketim durumu Çizelge 1'de verilmiştir. 2004 yılı itibariyle kurulu gücümüz 37417 MW iken üretimimiz 151 Milyar kWh/yıl olmuştur. 2007 yılı kurulu gücümüz yaklaşık 40846 MW iken 191 milyar kWh elektrik üretimi yapılmıştır. Kaynaklara göre dağılımı ise kömür % 27,5, akaryakıt % 3,9, doğalgaz % 46, hidroelektrik % 22,5 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1).

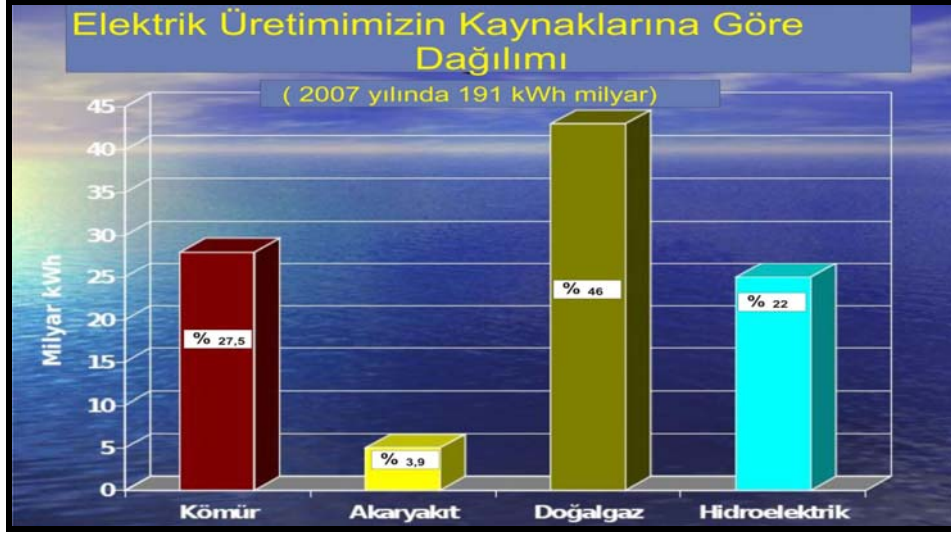
Çizelge 1. 2007 yılı enerji kurulu güç ve yıllık enerji üretimi.

	Kurulu Güç (MW)	Üretim Kapasitesi (Milyar kWh/yıl)	Fiili Üretim Kapasitesi (Milyar kWh/yıl)	Kapasite Kullanımı (%)
Kömür	10 520	69.1	47.9	69
Akaryakıt	3 170	20.8	6.8	33
Doğalgaz	13 608	102.2	74.4	73
Hidroelektrik	13 384	48.1	43.5	90
TOPLAM	40 846	241.8	174	72

NOT : Toplam içerisine jeotermal ve rüzgar enerjisi de dahil olup, Çizelgede verilmemiştir, (TEİAŞ, 2007).

Ülkemiz enerji üretiminin yaklaşık % 70'i ithal kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji Bakanlığımız enerji üretiminde yerli kaynakların oranının artırılması ve çeşitlendirilmesi yönünde çalışmalar yapmaktadır. Bu amaçla yerli linyit yataklarımızın devreye alınması yanında, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları ile nükleer enerji üretimi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ülkemizin Enerji ihtiyacı son yıllarda ekonomik büyümeye ve nüfus artışına bağlı olarak her yıl yaklaşık % 7-8 civarında artış göstermektedir. Bu artışı karşılamak için üretimimizin de her yıl en az bu oranda artması, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımızın tam kapasite sürdürülebilir

biçimde kullanmaya çalışmamız gerekmektedir. Çünkü kömürden sonra en büyük yerli enerji kaynağımızı yenilenebilir enerji kaynaklarımız oluşturmaktadır. Bunlara kısaca değinecek olursak;



Şekil 1. Elektrik üretimimizin kaynaklarına göre dağılımı.

Hidrolik: teorik potansiyel 433000 Gwh, teknik potansiyel 216000Gwh ve ekonomik potansiyel ise 130000 Gwh/yıl olup bunun % 35'i(45300Gwh/yıl) kullanılmakta ve %8'i (10600 Gwh/yıl) ise yapım aşamasındadır.

Jeotermal : teorik ısı potansiyeli 31500 MW termaldir.İspatlanmış fiili kullanılabilir teknik kapasite 3928 Mwt olup %33 (1306 Mwt) ü kullanılmaktadır. Elektrik teknik potansiyel ise 565 MWe (keşfedilen 15 saha) fiili kurulu güç ise 22,4 MWe olup, 19 MWe üretilmektedir.

Rüzgar enerjisi: teorik potansiyeli 88000 MW olup ekonomik potansiyel 10000 MW'dır.Teknik potansiyel yıllık ortalama 8,5 m/s rüzgar hızı için 5000 MW, yıllık ortalama 7 m/s rüzgar hızı için 48000 MW tir.Kurulu güç ise 146 MW olup 600 MW inşa aşamasındadır ve 2126 Mw ise lisans almış proje aşamasındadır.

Güneş: Güneş ışığı radyasyonu yıllık ortalama 1,311 kwh/m2 ve güneş ışığı alım süresi yıllık ortalama 2640 saat tırTeknik potansiyel 405000Gwh (DNI>1800 kwh/m2-yıl)ve 131000Gwh (DNI>2000 kwh/m2-yıl)dır.Güneş enerjisi Ülkemizde sadece ısı enerjisi olarak kullanılmakta olup, 11 milyon m2 kollektör alanı ile 400 Bin ton petrol eşdeğeri güneş ısıtması yapılmakta ve Dünyada ikinci durumdadır .

Biyokütle: Biyokütle potansiyelimiz 8,6 milyon ton petrol eşdeğeri olup 600 milyon ton petrol eşdeğeri kullanılmaktadır. Biyokütle kaynaklı enerji santralımız

bulunmamaktadır. Biyokütlenin çoğu evlerde ısınma amaçlı kullanılmaktadır" biyodizel kurulu kapasite 1 milyon ton / yıl olup yıllık üretim 100000 tondur Biyogaz enerji üretim potansiyeli 1.5-2 Mtoe kabul edilmektedir. Kurulu güç 5 MW'dır. Ticari biyokütle ve atıkları, biyokütle atık yakmalı kurulu gücümüz (2003 yılı) 27.6 MW'dır..(8).

Yenilenebilir enerji kaynaklarımız içerisinde önemli bir potansiyele sahip olan ve bu potansiyeli ile Dünya Jeotermal Potansiyelinin yaklaşık 1/8'ini teşkil eden jeotermal kaynaklarımız bu makalede detaylıca ele alınacaktır.

Jeotermal kaynak, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde 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. Jeotermal enerji ise bunlardan dolayı veya doğrudan her türlü faydalanmayı kapsamaktadır. Ayrıca, herhangi bir akışkan içermemesine rağmen, bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.

Yağmur, kar, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayacık kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, jeolojik koşulların devam ettiği, reenjeksiyon işleminin yapıldığı ve beslenme-üretim değerlerine uyulduğu takdirde yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar ve kısa süreli atmosferik koşullardan etkilenmezler.

Düşük (20-70 °C) ve orta sıcaklıklı (70-150 °C) sahalar bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında, başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (Lityum, $KaCl_2$, borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO_2 den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır (3). Ancak orta sıcaklıklı sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Yüksek sıcaklıklı(150 °C'den yüksek) sahalardan elde edilen akışkan ise elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir. (4)

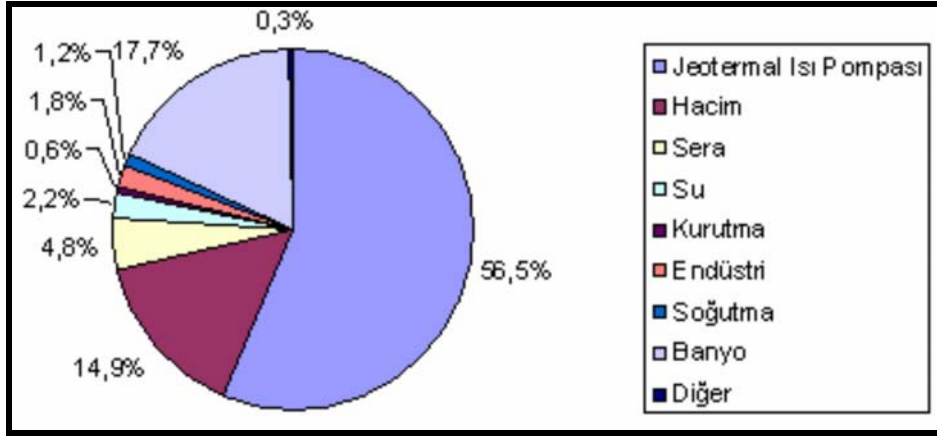
Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli bir enerji türüdür. Çevre kirliliği ve fosil yakıtların giderek azalan rezervleri nedeniyle yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan bir şekilde kullanılmaktadır.

2. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİ

Dünyadaki yüksek sıcaklıklı kuşaklar genellikle kıtaların oluşturduğu plaka sınırlarında yer almaktadır. Buralarda depremler ve volkanik hareketlerde yaygındır. Türkiye'de böyle bir kuşakta yer aldığından jeotermal enerji bakımından öneme sahip bir ülkedir.

Dünyada jeotermal enerjiden elde edilen elektrik üretimi 2007 yılı verilerine göre 9700 MWe, elektrik dışı kullanım ise 33000 MW'dır. Elektrik enerjisi olarak yıllık üretim 80 milyar KWh, 33000 MWt ise 5,2 milyon konutu ısıtmaya eşdeğerdir (9). Dünyada jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke sıralaması: ABD, Filipinler, İtalya, Meksika ve Endonezya şeklindedir. Dünya'da jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke sıralaması ise Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve TÜRKİYE şeklindedir.

Dünya'da, Jeotermal ısı % 33 alan ısıtmada, % 15 kaplıcalarda, % 13 olarak balık çiftliklerinde, % 12 ısı pompalarında, %12 seracılıkta, % 10 endüstride, %1 buz eritme, havalandırmada, % 1 kurutmada, %3 de diğer alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 2).



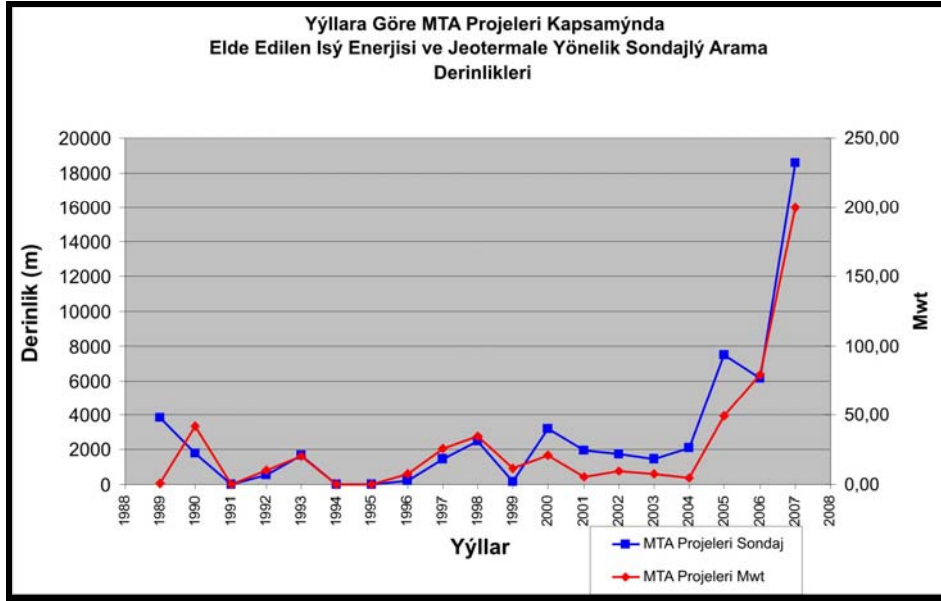
Şekil 2. Jeotermal elektrik dışı uygulamaların dünyadaki kullanım yüzdeleri

3. TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL ENERJİDE MEVCUT DURUMU ve POTANSİYELİ

Türkiye önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. MTA Genel Müdürlüğü'nün 1962 yılından bu yana yapmış olduğu jeolojik, hidrojeolojik, jeokimya, jeofizik etüt çalışmaları sonunda 186 adet jeotermal saha keşfedilmiş olup bu sahalarda 446 adet, toplam 192500 m derinlikte sondaj yapılmış olup, 3328 MWt potansiyel görünür hale getirilmiştir (4). Doğal çıkışların kullanılabilir kapasitesi 600 Mwt ile birlikte Türkiye'nin jeotermal enerji olarak toplam kullanılabilir kapasitesi 3928 Mwt, dir. 1989 yılından bu yana durma noktasına gelen jeotermal enerji arama çalışmaları; 2005 yılında başlatılan jeotermal enerji arama seferberliği ile yeniden canlandırılmıştır.

2007 yılı için 6000 km² prospeksiyon, 2150 km² etüt, 1345 nokta jeofizik etüt ve toplam 18.600 m sondaj olmak üzere jeotermal arama çalışmaları planlanmıştır. 2007 sonu itibarıyla 3575 km² prospeksiyon, 1689 km² etüt ve 1518 nokta jeofizik çalışma ile 21 adet jeotermal arama sondajı tamamlanarak 17.000 m sondaj yapılmış ve bunun sonucunda açığa çıkarılan akışkanların toplam ısı değeri 185 MWt'dir. Bu ısı enerjisi 18000 konut eşdeğeri ısıtmaya bedeldir.

Elektrik enerjisi üretimine uygun elde edilen sonuçlar; Aydın-Atça (124 °C, 90 lt/s), Aydın-Hıdırbeyli-1 (121°C, 182 lt/s-5 MWt elektrik üretilebilecektir), Aydın-Hıdırbeyli-2 (143°C, 92 lt/s-2,8 MWt elektrik üretilebilecektir), Denizli-Karataş (137°C, 45 lt/s-üretim sağlanmış aynı zamanda reenjeksiyon amaçlı geliştirme çalışmaları tamamlanmış ve 200 ton/saat akışkanı (16 bar basınçla) kabul ettiği görülmüştür),



Şekil 3. Yıllara göre MTA projeleri kapsamında elde edilen ısı enerjisi ve jeotermale yönelik sondajlı arama derinlikleri

Sera, konut ısıtması ve termal turizme uygun olarak, Amasya-Hamamözü (42°C, 100 lt/s), K.Maraş-Ilıca (41 °C, 10 lt/s), Afyon-Erkmen (54,7 oC, 35 lt/s), Ankara- Çağa-2 (58 °C, 60 lt/s), Kayseri-BayramHacılı (38 °C, 30 lt/s), İzmir -Bergama BMTA-1 (61 °C, 24 lt/s), Samsun Havza (40 °C, 3 lt/s), Konya-Cihanbeyli (49 °C, 38 lt/s), Mersin-Camili (45,5 °C, 35,5 lt/s), İzmir-Poyracık (37°C, 5 lt/s), Ankara-Bey pazarı (43 °C, 3 lt/s), İzmir-Dikili-Kocaoba (41 °C, 6 lt/s), Mersin-Mut-Keben (45 °C, 30 lt/s), Kütahya-Şaphane (70°C, 25 lt/s) sıcaklık ve debide jeotermal akışkanlar elde edilmiştir. İzmir-Torbalı, Nevşehir-Kozaklı, Aydın-Umurlu-Serçeköy, Bursa-Keramet, Aydın-Pamukören, Aydın-Çiftlik, Aydın-Umurlu, Konya-Hüyük-Çavuş'da sondajlı arama çalışmaları devam etmektedir.

Türkiye'nin teorik jeotermal ısı potansiyeli 31500 Mwt olarak kabul edilmektedir. Ülkemiz bu potansiyeli ile Dünya da 7. Avrupa da ise 1. konumdadır. Bu potansiyelin ancak yaklaşık %12,5' i (3928Mwt) görünür hale getirilmiş ve bu görünür kapasiteninde % 33'ünden doğrudan veya dolaylı olarak yararlanılmaktadır. Jeotermal alanlarımızın %38'i konut ısıtması, %7'si elektrik üretimi ve %55'i ise diğer kullanımlar için uygundur. Jeotermal kaynaklarımızın %78'i Batı Anadolu'da yer

almaktadır. Türkiye'nin bugün jeotermal enerjiyi doğrudan kullanım kapasitesi 1306 MWt dir. Günümüzde MTA Genel Müdürlüğü'nün ortaya çıkarmış olduğu bu jeotermal potansiyelden elektrik üretimi, konut-sera ısıtılması, termal turizm gibi alanlarda yararlanılmaktadır. Türkiye'nin toplam 1306 MWt'lık doğrudan kullanımının 671 MWt'lık kısmı 15 değişik ilde konut ve tesis ısıtımında, 232 MWt'lık kısmı 1200.000 m² sera ısıtımında ve 402 MWt'lık kısmından ise 215 adet termal tesiste yararlanılmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Türkiye Toplam Jeotermal Enerji Potansiyeli, Uygulamaları (2007 Yılı Sonu Gerçekleşme Ve 2008 Yılı Programı)

	Kullanım Şekli	Uygulama / Kurulu Kapasite (Mwt)	Açıklama
	Konut Isıtılması(65000 konut eşdeğeri)	579 / 708	100000 / 124000 Konut Eşdeğeri Toplam Isıtma
	Sera Isıtılması (1200000 m2) Diğer Isıtma (Kür Merkezi, Hastane vs..)	232 92	
2007 YILI SONU	Kaplıca Kullanımı	402	215 Adet
	2007 Yılı Sonu İtibariyle Toplam Doğrudan Kullanım / Kurulu Kapasite	1306 / 1436	
	Elektrik Üretimi (Denizli Kızıldere+Aydın Salavatlı)	22,4 MWe	
PROGRAM			
	2008 yılı Hedefi	300 MWt	

NOT :

31.500 Mwt Teorik Kapasite

3928 Mwt Görünür Kapasite (600 MWt 'lik doğal çıkışlar dahil) (2007 sonu itibariyle)

565 MWe Teorik Potansiyel (Keşfedilen 15 saha)

112 MWe Görünür Kapasite (Keşfedilen 15 saha)

22,4 MWe Kurulu Güç (15 Mwe Denizli Kızıldere, 7,4 Mwe Aydın-Salavatlı Deneme)

2007 Yılı Denizli Kızıldere Elektrik Üretimi 94.000.000 Kw

Karbondioksit kuru buz üretimi 120 000 ton/yıl

Türkiye'de elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 15 adet saha bulunmaktadır ve bu sahalar Batı Anadolu'da yer almaktadır. Bu sahaların görünür hale getirilmiş kapasitesi 112 MWe dir. Tüm sahaların geliştirme çalışmaları yapıldığında bu kapasite 565 MWe'ye çıkacaktır (2). Bu sahalardan Denizli-Kızıldere'de 15 MWe kurulu güce sahip santralden 12 MWe Aydın-Salavatlı'da 7.4 MWe'lik kurulu güce sahip santralden ise 7 MW elektrik üretilmektedir. Kızıldere'deki santral 2007 yılı içerisinde 7500 saat çalışarak 94 milyon Kwh elektrik üretmiştir (5). Ayrıca Aydın-Germencik'te 45

MWe'lik, jeotermal elektrik santrali kurma çalışmaları devam etmektedir ve 2008 sonu elektrik üretimine başlayacaktır.

Türkiye'de jeotermal kaynaklarda doğrudan ve dolaylı olarak yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Bunlar; ısıtma(konut ve sera), elektrik üretimi, termal ve sağlık turizmi, endüstriyel mineral eldesi, içmece şeklindedir. Son yıllarda ısıtma uygulamalarında konut ve serada büyük bir artış gözlenmektedir (Çizelge 1). 2013 yılı için yapılan projeksiyonlarda elektrik üretimi (Şekil 1), sera ısıtması (Çizelge 3) ve diğer uygulamalara bakıldığında önemli miktarda gelişme olacağı ve yaklaşık 2,3 milyar dolarlık bir yatırım alanının (Çizelge 5) olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Türkiye'de 2000-2007 yılları arasındaki Jeotermal Kullanım Karşılaştırması

Kullanım (Kurulu Kapasite)	2000	2007	Artış (%)
Isıtma (Konut + Termal + Sera)	493 MWt	904 MWt	83,3
Balneolojik Kullanım	327 MWt	402 MWt	23
Toplam Doğrudan Kullanım	820 MWt	1306 MWt	59
Mineral Üretimi CO ₂	120000 ton/yıl	120000 ton/yıl	
Elektrik Üretimi	15 Mwe	22,4 Mwe	50
Kurulu Kapasite			
Jeotermal sondajlarla ortaya çıkarılan + doğal çıkışlar	3045 MWt	3928 MWt	22

Çizelge 4. Türkiye'de elektrik üretimine uygun sahalar ve potansiyelleri.

Jeotermal Alan	Sıcaklık (°C)	Durum	2013 Projeksiyonu (MWe)
Denizli-Kizildere	200-242	Kurulu gücü 15 Mw olup saha ihale edildi.	80
Aydın-Germencik	200-232	47,4 Mw santral kurma çalışması devam etmektedir.	130
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	MTA tarafından ihale edilecek	15
Manisa-Salihli-Göbekli	182	MTA tarafından ihale edilecek	15
Canakkale-Tuzla	174	7,5 Mw proje aşamasında ve ek sondajlar devam ediyor.	80
Aydın-Salavatlı	171	Mevcut 7,4 Mwe kurulu güce ilave 9,4 Mwe proje aşamasında.	65
Kutahya-Simav	162		35
İzmir-Seferihisar	153	3,2 Mw proje aşamasında ve ek sondajlar devam ediyor	35
Manisa-Salihli-Caferbey	150	MTA tarafından ihale edilecek	20
Aydın-Sultanhisar	145	MTA tarafından ihale edilecek	20
Aydın-Yılmazkoy	142	MTA tarafından ihale edilecek	20
Aydın-Hidirbeyli	143	MTA tarafından ihale edilecek	10
Aydın-Atca	124	MTA tarafından ihale edilecek	5
İzmir-Balcova	136		5
Aydın-Umurlu	155	MTA tarafından ihale edilecek	25
İzmir-Dikili	130		30
TOPLAM			590

Jeotermal kaynaklarda oluşacak hızlı yatırım büyümesi ve buna bağlı uygulama artışı beraberinde farklı yan sektörlerin de gelişimini sağlayacak ve KOBİ ölçeğinde çok sayıda girişimcinin yer alacağı sektörde yeni iş kollarına ihtiyaç doğacaktır. Önümüzdeki dönemde jeotermal kaynakların yaratacağı sektörler arasında; elektrik üretimi için türbin sektörü, dağıtım ve üretim için izolasyonlu boru sektörü, kabuklaşma-korozyon problemini gidermek için kimyasal inhibitör sektörü, ısıtma uygulamaları için eşanjör, pompa ve ilgili parçalar sektörü, sera uygulamaları için gerekli araç gereç sektörü, kaynakları aramak ve üretmek için sondaj makine sektörü ile sondajcılık sektörü, uygulamalar için plan, proje, fizibilite ve mühendislik sektörü yer alacak ve birçok alanda yeni KOBİ şeklinde örgütlenmeler oluşacağı için, buna bağlı olarak sektörel yatırım alanları gelişecektir. Yatırımların sürekliliğini sağlamak için bilinen jeotermal kaynakların geliştirilmesi ve yeni jeotermal kaynak alanlarının keşfedilmesi artarak devam etmelidir.

Çizelge 5. Türkiye’de Sera Isıtmasında Mevcut Durum ve 2013 Projeksiyonu.

Yer	Sera Alanı	Yaklaşık Güç	2013 Projeksiyonu	2013 Projeksiyonu
	(dekar)	(MWt)	Beklenen (Dekar)	Yaklaşık (Mwt)
İzmir-Dikili	600	116	1000	193,3
Denizli-Yenicekent	5	1	100	20,0
Denizli- Sarayköy	20	3,92	400	78,4
Manisa-Salihli	200	39,2	400	78,4
Manisa-Urganlı	20	3,5	70	12,3
Kütahya-Simav	200	40	350	70,0
Aydın-Gümüşköy	60	9	100	15,0
Afyon-Sandıklı	10	1,96	200	39,2
Afyon Merkez			500	98,0
Nevşehir-Kozaklı	4,5	0,88	20	3,9
Urfa	40	8,2	80	16,4
İzmir-Balçova	44	8,52	100	19,4
Kırşehir-Mahmutlu			200	38,7
İzmir-Aliağa-Samurlu			200	40,0
Manisa-Kula			100	19,6
Balıkesir-Balya			50	9,8
Denizli-Gölemesli			150	26,3
Toplam	1203,5	232,18	4020	778,6

Çizelge 4. Türkiye’de 2013 yılı jeotermal alanında beklenen gelişmeler ve yatırım büyüklüğü.

Jeotermal Uygulama Alanı	2013 Hedefleri	İlave yatırım miktarı (ABD doları)(2013’e kadar)
Elektrik Üretimi	565 MWe (4 milyar kWh)	1,3 milyar USD
Isıtma (konut, termal tesis vs.)	1350 MWt (150.000 konut eş değeri)	500 milyon USD
Sera Isıtması	680 MWt (3,5 milyon m ²)	200 milyon USD
Termal Turizm	300 termal uygulama	500 milyon USD
TOPLAM		2,5 milyar USD

4. JEOTERMAL KAYNAKLAR VE ÇEVRE

Bugün jeotermal enerji kullanımı sonucunda, Dünyada fosil yakıtlarının tüketimi ve bunların kullanımından doğan sera etkisi ve asit yağmuru gazlarının atmosfere atımından dolayı meydana gelen zararlı etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal elektrik santrallerinde CO₂, NO_x, SO_x atımı çok daha düşük olup, özellikle merkezi ısıtma sistemlerinde sıfırdır. Modern jeotermal elektrik santralleri (Binary Cycle Sistem) ile jeotermal ısıtma sistemlerinde jeotermal akışkan, bünyesindeki yoğunlaşmayan gazlar ile birlikte rezervuara geri basılır, böylece dışarı hiç bir şey atılmadığından çevreye olumsuz etkisi söz konusu değildir. Eski tip jeotermal santraller, üretilen her MWh elektrik için en fazla 0,136 kg karbonu dışarı verirler. Bu değer konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında, doğalgaz ile çalışan bir santral için 128 kg/MWh, 6 nolu fuel-oil ile çalışan bir santral için 190 kg/MWh ve kömür ile çalışan bir santral içinse 226 kg/MWh 'tır (DPT, 2001). Eski tip jeotermal santraller, fosil yakıtları ile çalışanların sadece %1'i kadar kükürt atarlar. Ayrıca azot-oksit atışı da fosil yakıtlı santrallere göre çok daha düşüktür. Eski tip jeotermal santrallerdeki partikül atımı, sadece soğutma kulelerinin içindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu da, kömür ve petrol yakan santrallerinkinden 1000 kat daha azdır (DPT, 2001).

Sonuç olarak yeni kuşak Binary jeotermal elektrik santralleri ile jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde hiç bir atım yoktur. Yani tüm istenmeyenler atıklar sifıra yakın olup, bu enerji çevre dostudur. Sıcaklık ve gürültü açısından bakıldığında ise, jeotermal sahaların genellikle yerleşim alanlarından uzakta olmaları nedeniyle, bu konuda problemler yaratmayacağı görülmektedir.

Yine Jeotermal Santrallerde teknolojik gelişmeye paralel olarak;

- Yakıt yakılmadığından, azot emisyonu oluşmamaktadır, sülfür dioksit emisyonu ise çok düşüktür;
- Binary jeotermal santraller sayesinde gaz emisyonu hiç bulunmamaktadır;
- Binary jeotermal santraller ile yüzeye akışkan atılmamaktadır;
- Santraller az alan kaplamakta ve görüntüyü bozmamaktadır.

ABD Enerji Bakanlığı'nın verilerine (6) göre sera etkisi yaratan karbondioksit emisyonunun jeotermalde sifıra yakın olduğu ve diğer fosil ve alternatif enerji kaynaklarında ise çok daha fazla olduğu saptanmıştır. Örneğin bu değer kömür'de 850 - 1300 g/KWh, Doğal gaz'da 500- 1250 g/KWh, Güneş enerjisinde 20 - 250 g/KWh, rüzgar enerjisinde 20-50 emisyon değeri sifıra yakındır.

Türkiye'de jeotermal enerji ile 100.000 konut eşdeğeri ısıtmanın sonucunda yılda ortalama 1 Milyon ton karbondioksit emisyonu havaya atılmamış olmaktadır. Bu değer aynı zamanda trafikteki 596.000 aracın yarattığı yıllık eksoz kirliliğine eşdeğerdir

Türkiye'deki jeotermal uygulamaların CO₂ gazı azaltımına etkisi büyük olmaktadır. Kyoto esneklik mekanizmalarından Türkiye'nin faydalanabiliyor olması bağlamında yeni jeotermal projelere bu açıdan katkı sağlanması faydalı olacaktır.

5. JEOTERMAL KAYNAKLARIN KORUNMASI

Jeotermal alanlarda yer alan doğal sıcak su çıkışları, artezyenik olmayan kuyular ve zayıf zonlar jeotermal sistemin kirlenmeye açık alanlarıdır. Bu alanların yapılacak olan jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler ışığında korunması gereken kısımlarının belirlenip alınması gereken tedbirlerin önerilmesi ve bunlara uyulması gerekmektedir.

Jeotermal kaynak alanlarının korunması, kaynağın sürdürülebilirliğinin sağlanması, kirlenmeye uğurlardan korunması, ayrıca kullanımı ve tesis yönüyle de korunması amacıyla jeotermal sahalarında koruma alanlarının belirlenmesi ve bu alanlarda belirlenen önlemlere uyulması gerek arama ve gerekse işletme dönemlerinde büyük önem taşımaktadır.

Kaynak koruma alanı çalışmaları; jeoloji ve hidrojeoloji çalışmaları, çevre mevzuatında yer alan kriterlere göre yüzeysel kirlenmeye uğurların belirlenmesi, jeotermal sistemin unsurlarını oluşturan beslenme alanı, rezervuar, örtü kaya, ısıtıcı kaya, kaynak çıkış alanı belirlenmesi, kaynağın kirlenmeye uğurlardan korunması amacıyla, koruma alanı zonları ve bu zonlarda alınması gereken tedbirleri içerir.

Koruma alanı çalışmaları; rezervuarın korunmasına yönelik alınması gerekli tedbirler amacına yönelik, kaynağın işletmeye alınmasından önce yapılmış olan üretim testleri sonucunda belirlenen rezervuar parametrelerine göre kuyu bazında ve bu kuyulardan alınabilecek toplam üretim miktarını, kullanımdan dönen akışkanın miktarı ve bu akışkanın yeraltına reenjeksiyonu için uygun lokasyonlar ve uygun kapasitede kuyu sayılarını, üretim testleri sırasında yapılmış ve yapılacak kimyasal testlerle çatlaklı zonların ve üretim kuyularının kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açacak bileşiklerin tespit edilmesi durumunda sürdürülebilir üretimin sağlanması için gerekli uygulamaları içerir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

- 1- Jeotermal enerji yerli, ucuz, yenilenebilir enerji olduğu için, yatırımlar desteklenmeli ve teşvik edilmelidir.
- 2- Reenjeksiyon mutlaka yapılmalıdır: Jeotermal rezervuar parametrelerinin korunması ve çevreye jeotermal akışkanın kontrolsüz atılmaması ve re-enjeksiyonu için mutlaka denetlenmelidir.
- 3- Jeotermal kaynakların araştırma ve üretimine yönelik çalışmalar artarak devam etmelidir.
- 4- Çevre ile uyumlu, yenilenebilir, yerli, ucuz, üstün ve pahalı teknoloji gerektirmeyen zengin jeotermal kaynak potansiyelimizden, bilimsel, teknik ve ekonomik esaslara dayalı olarak, etkin, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde elektrik enerjisi üretimi ve

diğer değerlendirme alanlarında (ısıtma, termal turizm, kimyasal madde eldesi, endüstriyel uygulamalar vb) daha fazla yararlanabilmek amacıyla, bu kaynakların aranması, geliştirilmesi, korunması, üretimi ve kullanılmasına yönelik çalışmalara, ülkemiz enerji arz çeşitliliğinin sağlanabilmesi için, her zaman öncelik verilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Dünya Jeotermal Kongresi, Nisan 2005, Antalya.
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Jeotermal Çalışma Grubu Raporu. TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, DPT: 2609 – ÖİK: 620, Ankara.
- Freestone.D., H. Direct Uses of Geothermal Energy, 1990, Geothermal Resources Council Bulletin. Vol. 19,1990, USA.
- MTA Jeotermal Enerji Raporları.
- TEAŞ, Sarayköy Jeotermal Santrali Yıllık Faaliyet Raporu, 2007.
- Amerika Birleşik Devletleri Jeotermal Enerji Stratejik Hedefleri ve Planı, ABD, 1999.
- Matthess.,G, Foster.,S,S,D, Skinner., A,Ch.,Theoretical Background, Hydrogeology and Practice of Groundwaater Protection Zones,Vol.6,1995, Hannover, Germany.
- Energy Policies of IEA Countries, Turkey 2005 Review, Publication in France, 2005
- Global Status Report ,Renewables -2007 ,WIREC in Washington, 2008

**AFYONKARAHİSAR'DA ALTERNATİF JEOTERMAL
ALANLAR VE MEVCUT JEOTERMAL ALANLARIN
GELİŞTİRİLEBİLİRLİĞİ:
ÖN ÇALIŞMA**

*ALTERNATIVE GEOTHERMAL SITES AND DEVELOPMENT OF
AVAILABLE GEOTHERMAL AREAS IN AFYONKARAHISAR:
PRELIMINARY STUDY*

**TÜRKER, E.¹ ULUTÜRK, Y.² YILDIZ, A.³ BAĞCI, M.⁴ ERDEM, A.⁵,
DUMLUPINAR, İ.⁶**

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyonkarahisar
erturker@gmail.com

²DSİ 11. Sondaj Şube Müdürlüğü Afyonkarahisar
yusufu@dsi.gov.tr

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü
Afyonkarahisar
ayildiz@aku.edu.tr

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu Afyonkarahisar
mbagci@aku.edu.tr

⁵İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara
adnanerdem@mynet.com

⁶Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü
Afyonkarahisar
idumlupinar@aku.edu.tr

ÖZET

Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyada yedinci, Avrupa'da ise ilk sırada yer almaktadır. Jeotermal enerji, diğer enerji kaynaklarına göre çevreci, ekonomik, sürdürülebilir olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Ülkemizde Denizli, Aydın, İzmir ve Afyonkarahisar başta olmak üzere toplam 17 adet önemli jeotermal saha tespit edilmiş olup, Afyonkarahisar ili Türkiye'nin ikinci büyük jeotermal sahasıdır. Bu saha içinde

Ömer-Gecek, Gazlıgöl, Sandıklı (Hüdai) ve Heybeli (Bolvadin) bölgeleri Afyonkarahisar'daki en önemli jeotermal alanlardır.

Jeotermal enerji hem doğrudan (ısıtma, seracılık, termal turizm-tedavi, endüstriyel işlem, vs.) hem de elektrik üretim amaçlı kullanılabilir. Doğrudan kullanım için genelde 130°C düşük sıcaklığa sahip jeotermal sistemler uygun olurken, elektrik üretimi için 130°C'den yüksek sıcaklıklara sahip jeotermal sistemler uygun olmaktadır. Jeotermal sulara ihtiyacın hızla artması nedeniyle sürdürülebilir jeotermal gelişim için öncelikle bu sahaların doğru modellenmesi, yorumlanması ve mevcut sahaların boyutlarının ve kapasitelerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada Akarçay havzası üzerinde bulunan Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli (Bolvadin) sahalarının mevcut kapasitelerinin artırılması için yapılması gereken çalışmalar irdelenmiş, yeni gelişmeye başlayan Susuz, İncehisar, Gazlıgöl (Ablak) ve Çay jeotermal sahalarında yapılan güncel jeolojik ve jeofizik çalışmalar değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Afyonkarahisar, alternatif, jeotermal, geliştirilebilirlik.

ABSTRACT

Turkey is in 7th place in all over the world and it is ranked on top with its geothermal potential in Europe. The geothermal energy has advantage of being more environmentally friendly, economic and sustainable compare to other energy sources. Including Denizli, Aydın, İzmir and Afyonkarahisar, 17 geothermal areas have already been determined in Turkey and Afyonkarahisar is the second biggest geothermal area in our country. In Afyonkarahisar region, Omer-Gecek, Gazligol, Sandikli (Hudai) and Heybeli (Bolvadin) areas are the most important sites.

Geothermal thermal energy can be used both directly (heating, green housing, thermal-tourism, industrial application, etc.) and production of electricity. While the waters with temperature lower than 130 C is appropriate for direct usage, it is necessary to have a temperature over 130 C for electricity production. Since the demand for geothermal water increases rapidly, it is necessary to model and to interpret these sites correctly for sustainable geothermal improvement and it very important to know capacity of the region.

In this study; we have explicated the studies which are needed to be carried out for increasing the capacity of Omer-Gecek, Gazligol and Heybeli (Bolvadin) sites located in Akarçay basin. Also we have evaluated the current geological and geophysical studies which were conducted on recently developing Susuz, Iscehisar, Gazligol(Ablak) and Çay geothermal sites.

Key words: Afyonkarahisar, alternative, geothermal, development.

1.GİRİŞ

Bugün enerji gereksinimini %70 oranında ithal kaynaklardan karşılamak durumunda olan ülkemizde, gerekli önlemler alınmazsa enerjide dışa bağımlılık giderek artacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji; yerli, ucuz, temiz, güvenilir ve sürdürülebilir olma özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür. Fakat yapılan çalışmalar Türkiye'de keşfedilmiş jeotermal rezervuarların tümü sıvının etken (rezervuar basınç koşullarında suyun sıcaklığının buharlaşma sıcaklığından daha düşük) olduğu

rezervuarlar grubunda olan, Denizli ve Aydın jeotermal sahaları hariç diğer sahaların hepsi orta ve düşük entalpili sahalar grubuna girmektedir.

Afyonkarahisar için termal rezervuar sınırlı olduğu için mevcut sahaların optimum kullanılmasının yanında, yeni jeotermal alanlarının bulunması, geliştirilmesi ve boyutlarının belirlenmesi ısıtma, sağlık turizmi ve seracılığın geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çünkü hızla gelişen termal turizm, ısıtma ve seracılık için uygun alanların belirlenmesi yeni yatırımların şehre kazandırılması için önemlidir. Bundan dolayı önce sistemin modellenmesi, sonra da mevcut alanın ısıtma, termal ve seracılık için sınıflandırılması gereklidir.

Bu çalışmaya konu olan saha kuzeyde İncehisar, doğuda Bolvadin, batıda Sincanlı güneyde ise Çay ilçesi ile sınırlanmış bir sahayı kapsar. Bu alan içinde Ömer-Gecek, Gazlıgöl, Heybeli-Çay ve Susuz-İncehisar jeotermal sahaları bu çalışma içinde ayrı ayrı geliştirilebilir alan olarak irdelenmiştir (Şekil 1).

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı Paleozoyik, Neojen ve Kuvaterner yaşlı oluşumları içerir. Bunları zaman kaya birimi şeklinde aşağıdaki gibi inceleyebiliriz.

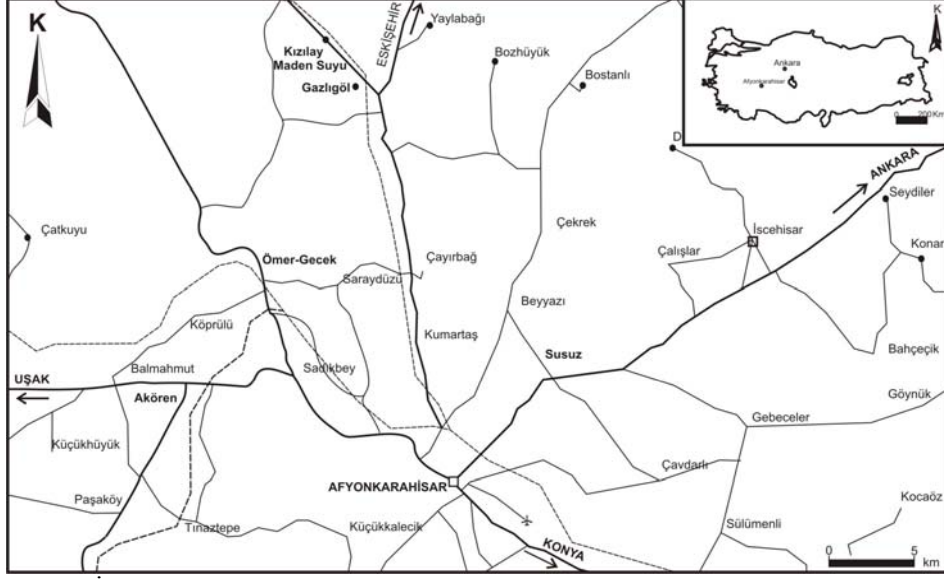
2.1. Stratigrafi

İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfikleri temeli oluşturmaktadır. Formasyon Çobanlar metamorfik şisti (Pcr) ve İncehisar mermerinden (Pm) oluşmuştur. Bunların üzerine uyumsuz olarak Orta – Üst Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonu gelmektedir. Bu formasyon Özburun üyesi (P11a, P11ak, Plk, Plç) ve Seydiler tüfünden (P11b1) meydana gelmiştir. En üstte ise traverten ve alüvyon (Q) yer almaktadır (Şekil 2).

Çobanlar Şisti, Paleozoyik yaşlı diğer metamorfik birim olan **Paşadağ mermerleri** ile yer yer geçişli olup çoğunlukla mermerlerin altında yer almaktadırlar. Şistler arazide, albit – klorit – muskovit – biyotit - kuvarsşist, kalkşist ve meta kumtaşı – meta konglomera olarak gözlenmektedir. Şistlerin içinde yer yer kuvarsitlere rastlanır. Ayrıca çatlakların arasında ise yersel olarak kuvars damarlarını görmek mümkündür (Metin vd., 1987; Kibici vd.,2001; Yıldız, vd., 1999). Bu birim genellikle kahve, boz, yeşil renklidir ve çok kıvrımlı bir yapıya sahiptirler. Öktü vd (1997) tarafından düşük dereceli yeşilşist fasiyesine ait mineral parajenezleri kapsadığı tespit edilmiştir. Granoblastik dokuludur.

Metamorfik temel üzerine uyumsuzlukla Orta-Üst Miyosen yaşlı **Özburun üyesi** çökelmiştir. Birim konglomera, kumtaşı, aglomera, tuf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisifiye kireçtaşı gibi birimlerden oluşmuştur. Aynı üye altında isimlendirilen birimin toplam kalınlığı 50 – 150 m arasında değişmektedir. **Seydiler tüfü**, Gebeceler formasyonunun diğer üyesi olan Özburun üyesiyle iç içedir. Özburun üyesinin bulunmadığı yerlerde ise, direkt şistler üzerinde yer alır. Genellikle süt beyaz ve krem

renkli olup, çok kalın tabakalanmalar gösterir. Peri bacaları gibi aşınım şekilleri oluşturdukları için bölgede hemen dikkati çekmektedir. Metin vd (1987) tarafından birimin yaklaşık kalınlığı 50-150 m olarak belirtilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Traverten, Ömer-Gecek havzasında Araplı dere, Kızık ve Uyuz hamamında Gazlıgölde eski ve yeni hamam çevresinde hidrotermal oluşumlar olarak yüzeylemişlerdir. Ortalama 15m kalınlıkları vardır. Dolgu travertenler kama şeklinde oluşum gösterirler ve derinlikleri 100m'yi bulmaktadır. Bölgede Alçın çayı vadisi boyunca biriken çakıl, kum, mil ve kilden oluşan tutturulmamış güncel çökellerden oluşan **alüvyonun** kalınlığı 5 – 6 m civarındadır.

2.2. Mağmatik Faaliyetler

Çalışma sahasında mağmatik ve volkanik faaliyetler geniş alanlar kaplamaktadır. Bilhassa Afyonkarahisar trakitleri iri sanidin kristalleri ile dikkati çekmektedir. Arazide Köprülü köyü civarlarında siyah renkli traki-bazalt bileşimli olarak yüzeylemesi, çok küçük alanlarda ise trakit volkanizmaya geçiş göstermesi Uysallı (1971), Karamanderesi (1972) gibi yazaların dikkatini çekmiştir.

Afyonkarahisar trakitleri yer yer 5cm ulaşan iri sanidin kristalleri ile tipiktir. Afyonkarahisar kuzeyinde Köroğlu beli kuzeyinde cevherli olarak görülen volkanitlerin hidrotermal alterasyon ürünleri olarak İsehisar yöresinde işletilen Afyon mermerleri fosil jeotermal aktivitelerin bulunduğu bölgedir (Karamanderesi, 2007). Afyonkarahisar yüzeyleyen ve yaşları çok genç olan bu volkanik birimler, geniş alanlarda dağılım

göstermeleri bölgenin halen depremsellik bakımından aktif olması nedeni ile ısıtıcı kaya türü olarak bu volkanik kayaların uzantıları üzerinde yada devamlarında sıcak su kaynaklarının yer aldığı kolayca görülür. Çalışma sahası Üst Miyosen sonunda başlayarak Pliyosen boyunca bu volkanik faaliyet devam etmiş ve bu faaliyet sonucu oluşan volkanik birimler tüm ovaya yayılmıştır.

2.3. Yapısal Jeoloji

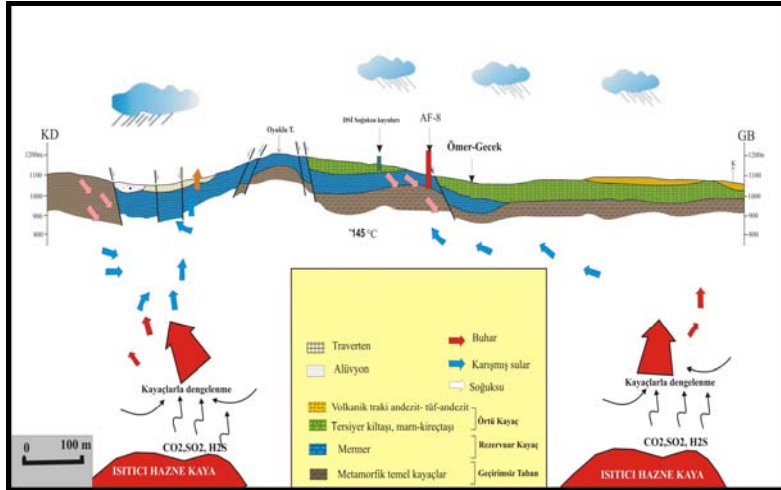
Bölge genç tektonik etkiler sonucu KB-GD, D-B, KD-GB yönlü faylar oluşmuştur. Ömer-Gecek alanında sıcak suların çıkmasına neden olan doğu-batı doğrultulu eğim atımlı normal faylar iken, Gazlıgöl sahası yakınında Alçın çayı vadisinde eğim atımlı normal fay olan Alçın fayı bulunmaktadır. Fayın yükselen bloğu batı tarafta olup, metamorfik şistleri ortaya çıkarmıştır. Fay KD eğimlidir. Alçın çayı metamorfik şistlerle, doğu bloğunda yer alan Eosen formasyonlarının kontağını oluşturur.

3. AFYONKARAHİSAR JEOTERMAL SİSTEMİNİN MODELLEMESİ

Jeotermal bir sistemin elemanları; sıcak su akiferi., bunun üzerinde yer alan geçirimsiz bir örtü kayaç, ısı kaynağı ve beslenme bölgesinden oluşmaktadır,

3.1. Isıtıcı Kayaç

Bölgede özellikle Afyonkarahisar taraflarında tektonik faaliyetlere bağlı olarak Miyosen de başlayan ve Pliyosen boyunca devam eden etkin bir volkanizmanın ürünleri büyük hacimler oluşturarak geniş alanlar işgal etmişlerdir. Jeolojik zamanın son döneminde bazalt akıntıları meydana gelmiştir. Bu volkanik kayaları oluşturan magma cepleri jeotermal sistemin ısıtıcılarıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Afyonkarahisar jeotermal sisteminin modellenmesi.

3.2. Akifer Kayaç

Yapılan arazi çalışmaları ve sondajlara göre sahada jeotermal akışkanının birikimine uygun iki farklı rezervuardan söz edilebilir. Bunlardan ikincil olanı bazaltlar ve traki-bazaltlar iken, jeotermal sistemin asıl akifer kayacı Paleozoyik yaşlı kalkışist-mermer ve Mesozoyik yaşlı formasyonu oluşturmaktadır. Bunlar karstik yapılardır. Bunun yanında çalışma alanımızda bulunan Paleozoyik yaşlı kalk şistlerde rezervuar kayaç özelliği taşır. Meteorik kökenli olan sular, başlıca fay sistemleri boyunca derinlerde inmekte ve bölgesel gradyanın yüksek olması nedeniyle mağma cepleri ve odacıkları tarafından ısıtılarak yine aynı faylar yoluyla önce rezervuara daha sonrada yüzeye ulaşarak termal kaynakları oluşturmaktadır. Ömer-Gecek havzasında D-B uzanımlı (Araplı Fayı), en yüksek geçirimli (upflow zon) olduğu anlaşılmıştır. İnceleme alanında açılan kuyularda şistlerin alt sınırına ulaşılammış olmasına rağmen yaklaşık kalınlıklarının 2000m civarında olduğu tahmin edilmektedir. Permeabilite değeri düşük olan ve oldukça kırıklı ve çatlaklı bir yapı gösteren bu birim eklem, kırık ve çatlakları içinde sıcak su bulundurmaktadır.

Gazlıgöl tarafında sondajlardan hiçbirisi mermer kesmemektedir. Bundan dolayı Gazlıgöl jeotermal sahasının kuyu sıcaklıkları 70°C geçmemektedir. Bölgede kuvarsitler konglomera, kumtaşı, bazalt ve silisleşmiş kireçtaşları ve tüm fay zonları rezervuar niteliğindedir. Ayrıca alüvyon örtüdeki konglomera ve kumtaşı seviyeleri de az ısınmış suların akifer niteliğindedir. Buna göre çalışma alanında rezervuar ve örtü kaya olarak;

1. Rezervuar: Neojen formasyonuna ait kireçtaşları, 2.Rezervuar: Neojen tabanını teşkil eden konglomera ve kumtaşları, 3.Rezervuar: Tabanı oluşturan metamorfik şistler üzerindeki mermerler, 4.Rezervuar Mikaşist ve fillatlar ile ardalanmalı kuvarsit ve mikaşistler içerisinde oluşan yüksek permeabiliteli zonlar.

3.3. Örtü Kayaç

Orta Üst Miyosen yaşlı Ömer-Gecek formasyonunun kiltası marn seviyeleri ve alüvyon örtü içindeki killi siltli seviyeler örtü kayacı oluştururlar. Bu kayaçlar sayesinde jeotermal sistem ısını muhafaza etmekte ve artezyen basıncı sağlanmaktadır. Ömer-Gecek Bölgesi'nde bazı doğrultular üzerinde yapılmış jeolojik kesitlerde batıdan doğuya kalınlığın arttığı, temelin ova ortalarına doğru derinleştiği ve buna paralel olarak da örtü kalınlığının arttığı saptanmıştır. Örneğin DSİ kuyusunda yaklaşık 350m alüvyon kalınlığı saptanmıştır.Bu bilgiler ışığı altında örtü kayaç olarak: 1. örtü: Neojene ait silt, marn ve tuf tabakaları, 2. örtü metamorfik temelde kuvarsit ve kalkışistlerle ardışıklı olan mikaşist ve fillitler oluşturmaktadır.Burada görüldüğü gibi bazı yerlerde örtü kaya kayayı yaşlı çökeller oluşturmaktadır.

3.4. Süreksizlik Düzlemleri

Daha öncede detaylı olarak açıklandığı gibi horst-graben sisteminin ana fayları ve bu horst graben sisteminin ana faylarına KD-GB yönlü fay, ayrıca bu fayların tali fayları,

tüy fayları, tüy çatlakları, açılma çatlakları ve bazı doğrultu atımlı faylar jeotermal akışkanın yüzeye çıkarıcı yapılarıdır.

Jeotermal sistemi özetlemek gerekirse; mermerler üzerine düşen meteorik sular aynı kayalar içerisinde derinlere süzülürken burada Afyon volkanitlerini oluşturan magma cebi veya cepleri tarafından ısıtılmakta ve ana horst-graben sistemi ile ve bunu dik olarak kesen büyük bir fay ve bunlara bağlı olarak gelişmiş diğer faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır. Neojen yaşlı formasyonunun killi-siltli seviyeleri ise örtü kayacı oluşturmada dolayısı ile sistemin ısı kaybetmesini engellemek ve sisteme basınç kazandırmaktır.

4. MEVCUT JEOTERMAL SAHALARIN GELİŞTİRİLEBİLİRLİĞİ

Afyonkarahisar sahip olduğu jeotermal enerji potansiyeline karşılık bu enerji kaynağının kullanımı hak ettiği düzeyde değildir. Bunun en önemli nedeni yeterli araştırma yapılamadığı ve sahanın su potansiyelini bilinmediği için yatırımdan kaçınmaları olmuştur. Eğer detaylı bir araştırma yapılırsa mevcut sahalar daha da geliştirilirse daha fazla yatırım gelecek ve jeotermal akışkandan daha fazla yararlanma imkânı olacaktır. Bu sahaların hepsi düşük sıcaklıklı sahalardır. Sahada jeotermal kaynak sınırlı olduğu için genel prensip az miktarda jeotermal akışkan ile çok ısının yada enerjinin üretilmesi olmalıdır. Bu sahalara bakacak olursak

4.1. Ömer-Gecek Jeotermal Havzası

4.1.1. Jeoloji

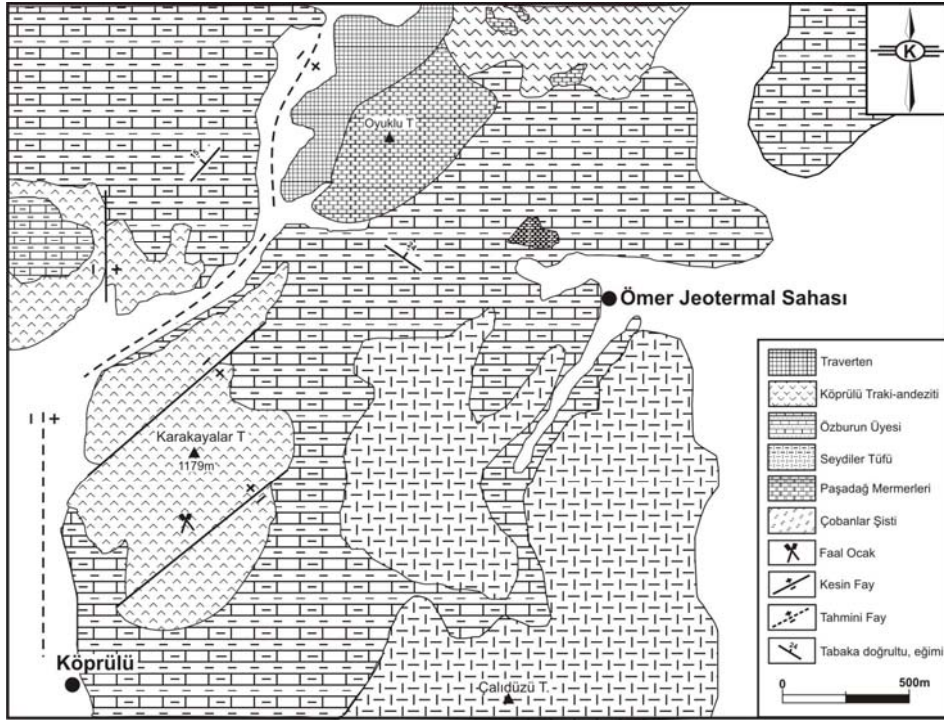
Ömer-Gecek havzası Afyonkarahisar ilinin en önemli havzası olup, sıcaklıkları 70-98°C arasında yaklaşık 340 lt/sn akışkan üretilmektedir. Sahada Paleozoyik ve Senozoyik (Neojen ve Kuvaterner) birimler yer almaktadır (Şekil.4). Paleozoyik birimler Afyon metamorfileri olarak isimlendirilmiştir. Şistler ve mermerlerden oluşmaktadır. Bu birim başlıca; Muskovit-biyotit-kalkşist, kuvars şist, mermer albit-klorit-muskovit-serizit şistlerden oluşmuştur.

Paleozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak Neojen çökelleri gelir. Neojen çökeller özelliklerine göre alttan üste doğru konglomera, kumtaşı seviyeleri, killi kireçtaşı, kumtaşı, volkanik cam, trakiandezitik tüf, karbonat çimentolu tüfit seviyeleri mevcuttur. Ayrıca Neojen tabakları arasında lav akıntıları görülmektedir.

Sahada düz ovalar ve dere yatakları boyunca görülen alüvyonlar geniş alanlar kaplarlar. Bunların dışında yamaç molozları, birikinti konileri ile sıcak suların oluşturduğu travertenler genç çökeller olarak görülmektedir.

4.1.2. Sahanın genel özellikleri

Bu bölgede meteorik kökenli sular, başlıca fay sistemleri boyunca derinlere inmekte ve bölgesel gradyanın yüksek olması nedeniyle mağma cep ve odacıkları tarafından ısınarak yine faylar yoluyla yükselerek önce rezervuara sonra yine fay hatları boyunca yükselerek yüzeye çıkmakta ve termal kaynakları oluşturmaktadır. Özellikle Ömer-Gecek sahasında KB-GD yönlü Araplı dere fayının jeotermal akışkanı yeryüzüne taşıyan en yüksek geçirimli zon (upflow zon) olduğu anlaşılmıştır. Bu zondan yükselen jeotermal akışkanlar I. ve II. Rezervuar oluşturan mermer ve traki-bazaltların yayılımı boyunca Afyonkarahisar ovası ortasına doğru hareket etmektedir. Bu fayın kırılması sonucu sıcak su akiferi derinlere doğru gömülmektedir. Bundan dolayı sahanın doğusuna doğru örtü kalınlığı artmakta ve ovada basamaklı bir faylı yapı oluşmaktadır. Daha sonra soğuk yeraltı suları ile farklı oranda seyreltilmektedir.



Şekil 4. Ömer-Gecek jeotermal havzası.

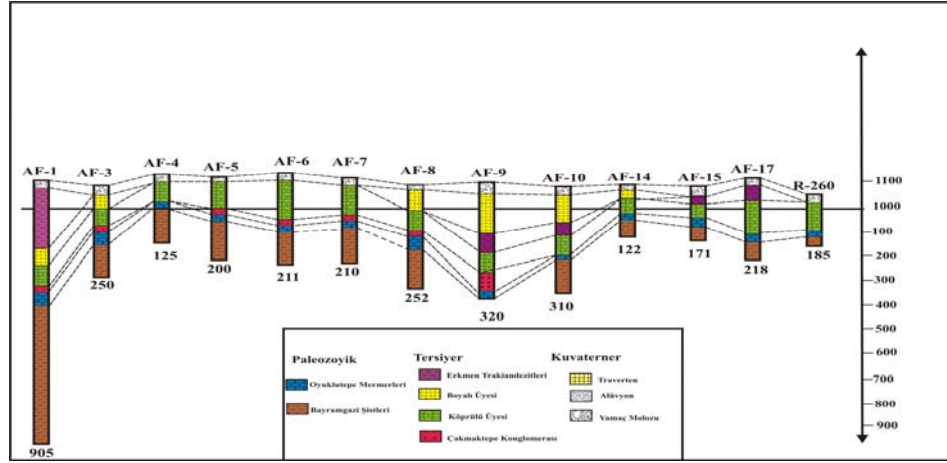
Karamandersi (2007), bu bölgede yaptığı çalışmada bölgedeki termal kuyularda sıcaklık evrelerine göre üç zon gözlemlemiştir.. Bu zonlar, sıg zon (40-50°C), geçiş zonu (60-70°C)ve Afyon metamorfitlelerinden beslenen ve sıcaklığı 80-90°C derin kökenli zondur. Afyon volkanitleri ile sıcak su kaynakları civarındaki çok genç volkanizmalar birlikte yorumlandığı zaman, bölgede ki sistemin çok evreli olduğu zaten anlaşılmaktadır. Son yaşanan depremler ise sistemin halen ısınan bir sistem olduğu, fakat

çok derin bir yapı olduğunun ispatıdır. Bu üç zonda alterasyon türleri olarak en sığ sistemde oksidasyonunun hakim olduğu, ikinci zonda henüz soğumaya başlamış bir sistemin oluştuğu, derin ve en yüksek sıcaklığı gösteren zonun ise çok gazlı ve verimli olduğu gözlemlenmiştir (Karamanderesi, 2007). Ömer-Gecek havzası ise derin ve burada bulunan Araplı fayı en yüksek geçirimli zon olduğu için 80-100°C termal su almak mümkündür. Bundan dolayı sahanın en verimli olan bu zondan maksimum ölçüde faydalanmak Afyonkarahisar da jeotermalin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Sahada maksimum 98°C jeotermal akışkan üretildiği için orta entalpili ve akışkan sıvının hakim olduğu tek fazlı sistem özelliği göstermektedir.

4.1.3. Sahanın mevcut durumu

Sahada şu an toplam farklı derinlikteki 25 adet kuyudan 340 lt/sn akışkan üretilmektedir. Bu jeotermal akışkanının 160 lt/sn şehir ısıtmasında, geriye kalan kısmı ise termal otellerde kullanılmaktadır. Bu kuyulardan 2 tanesi Afjet tarafından reenjeksiyon için kullanılmaktadır.

Bu sahada gözlenen en belirgin durum ise şu ana kadar açılan termal kuyuların derinliklerinin sığ olarak bırakıldığı ve rezervuar tam olarak kesilemediği için mevcut termal sudan fazla yararlanılmadığını göstermektedir (Şekil.5). Sahanın mevcut durumuna bakılırsa 98-100°C deki suların bulunduğu saha sınırlıdır. Kuyuların ortak özelliği ise birçokunun çeşitli nedenlerle sığ olarak bitirilmiş olmasıdır.



Şekil 5. Ömer-Gecek sahasında mevcut kuyular ve derinliklerini gösterir çit diyagramı.

4.1.4. Sahanın geliştirilmesi çalışmaları ve alternatif alanlar

Ömer-Gecek havzasında yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar göstermiştir ki; yüksek geçirgenli zonun sınırlı olması nedeniyle mevcut zondan optimum olarak yararlanmak için mevcut kuyular daha derin açılmalı ve bu alanda fazla miktarda akışkan üretmek

yerine kuyular derinleştirilerek 2. 3. rezervuarın kesilerek ısıdan fazla miktarda yararlanmak, şehir ısıtmasında kullanılan suyun reenjeksiyon ile sisteme geri verilmesi sürdürülebilir jeotermal gelişim için hayati önem taşımaktadır. Ömer-Gecek sahasının batısını (yüksek geçirimli zon) ısıtmada, güney-güneydoğusunu (daha sığ zon) termal turizm ve sera ısıtmasında kullanılması daha doğru olacaktır.

İkinci bir alternatif ise daha derin jeofizik DES açılımları yapılarak mevcut alanın dışında alternatif alanların değerlendirilmesi olacaktır. Örneğin havzanın KB da çalışmaları halen devam eden ve 450m derinlikte açılan rezervuar sıcaklığı 35 °C olan sahalarda daha derin kuyular açılarak sahanın geliştirilmesi sağlanmalıdır.

4.2. Gazlıgöl Jeotermal Havzası

4.2.1 Jeoloji

Alanda temel başlıca muskovit ve serizitten oluşan şistlerle temsil olunmaktadır. Şistler genellikle Alçın çayı batısındaki yüksek kesimlerde yüzeylenirler. Gökalp (1970) bunların menderes masifi olduğunu ileri sürmüştür. Paleozoyik birimler içinde sert yapılu kuvarsit şistler termal akışkanın rezervuar kayacını oluşturur. Sahanın ana tektonik yapısını yaklaşık 5 km uzunluğunda, KB-GD ve K-G yönlü Gazlıgöl fayı belirler (Şekil 6). Bu fayların arası traverten çökelleri ile doldurulmuştur

Jeotermal gradyan zaten yüksek olduğu bölgede meteorik kökenli sular gravitenin de etkisi ile çatlak ve kırıklardan süzülerek ısıtıcı kayaca kadar ulaşırlar. Isınan bu sular yine yoğunluk farkının etkisi ile yine bu fay ve kırıklar vasıtası ile yüzeye çıkarken bünyesine karışan soğuk sular dolayısı ile bir kısmı seyreltilerek termal kaynakları oluşturur.

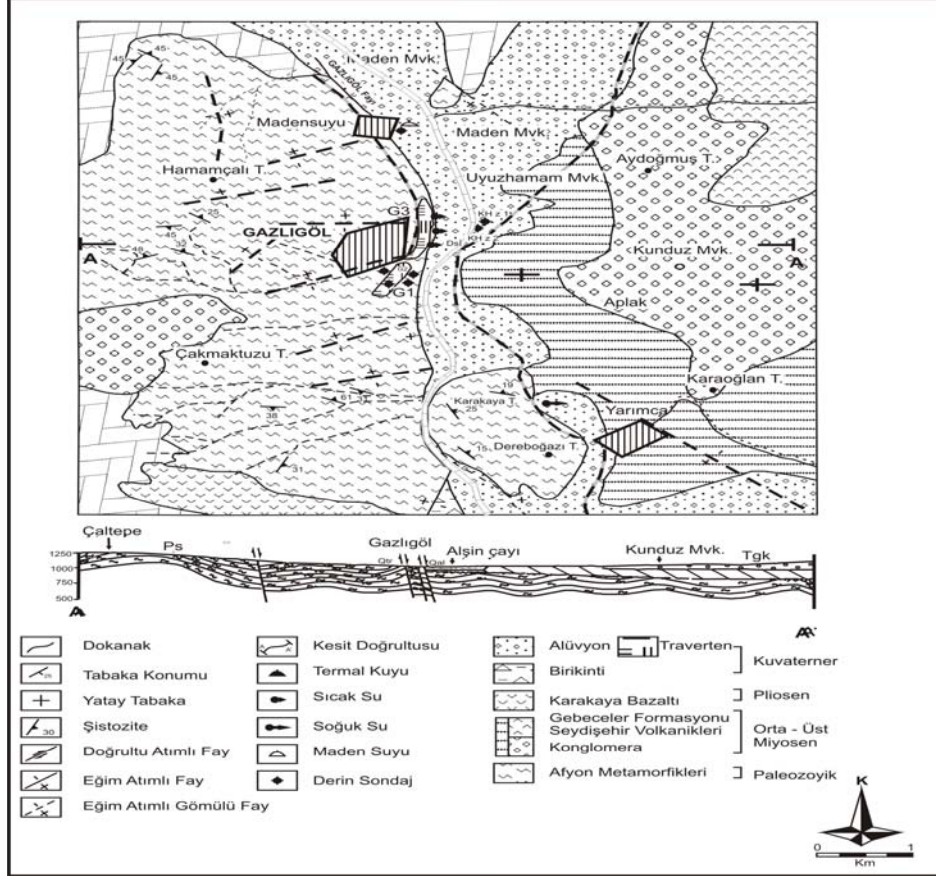
4.2.2 Sahanın genel özellikleri

Bu saha kuzeyde İhsaniye ilçesi, doğuda Bozhüyük, güneyde Yarımca gibi alanları içine almaktadır. Bu saha içinde özellikle Gazlıgöl termal tedavi amaçlı birçok otel ve villa tipi yapılarla gittikçe gelişmektedir. Bu sahada Ömer-Gecek sahadan farklı olarak sadece sıcaklığı 40-50°C olan sığ zonlar ile, 60-70°C olan geçiş zonundan söz etmek mümkündür. Bu sahada rezervuar olarak mermer kesilmediği için maksimum sıcaklık 70°C' yi geçmemektedir. Bundan dolayı bu sahada daha çok termal turizm ve seracılık yapmak daha uygun olacaktır.

4.2.3.Sahanın mevcut durumu

Mevcut saha içinde fazla miktarda açılan yaklaşık 35 adet kuyudan yaklaşık 266 lt/sn su çekilmektedir. Kontrolsüz ve birbirine çok yakın olarak açılan bu kuyular kuyu tekniğine uygun açılmadığı için termal akifer de basınç azalmakta ve sıcaklık gittikçe düşmektedir. Ömer-Gecek sahasının aksine bu bölgede termal akışkanın debisi ve sıcaklığı azaldıkça kuyu derinliği artırılmakta ve çoğu kooperatif termal akışkanı alçın çayına deşarj

etmektedir. Açılan bütün kuyular sağlık turizmi amaçlı olduğu için üretilen suyun reenjeksiyonu mümkün olmadığı için zaten sığ olan rezervuar hızla tüketilmektedir.



Şekil 6. Gazlıgöl sahasının jeoloji haritası (Göçmez ve Kara 2005'den değiştirilmiştir).

4.2.4. Sahanın geliştirilmesi çalışmaları ve alternatif alanlar

Gazlıgöl sahasında yukarıda özetlenen durum göz önüne alınırsa mevcut sahanın kapasitesinin gittikçe zorlandığı görülmektedir. Bundan dolayı sahanın doğuda Bozüyük, batı tarafta ise Gazlıgöl Akören'e doğru genişleyerek sağlık turizmi ve sera ısıtması yapmak ekonomik görülmektedir. Bozüyük'te DSİ tarafından 135m olarak açılan soğuksu kuyusunda 38 °C, Ablak da yine DSİ tarafından 150m açılan kuyularda 28°C sular elde edilmesi bu sahanın geliştirilebileceği yeni alanlar olarak göze çarpmaktadır. Bu sahada tarafımızdan yapılan 1000-1250m derinlikteki DES ölçümlerinde yukarıda belirtilen sahalarda düşük rezistiviteli alanlar tespit edilmiş ve özellikle seracılık için yatırım yapmak isteyen özel teşebbüs yatırımcılarına bu alanlar da detaylı çalışma yapılması önerilmiştir.

4.3. Heybeli (Bolvadin) Jeotermal Havzası

4.3.1 Jeoloji

İnceleme sahasında Paleozoyik ve Senozoyik yaşlı kayalar bulunur (Şekil 7). Bu sahanın en yaşlı kaya birimini Paleozoyik yaşlı fillit, muskovit şist, kuvarsit şist, serizit şist, metamorfik kumtaşı, kalker ve mermerlerle temsil edilmektedir.

Senozoyik yaşlı kayaların ana bölümünü Pliyosen yaşlı kalker, killi kalker, konglomera, kil, silt, kumtaşı çökelleri ile andezit, bazalt, trakiandezitik tüf nitelikli volkanik oluşuklar teşkil etmektedir. Bu kayaçlar üzerine yamaç döküntüleri, birikinti konileri ile diğer Kuvaterner çökelleri en genç birimleri temsil eder.

4.3.2. Sahanın genel özellikleri

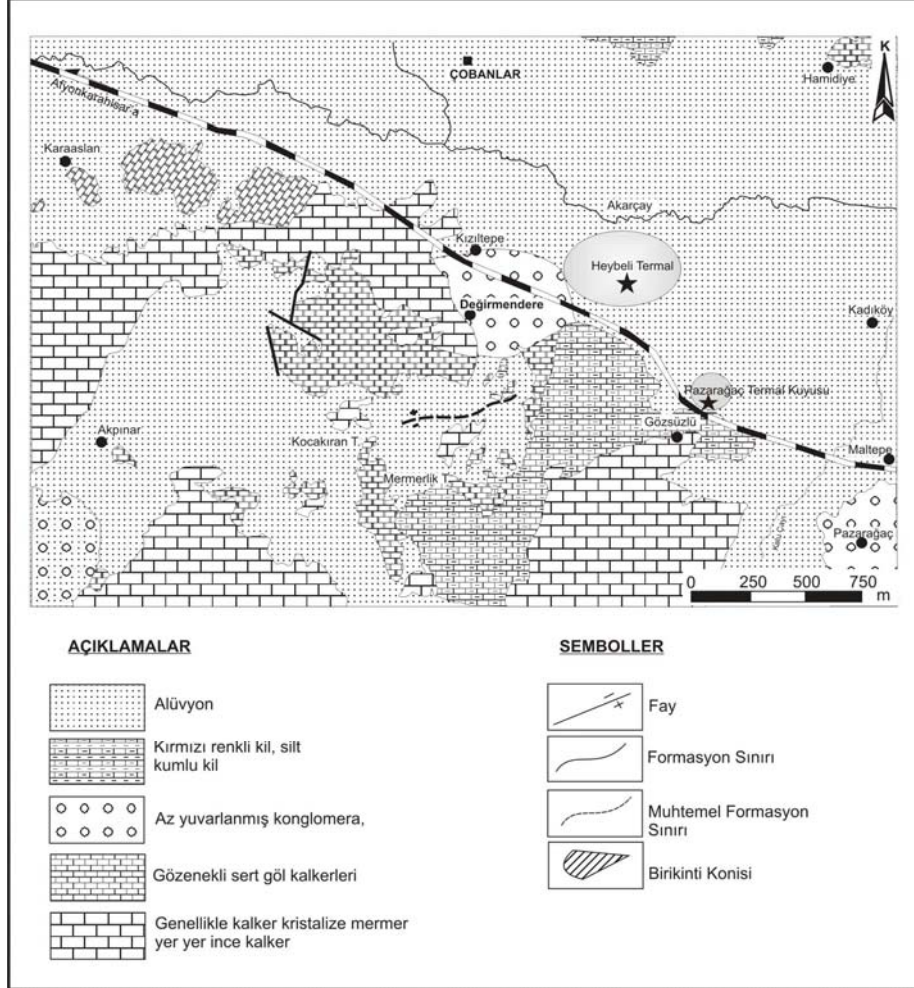
Sahada Çobanlar Belediyesine ait 4 adet, Bolvadin Belediyesine ait 5 adet olamk üzere toplam 9 adet kuyudan 189 lt/sn akışkan üretilmektedir. Derinlere süzülen meteorik kökenli sular, ısıtıcı kütle tarafından ısıtıldıktan sonra KB-GD doğrultulu eğim atımlı faylarla yüzeye kadar ulaşmaktadır. Bu fay grubu Heybeli fay grubu olarak isimlendirilmiştir.

4.3.3. Sahanın mevcut durumu

Sahada toplam 9 adet kuyu bulunmaktadır. Bu sahada genellikle düşük entalpili 50-70°C sıcaklıkta akışkanlar bulunmaktadır. Bu kuyular Heybeli termal için açılan H-4 ve H-1A kuyuları 260m derinlikte yaklaşık 56°C sıcaklıkta, Çobanlar Belediyesi kuyusu ise yaklaşık 250m derinlikte 51°C sıcaklıktadır.

4.3.4. Sahanın geliştirilmesi çalışmaları ve alternatif alanlar

Heybeli termal jeotermal alanı sadece sağlık turizmi olarak kullanılan bir alandır. Üretilen akışkanın tamamı bu amaç için kullanılmaktadır. Burada dikkati çeken husus Ömer-Gecek gibi kuyuların sığ olarak açılması rezervuarın tam olarak kesilmemesi nedeni ile yeterli debi ve sıcaklık alınamamıştır. Gerek iller bankası gerekse özel şahıslar tarafından yapılan DES etütlerinde 2. rezervuarın olduğu ve kuyuların derin açılması yönündedir.



Şekil 7. Heybeli (Kızılkilise) ve civarının jeolojisi

Çobanlar Belediye Başkanlığı kuyuları ise atıl olarak rezervardan su almakta ekonomik olarak kullanılmamaktadır. Bu bölge, Mandacılık Araştırma Enstitüsünden başlayarak, Çay İlçesine kadar uzanır. Bu saha genellikle sıcaklıkları 40-70 °C arasındaki geçiş sonundan beslenen termal kaynakları barındırır. 2006 yılında Çay Belediye Başkanlığı tarafından açtırılan 660m derinlikteki termal kuyudan 44 °C su alınmıştır. Bu hat boyunca Pazarbağ kuyusu (38 °C), Çobanlar Belediye kuyusu 50 °C kuyulardır. Mandacılık Araştırma Müdürlüğüne DSİ kurumu tarafından açılan 150m derinlikteki soğuk su kuyusundan 26 °C termal karakterli su alınması ısıtıcı kütlelerin uzantılarının buraya kadar uzandığını ve Akşehir-Afyonkarahisar depresyon fayları üzerinde derin (1500-200m) rezistivite etütlerinin yapılması faydalı olacağı unutulmamalıdır.

5. ALTERNATİF YENİ JEOTERMAL SAHALAR

Susuz Kasabası'ndan başlayarak İncehisar ilçe sınırları içine kadar uzanan saha, özellikle son yıllarda yapılan jeofizik ve sondaj çalışmaları ile ön plana çıkmaktadır. Susuz bölgesinde İller Bankası tarafından yapılan jeofizik çalışmada düşük rezistiviteli alanlar saptanmıştır. İncelenme alanının jeotermal saha olarak değerlendirilmesini gerektiren veriler jeolojik ve jeofizik verilerin değerlendirilmesi sonucu ortaya konmuştur. Bunların yanı sıra bölgede açılmış soğuk su kuyularında da 33°C sıcaklığın ortaya çıkması, sahanın jeotermal alan olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

5.1 Susuz Sahası

5.1.1. Jeoloji

Paleozoyik, metamorfik şist, kalker ve kuvarsitleri içeren Devoniyen ve Permo-Karbonifer ile temsil edilir. Bu formasyon fillit, kuvars -serizit -şist, kuvars - mika - şist ardalanmalarından ve kuvarsit bant ve mercceklerinden bazen de kristalize kalker bant ve mercceklerinden oluşmaktadır. Susuz kasabasının kuzeyinde özellikle şist-kuvarsit ardalanması hakimdir (Şekil 8).

Paleozoyik üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen ise tuf-tüfit-killi kalker, kumtaşı-tüfit-aglomeralar ile temsil edilir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür.

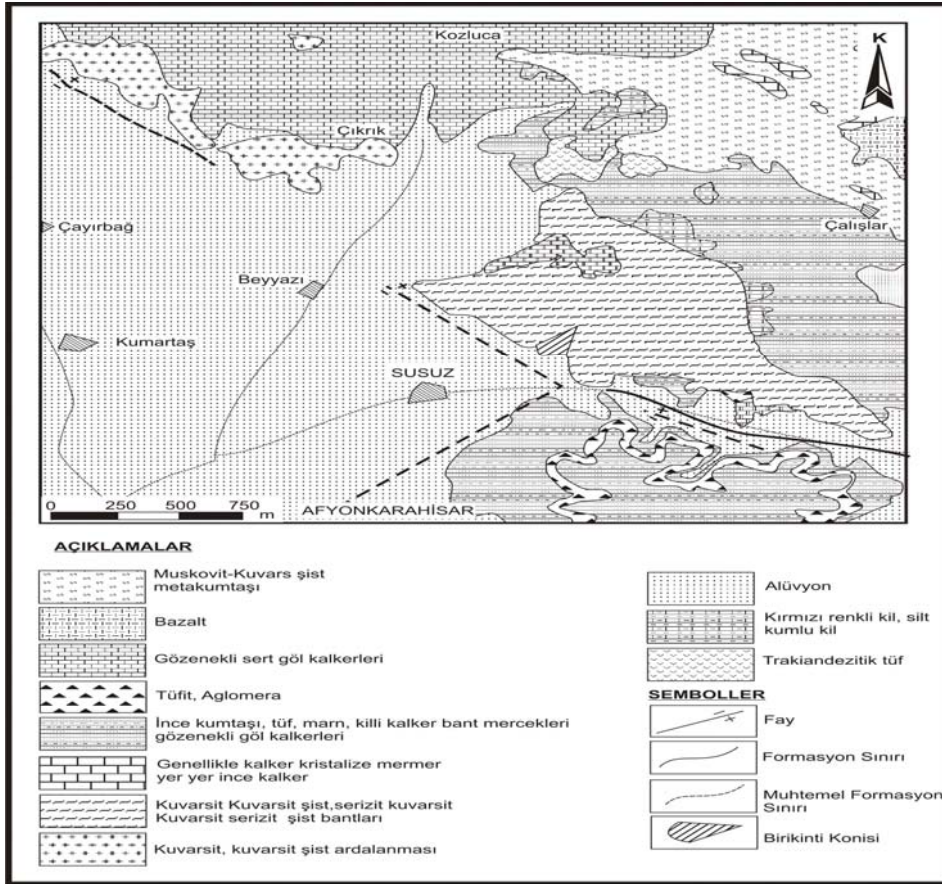
5.1.2. Sahada yapılan çalışmalar

Afyokarahisar-Ankara karayolu üzerinde bulunan Susuz beldesinde 2007 yılında İller Bankası, Dempaş tesislerine ise özel firmalarca yapılan DES etütlerinde düşük rezistiviteli alanlar tespit edilmiştir. Bunlardan Dempaş sahasında açılan kuyudan 375m derinlikteki kuyudan 36°C akışkan elde edilmiştir. Kuyu sığ olarak bırakıldığı için istenen sonuç alınamamıştır.

İller Bankası tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada Susuz kasabasının güneydoğusunda bulunan ve 33°C sıcaklığında suyu bulunan 135 metre derinliğindeki Mahes Mermer Fabrikasına ait kuyuya en yakın mesafede olup düşük rezistiviteli alanlar bulunmuştur.

Hazırlanan jeofizik kesitte, ölçü noktaları altında birimlerin tane boyutu ve su içeriği ile bağlantılı olarak farklı hesaplanan özdirenç değerlerine göre birkaç ayrı seviye ayırtlanmıştır. Fakat kesitte yer alan tüm ölçü noktaları altında genel olarak yüzeyden itibaren 7-40 metre arasında özdirenç değeri 13-45 ohm.m olan bu seviyeler alüvyon olarak adlandırılmıştır. Bu seviyelerden sonra ise dört adet jeofizik özdirenç ölçü noktasında da hesaplanan özdirenç değerlerinde bir düşüşün olduğu görülmüştür. Ortalama kalınlığı 90-113 metre ve özdirenç değeri 7-10 ohm.m olan bu seviyenin,

yakındaki mermer fabrikasında bulunan kuyudan alınan 33 °C sıcak suyun alındığı Neojen seviye olduğu düşünülmektedir. Bölgeye ait jeolojik verilere dayanarak yapılan yorumda; kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve marn ardalannasından oluşan neojenin bu ardalanna ile çok daha derinlere kadar devam ettiği düşünülmektedir. çalışmada öz direnç değerlerinin nispeten daha yüksek olduğu ve yüzeyden 105-150 metre sonra girilmiş olan 70-100 ohm.m değerleri veren alttaki seviyenin de kırık çatlakları ve su içeriği yukarıdaki birimlerden daha az olan Neojene ait bir seviye olduğu yorumu yapılabileceği gibi bu seviyelerin altta bulunması gereken şistler olduğu ve çatlak sistemlerinde barındırdığı sıcak su nedeni ile öz direnç değerlerinin düşük çıktığı yorumu da yapılabilir.

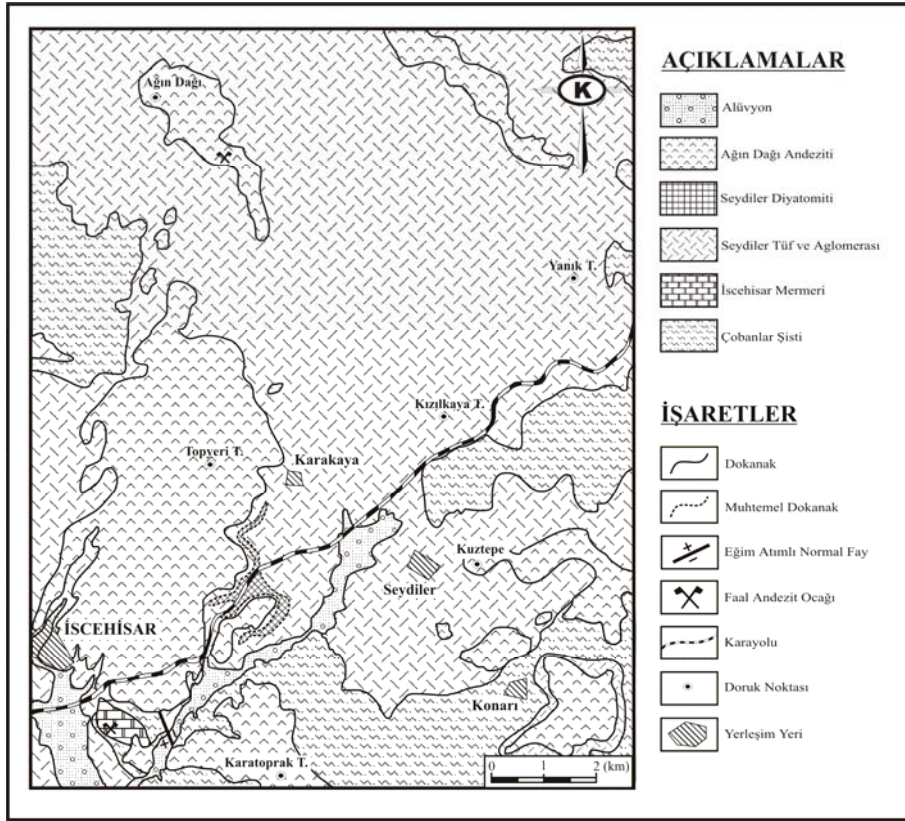


Şekil 8. Susuz sahası jeoloji haritası

5.2. İscehisar Sahası

5.2.1 Jeoloji

Sahanın temelini Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfileri oluşturmaktadır. Formasyon, Çobanlar şisti ve İscehisar mermerlerinden meydana gelir. Orta-Üst Miyosen yaşlı Seydiler tüfü metamorfik kayaların üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Tortul tabakalar şeklindeki Seydiler diyatomi tüfle ardalanmalı olarak bulunur. Çalışmaya konu olan Üst Miyosen yaşlı Ağın andeziti, Seydiler tüfü üzerinde yer almaktadır. İnceleme alanının en genç birimi ise alüvyondur (Şekil 9).



Şekil 9.İscehisar sahasının jeoloji haritası

5.2.2. Sahada yapılan çalışmalar

Bu sahada açılan diğer bir termal kuyu İscehisar Belediye Başkanlığı tarafından 575 derinlik de 42 °C sıcaklıkta açılan termal kuyudur. Yapılan kimyasal ve baleonolojik

tahliller sonucunda termal sağlık turizmi için uygun olduğu belirtilmiştir. Kuyuda teçhiz hatasından dolayı soğuk su karışımı ve rezervuarın tam kesilmemesi dolayısı ile yeterli sıcaklık ve debide su alınamamıştır. Jeotermal kuyu tekniğine uygun olarak açılacak yeni bir kuyu ile daha sonuçlar alınması muhtemel gözükmektedir.

6. SONUÇLAR

Afyonkarahisar Akarçay havzası üzerinde bulunan bütün jeotermal kaynaklar düşük (20-70°C ile orta entalpili (70-150°C) ve sıvının etken olduğu bir jeotermal rezervuardan üretim yapan sahalardır.

Mermerler üzerine düşen meteorik kökenli sular aynı kayaçlar içerisinde derinlere süzülürken burada Afyon volkanitlerini oluşturan magma cebi veya cepleri tarafından ısıtılmakta ve ana horst-graben sistemi ile ve bunu dik olarak kesen büyük bir fay ve bunlara bağlı olarak gelişmiş diğer faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır. Neojen yaşlı formasyonunun killi-siltli seviyeleri ise örtü kayacı oluşturmakta dolayısı ile sistemin ısı kaybetmesini engellemek ve sisteme basınç kazandırmaktır.

Ömer-Gecek sahasında KD-GB uzanımlı Alaplı fayı jeotermal akışkanı yeryüzüne taşıyan en önemli yüksek geçirimli zondur. Bu fayın ovaya doğru kırılması ile jeotermal akışkan ova tarafında derinlere gömülmüş ve basamaklı bir yapı kazanmıştır.

Afyonkarahisar jeotermal alanlarında jeotermal akışkan sınırlıdır. Bu akışkandan optimum yararlanmak için çok akışkan üretmek yerine kayaçların ısısından yararlanmak ve çekilen akışkanın aynı şartlarda rezervuara verilmesi sürdürülebilir jeotermal gelişim için çok önemlidir.

Ömer-Gecek ve Heybeli jeotermal sahalarının ortak özelliği kuyuların derin olmayışı ve rezervuarın tam olarak kesilememesidir. Çok kuyu açmak yerine 2.ve 3.rezervuarın kullanılabilmesi daha derin kuyular açmak daha faydalı olacaktır.

Gazlıgöl sahasında kontrolsüz kuyu açılması nedeniyle rezervuar basıncında azalma ve soğumalar meydana gelmeye başlamıştır. Bundan sonra sahaya yeni kuyu açmak yerine Bozüyük, Ablak, Akören gibi yeni sahalara araştırılmalı özellikle bu alanlarda sera ısıtımına uygun alanlar belirlenmelidir. Susuz sahasında jeofizik çalışma sonunda önerilen kuyu yeri denenmeli bu sahada bulunacak termal akışkan şehrin bu yönde gelişmesi için önemli bir etken olacaktır.

İscehisar da açılan termal kuyu sığ bir zonda ve jeotermal kuyu tekniğine göre açılmamasına rağmen bulunan 40 °C su geçimini sadece mermerden sağlayan bu yöre için çok önemlidir. Bölgede daha detaylı jeolojik ve jeofizik çalışma yapılarak uygun alanlar belirlenip bu saha geliştirilmelidir.

Sincanlı-Akören de Varan tesislerinde açılan şu an derinliği 450 m ve rezervuar sıcaklığı 35°C olan bu saha tıpkı Susuz ve İscehisar gibi şehrin İzmir-Antalya yolu çıkışına doğru

genişlemesi için önemlidir. Kuyu derinliği hedeflenen 700m derinliğe kadar ilerlenmesi faydalı olacaktır.

Bu sahalar için farklı zamanda farklı kurumlarca yapılan münferit çalışmalar yerine Afyon Kocatepe Üniversitesi, DSİ. MTA ve İller Bankası gibi kuruluşların oluşturacağı Afjet, Oteller Birliği ve Ticaret Odası gibi kuruluşlarca desteklenen bir proje ile bölgenin jeolojisi, jeotermal özellikleri ve potansiyeli gibi parametrelerin ortaya konması ve jeotermal organizasyonunun tek elden yürütülmesi Afyonkarahisar için sürdürülebilir bir jeotermal gelişim için çok önemlidir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar MTA Genel Müdürlüğü Jeotermal dairesi, DSİ 11. Sondaj Şube Müdürlüğü, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Susuz ve İscehisar Belediye Başkanlıklarına teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

- Akan, B., 2002 Afyon Ömer-Gecek Jeotermal sisteminin modellenmesi Jmo dergisi 26.2.2002
- Gökalp, E., 1970 Gazlıgöl (Afyon) sıcak suları etüd raporu M.T.A rapor no:4366
- Gülay, A., 1972, Ömer-Gecek,-Afyon ovası, Gazlıgöl, Çobanlar, Çay yöresi jeotermik enerji araştırmaları rezistivite etüd raporları. MTA Rapor no:4852
- Karamandere, İ., H., 1972, Afyon K24 paftası detay jeoloji etüdü ve jeotermal alan olanakları hakkında rapor. MTA Rapor No:5733
- Kibici, Y., Yıldız, A. Bağcı, M.,. 2001. Afyon kuzeyinin jeolojisi, mermer potansiyelinin araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, MERSEM 2001, Afyonkarahisar, 73-84.
- Mutlu, H., 1996, Afyon jeotermal alanındaki termal suların jeokimyasal değerlendirmesi ve jeotermometre uygulamaları Doktora tezi . ODTÜ 169s.
- Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve Yakın Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Yay., Ankara.
- Öktü, G. Kara, İ. ve Önder, İ., 1997. Afyon İlinde Yer Alan Ömer – Gecek – Uyuz Hamamı ve Gazlıgöl Jeotermal Enerji Sahalarının Detay Etüdü, M.T.A. Enerji Ham. Etüt ve Arama Dairesi, 41s. Ankara.
- Satman, A, Onur, M VE Serpen, Ü,, Afyonkarahisar Ömer-Gecek jeotermal sahası rezervuar ve üretim performansı raporu Afjet. 2005
- Yıldız, A., Kibici, Y. ve Emrulloğlu, Ö. F., 1999. Seydiler (Afyon) diyatomitinin jeolojisi ve mineralojisi, BAKSEM'99, İzmir, 96-104.

İÇ BATI ANADOLU’NUN REJYONAL ISIL YAPISININ JEOFİZİK VERİLER İLE YORUMU

INTERPRETATION OF REGIONAL THERMAL STRUCTURE OF INNER WESTERN ANATOLIA USING GEOPHYSICAL DATA

DOLMAZ, M.N.

S.D.Ü. Müh.Mim.Fak. Jeofizik Müh. Böl. Isparta / TÜRKİYE
ndolmaz@mmf.sdu.edu.tr

ÖZET

Kabuk incilmesi, sığ Curie Nokta Derinliği (CND) ve deprem dağılımının birlikte değerlendirilmesi rejyonel ısıl yapıları belirlemek için önemli unsurlardan biridir. CND tahminleri kullanılarak iç batı Anadolu’daki karmaşık deformasyon zonlara sahip kabuğun ısıl yapısı araştırılarak, bölgenin kırılma dışı davranışını anlamak için sismik aktivite ile kabuğun ısıl durumunun karşılaştırılması yapıldı. Havadan manyetik verilerin spektral analizinden bölgenin CND tahminleri yapıldı. Daha sonra CND ne karşılık hazırlanan iç batı Anadolu’nun ısı akısı haritası önceki yüksek ısı akısı değerleri ile uyum içindedir. Uşak-Afyon zonunda elde edilen sığ CND ve onlara karşılık gelen yüksek ısı akısına sahip bölgeye üst kabuktaki inceleme ve yüksek kondüktiviteli alt kabuğun sığlaşması neden olmaktadır. Bu zonda yüksek ısıl gradientler de gözlenmiştir. Sismik aktivite ile CND nin karşılaştırılması, büyük depremlerin rejyonel termal yapıların sınırlarında meydana geldiğini göstermiştir. Rejyonel aktif sismik alanlardaki düşük sismik aktivitenin sığ CND ve yüksek ısı akısı ile ilişkili olduğu görülür. İç batı Anadolu’daki rejyonel ısıl yapının Afrika-Avrasya plaka sınırlarındaki hareket ile ilişkili kontrol edildiği düşünülmektedir. Dalan levha üzerindeki K-G yönlü litosferik açılma yükselen astenosferle birlikte iç batı Anadolu’da rejyonel bir termal yapı doğurmuştur.

Anahtar Kelimeler: rejyonel ısıl yapı, İç Batı Anadolu.

ABSTRACT

Evaluation of crustal thinning, shallow Curie Point Depth (CPD) and earthquake distribution can be one of the important factors that determine the regional thermal structures. The thermal structure of the crust across complex deformation zones in inner western Anatolia has been examined by using the CPD estimates and made comparisons

of the thermal state of the crust with the seismic activity to provide insights for spatial limits of brittle failure in this region. The CPD estimates of the study area were determined by spectral analysis of aeromagnetic data. Then, a heat flow map corresponding to the CPD in the inner western Anatolia shows general agreement to the previous high percentage of heat flows. The shallow CPD and the corresponding high heat flow region in the Uşak-Afyon zone in the study area is caused by upper crustal thinning and shallowing of high conductivity lower crust. Also, high vertical thermal gradients are observed in this zone. Comparison of the CPD variations with the seismic activity has shown that large earthquakes occur near the margins of the inferred regional thermal domes. Low seismic activity within the regionally active seismic areas seems to be associated with shallow CPD and high heat flow. It is interpreted that the regional thermal structure in the inner western Anatolia is mainly controlled by the processes associated with the African-Eurasian plate convergence zone. The N-S lithospheric extension above the subducting slab created a regional thermal dome in the inner western Anatolia in response to upwelling of asthenosphere.

Key Words: Regional thermal structure, Inner Western Anatolia.

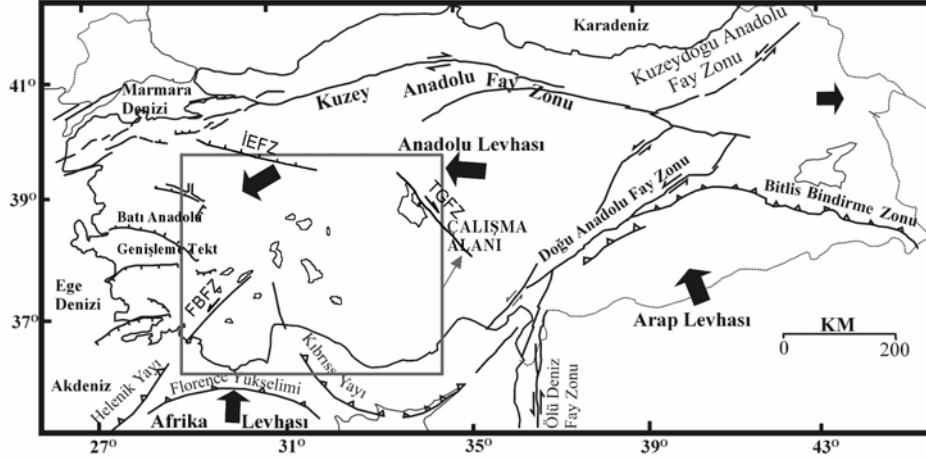
1. GİRİŞ

Dünyanın tektonik olarak aktif bir bölgesinde yer alan İç Batı Anadolu, jeo-tektonik konumu nedeniyle yıllardır bir çok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Bölge, Afrika ve Avrasya levhaları arasındaki dalmanın etkisiyle oluşmuş Alp-Himalaya orojenez kuşağında yer almaktadır (Şek. 1). Afrika levhası Kıbrıs hendeğinden kuzeye doğru Anadolu levhası altına dalmaktadır. Bu dalma Orta-Üst Miyosen süresince devam eden kıtasal çarpışma ile sonuçlanır (Fytikas vd., 1984). Bu çarpışma evresi yerini Batı Anadolu'da genişleme rejimine bırakmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile sınırlanan Anadolu levhası, Hellenik-Kıbrıs yitim zonu boyunca BGB yönünde Afrika levhasının okyanusal litosferi üzerine bindirmektedir. Çalışma alanında, Batı Anadolu Genişleme Provensi (BAGP) ve Orta Anadolu Ova Provensi (OAOP) rejimleri hakimdir. Ana ve bir çok tali faylar ile kabuğun parçalandığı Anadolu levhası, bir yandan Afrika levhası ile birlikte Arap levhasının hareketi etkisinde kalırken, diğer yandan saatin tersi yönünde bir dönme hareketi ile doğudan batıya doğru hareket etmektedir. Dönme hareketine ek olarak Batı Anadolu'da bugün K-G yönlü açılma saptanmıştır (Reilinger vd., 1997; McClusky vd., 2000).

Orta Anadolu bloğunda kıtasal litosfer iç deformasyona uğramış ve parçalara ayrılmıştır. Bölge bir yandan saatin tersi yönünde dönerken (Tatar ve diğ. (1996) 33° ye varan dönmeler saptamıştır), diğer yandan Kıbrıs yayı boyunca Afrika ve Anadolu levhalarının çarpışmasıyla ilişkili yaklaşık K-G ve KKD-GGB yönünde sıkışmaya maruz kalmıştır (Şengör vd., 1985; Reilinger vd., 1997; Rotstein, 1984; Tatar vd., 1996; Gürsoy vd., 1998; Platzman vd., 1998). Orta Anadolu bloğundaki dönme miktarının doğudan batıya doğru 25° den 10° ye kadar azaldığı ifade edilmiştir (Özçep, 2000; Özçep ve Orbay, 2000; Tatar vd., 2000). Güneybatı Anadolu'da Toroslarda yer alan ve bölgenin yüksek tektonik aktivitesini şekillendiren Isparta açısı (Blumenthal, 1951), Antalya Körfezi'nin kuzeyinde Afrika ve Avrasya levhalarının sınırı boyunca KD ve

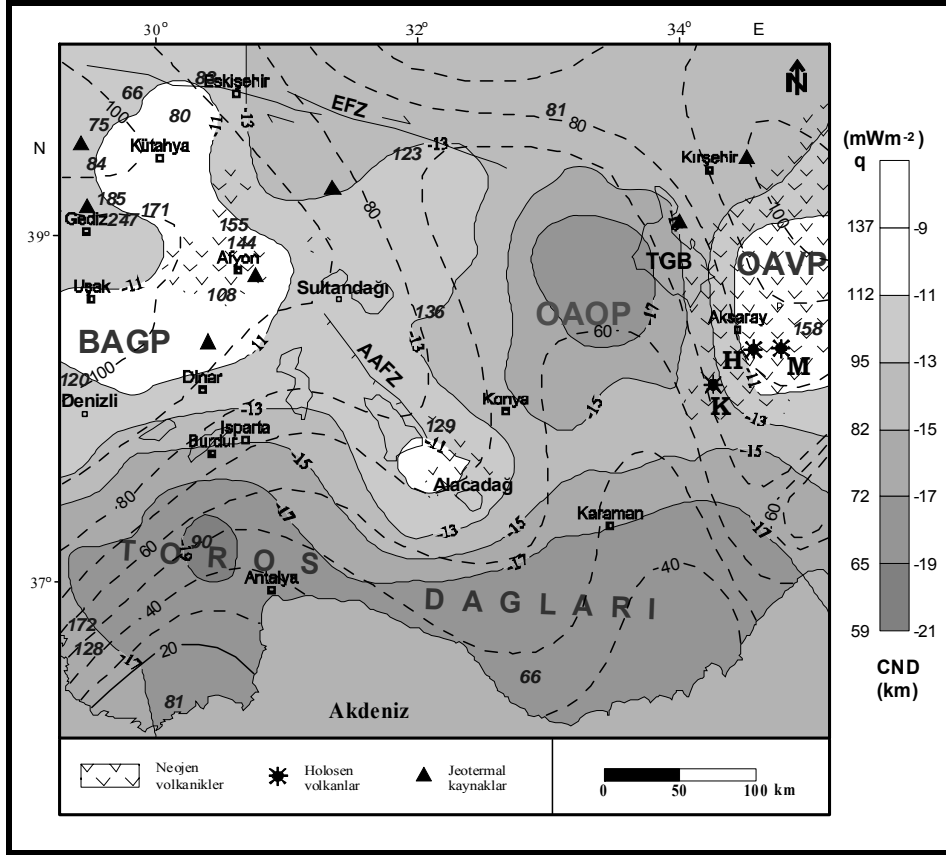
KB yönlü doğrultu atımlı faylar ile şekillenir (Eyidoğan ve Barka, 1996; Yağmurlu vd., 1997).



Şekil 1. Türkiye'nin genel tektoniği (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) içerisinde çalışma alanının konumu (Dolmaz, 2004). Büyük oklar levha hareket yönlerini göstermektedir. İEFZ: İnönü-Eskişehir Fay Zonu, TGFZ: Tuz Gölü Fay Zonu, FBFZ: Fethiye-Burdur Fay Zonu.

2. REJYONAL ISIL YAPI

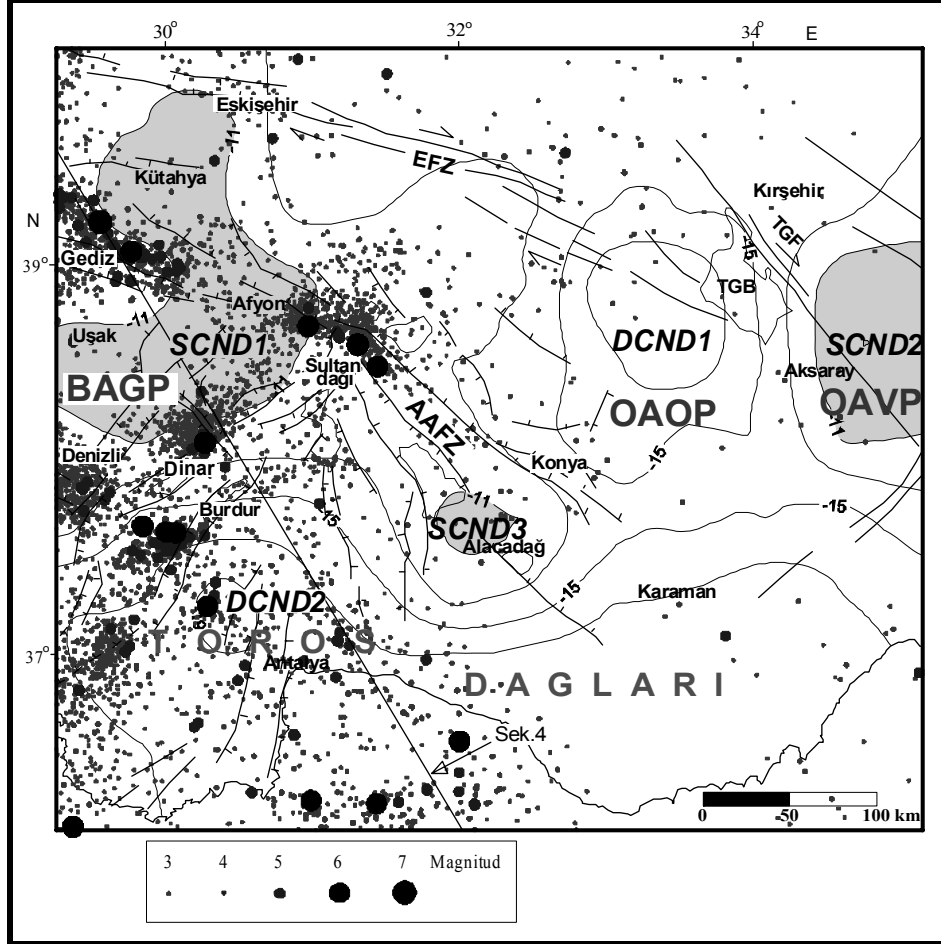
Genişleme rejiminin etkisi altında kalan Batı ve İç Anadolu bölgesinde kabuk kalınlığı incelmış ve bu olayın bölgenin ısı rejimi üzerinde önemli derecede etkisi olmuştur. Genellikle Curie Nokta Derinliklerinin sığlaştığı alanlar (SCND) ısının yüksek olduğu bölgelere karşılık gelirken, derin Curie Nokta Derinlikleri (DCND) ise daha soğuk alanlara karşılık gelmektedir. Havadan magnetik veriler kullanılarak CND tahmini ve bunlardan yararlanarak ısı akısı değerleri hesaplanabilmektedir. Isı akısı verilerinden bölgedeki yüksek ve düşük ısı akısına sahip alanlar belirlenmiştir. Bu bölgeler ile CND, deprensellik, tektonik, termal aktivite vb verilerin birbirleriyle karşılaştırılmasından bölgenin termal yapısı aydınlatılmaya çalışılmıştır. CND'leri (i) havadan magnetik verilerin kutba indirgenmesi, (ii) tüm bölgenin spektrumundan süzgeç parametrelerinin belirlenerek havadan magnetik verilerin süzgeçlenmesi, (iii) tüm çalışma alanının uygun boyutlarda birbirine girişimli alt bölgelere ayrılması, (iv) her bir alt bölgenin Okubo vd. (1985)'nin algoritmasına uygun olarak spektrumlarının ve onların radyal ortalamalarının alınması, ve (v) spektrumun en düşük ve ikinci en düşük frekanslı segmentlerinden, her bir alt bölgenin merkez (z_0) ve üst derinliklerinin (z_t) bulunması ve buradan $z_b = 2z_0 - z_t$ bağıntısı yardımı ile tahmin edildi (Şek.2).



Şekil 2. Bölgenin Curie noktası derinlik (CND) ve elde edilen ısı akısı haritalarının (mWm^{-2}) birlikte gri renkli skalada gösterimi (Dolmaz vd., 2005). Kesikli konturlar Tezcan ve Turgay (1989) tarafından verilen ısı akısını ve italik sayılar ise İlkışık (1995) ve İlkışık vd. (1997)' e göre ısı akısı değerlerini göstermektedir. Jeotermal çıkışlar da Şimşek (2001)' den düzenlemiştir. AAFZ, Afyon-Akşehir Fay Zonu; EFZ, Eskişehir Fay Zonu; TGB, Tuz Gölü Baseni; BAGP, Batı Anadolu Genişleme Provensi; OAVP, Orta Anadolu Volkanik Provensi; OAOP, Orta Anadolu Ova Provensi; K, Karacadağ; H, Hasandağ; M, Melendiz volkanları.

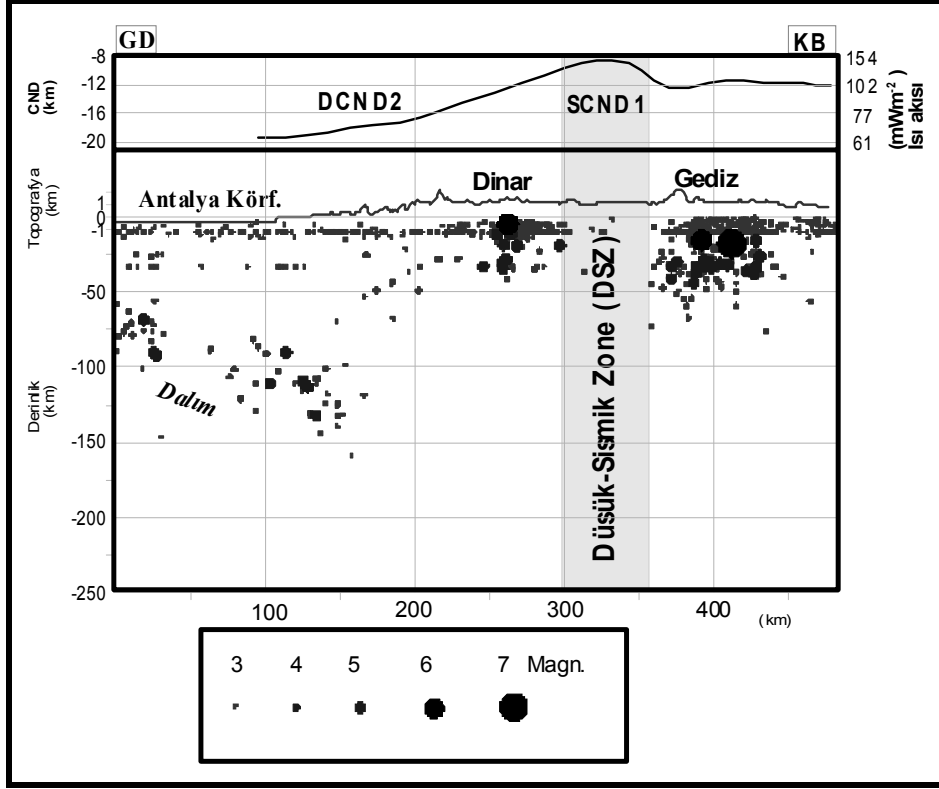
3. SİSMİSİTE

Güneybatı Anadolu'da gerek tarihsel dönemlerde gerekse 20. yüzyılda çok sayıda orta ve büyük boyutlu yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bölgenin CND' nin sismisite ile ilişkisini saptamak amacıyla, çalışma bölgesinde 1964 sonrası meydana gelmiş 3.0 den büyük depremlerin dağılımı sınıflandırılmıştır (Şek. 3). Şekilde KD-GB doğrultulu deprem verilerini içeren kesit 50 km lik genişlikte bir alan içermektedir.



Şekil 3. Bölgenin sismisite haritası (Dolmaz vd., 2005). CND konturları da çizilmiştir. KB-GD uzanımlı düz hat Şek. 4' teki kesit yerini göstermektedir. SCND: Sığ Curie Nokta Derinliği, DCND: Derin Curie Nokta Derinliği. Diğer kısaltmalar Şek. 2'deki gibidir.

Isparta Büklümü içerisinde gözlenen derin odak derinlikli (>100 km) yoğun sismik aktivite, dalan Afrika levhasının uç kısımlarına karşılık gelmektedir (Şek. 4). Özellikle Fethiye-Burdur Fay Zonu (FBFZ) ve Afyon-Akşehir Fay Zonu (AAFZ) boyunca ve Gediz merkez kabul edilmek üzere 50 km yarıçaplı bir alanda yoğun sismik aktivite gözlenmektedir (Şek. 3 ve 4). Yaklaşık 32° D boylamının doğusunda hemen hemen sismik aktivite yok gibidir. 31° D boylamı ise Isparta Büklümünü ve FBFZ ile AAFZ'nun kollarını oluşturduğu dış Isparta Büklümünü yaklaşık ortadan ikiye ayırmaktadır.



Şekil 4. KB-GD doğrultulu CND, topoğrafya ve deprem dağılımını içeren kesit (Dolmaz vd., 2005). Rejyonel ısıl anomali (SCND1) iki yoğun sismik zon arasında yer alır ve düşük sismik zon (DSZ) ile karakterize olur. Kısaltmalar Şek. 2 ve 3' teki gibidir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yayardı açılma havzası niteliğindeki bölge, yüksek ısı akısı değerleri ile karakterize edilmektedir. Yoğun sismik aktivite gözlenen Dinar ve Gediz arasındaki Düşük Sismik Zon (DSZ-Uşak-Afyon arası), sığ CND (9 km civarı) ve yüksek ısı akısı (130 mWm⁻² civarı) değerleri ile temsil edilmektedir (Şek. 2). Bir bölgedeki sismik-asismik geçişi o bölgedeki termal etkiyi yansıtabilir (Hyndman ve Wang, 1993). Bundan başka bir bölgedeki sismik-asismik sınırının kabuktaki kırılma-gevrek sınırı ile de ilişkili olabileceği düşünülür. Ayrıca, büyük depremlerin ısı gradientindeki büyük yanal değişimin olduğu bölgelerde meydana gelmesi olasıdır (Ito, 1999). Bu zonda (Uşak-Afyon arası) olası olarak büyük deprem oluşumu için gerekli enerji birikmemiştir. Buna rağmen bu zondaki sıcak malzemenin hareketi ile zon kenarlarında (Gediz ve Dinar) olası olarak gerilme artışı meydana geldiği için yoğun deprem aktivitesi gözlenmiştir. Yoğun deprem aktivitesi gözlenen bu alanlarda sismojenik tabaka

kalınlığının ortadaki DSZ' a göre daha fazla olduğu görülmektedir. Japonya'nın Izu yarımadası civarında yüksek ısı akısı değerlerinin görüldüğü volkanik bölgelerde sismojenik tabaka kalınlığının daha ince olmasından dolayı, bu bölgede yoğun deprem oluşumu için gereken gerilme enerjisinin birikemeyeceği vurgulanmıştır (Tanada, 1999). Buna rağmen bölgedeki sıcak malzemenin hareketi halinde çevre kayalarda gerilme artışı olacağından dolayı deprem fırtınası şeklinde mikro deprem aktivitesinin de olabileceği belirtilmiştir. Aksine düşük ısı akısı gözlenen bazı alanlarda sismojenik tabakanın daha kalın olması sebebiyle yoğun deprensellik olabileceği de ifade edilmiştir. Çalışma bölgesinde 1964 ten beri meydana gelmiş hasar yapıcı büyük depremlerin dağılımının, CND' nin çok sığ (ısı akısı değerlerinin çok yüksek) olduğu büyük termal potansiyele sahip rejyonel alanların kenarlarında yer aldığı görülmektedir.

TEŞEKKÜR

İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğine (Proje No: T44-23072002) teşekkür ederim.

5. KAYNAKLAR

- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- Blumenthal, M.M., 1951. Recherches géologiques dans le Taurus occidental dans l'arrière-pays d'Alanya. Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey Publications, Series D5.
- Dolmaz, M.N., 2004. Determination of Curie Point Depths of Southern Part of Western Anatolia and Their Correlation with Geodynamic Events, Ph.D. Thesis, Istanbul University, Turkey, 110 p, (unpublished).
- Dolmaz, M.N., Ustaömer, T., Hisarlı, Z.M., Orbay N., 2005. Curie Point Depth variations to infer thermal structure of the crust at the African-Eurasian convergence zone, SW Turkey. *Earth Planets and Space*, 57 (5), 373-383.
- Eyidoğan, H., Barka, A., 1996. The 1 October 1995 Dinar earthquake, SW Turkey. *Terra Nova*, 8, 479-485.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Peccerillo, A., Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. *Geological Society Special Publication*, 17, 687-699.
- Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., Mesci, L., 1998. Palaeomagnetic study of the Karaman and Karapınar volcanic complex, Central Turkey: neotectonic rotation in the south-central sector of the Anatolian block. *Tectonophysics*, 299, 191-211.
- Hyndman, R.D., Wang, K., 1993. Thermal constraints on the zones of major thrust earthquake failure: the Cascadia subduction zone. *Journal of Geophysical Research*, 98, 2039-2060.
- İlkışık, O.M., 1995. Regional Heat Flow in Western Anatolia Using Silica Temperature Estimates from Thermal Springs. *Tectonophysics*, 244, 175-184.

- İlkışık, O.M., Gürer, A., Tokgöz, T., ve Kaya, C., 1997. Geoelectromagnetic and geothermic investigations in the Ihlara Valley geothermal field. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 78, 297-308.
- Ito, K., 1999. Seismogenic layer, reflective lower crust, surface heat flow and large inland earthquakes. *Tectonophysics*, 306, 423-433.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R. Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B3), 5695-5719.
- Okubo, Y., Graf, J.R., Hansen, R.O., Ogawa, K., Tsu, H., 1985. Curie Point Depths of the Island of Kyushu and Surrounding Areas, Japan. *Geophysics*, 53, 481-494.
- Özçep, F., 2000. Anatolit Kuşağı Boyunca Neojen Volkanizmasının Paleomağnetizmadaki İzleri ve Bölgenin Tektonik Evrimine katkıları. Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bil. Enst., (yayınlanmamış).
- Özçep, F., Orbay, N., 2000. Paleomagnetic Studies on the Anatolian (Turkish) Plate and Geodynamic Implications: A Review. *Terra Nostra*, 10, 93-94.
- Platzman, E.S., Tapırdamaz, C., Sanver, M., 1998. Neogene anticlockwise rotation of central Anatolia (Turkey): preliminary palaeomagnetic and geochronological results. *Tectonophysics*, 299, 175-189.
- Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, W., Toksöz, M.N., Barka, A.A., Kınık, I., Lenk, O., Sanlı, I., 1997. GPS measurements of present-day crustal movements in the Arabian–Africa-Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research*, 102, 9983-9999.
- Rotstein, Y., 1984. Counterclockwise rotation of Anatolian block. *Tectonophysics*, 108, 71-91.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Ed. K.T. Biddle, N. Christie-Blick, Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub. 37 (in honor of J.C. Crowell), 227-264.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şimşek, Ş., 2001. An Overview of Geothermal Developments in Turkey. ITIT International Symposium extended abstracts, Tokyo, Japan, 17-23.
- Tanada, T., 1999. Seismicity in the northeast area of Izu Peninsula, Japan, comparing with three-dimensional velocity structure and temperature distribution of geothermal water. *Tectonophysics*, 306, 449-460.
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., Temiz, H., 1996. Regional significance of neotectonic counterclockwise rotation in Central Turkey. *International Geology Review*, 38, 692-700.
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., 2000. Palaeomagnetic study of the Erciyes sector of the Ecemis, Fault Zone: neotectonic deformation in the eastern part of the Anatolian Block. *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area*, Eds., E.

- Bozkurt, J.A. Winchester, J.D.A. Piper, Geological Society Special Publication, 173, 423-440.
- Tezcan, A.K., Turgay İ., 1989. Heat Flow Map of Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Department of Geophysics Research, Ankara (yayınlanmamış).
- Yağmurlu, F., Savaşçın, Y., Ergün, M., 1997. Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of the Isparta angle, SW Turkey. Journal of Geology, 105, 717-728.

AFYONKARAHİSAR JEOTERMAL SAHALARININ JEOLOJİK VE MİNERALOJİK EVRİMİ

THE GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL EVALUATION OF THE AFYONKARAHİSAR GEOTHERMAL FIELDS

KARAMANDERESİ İ. H.

JEM Jeolojik Etüt Müşavirlik Bürosu
e.mail: h.karamanderesi@gmail.com

ÖZET

Afyon jeotermal sahalarında, MTA Genel Müdürlüğü (2005) envanterinde belirtilen listeye göre Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz yöresinde 23 adet, Gazlıgöl yöresinde 4 adet, Heybeli-Çay yöresinde 8 adet, Sandıklı yöresinde 10 adet olmak üzere 45 adet jeotermal amaçlı resmi kuyu açıldığı bilinmektedir. Özel şirketler tarafından sıcak ve soğuk su kuyusu olarak (sulama amaçlı) açılan kuyu adedi bilinmemektedir. Gecek-Ömer-Kızık-Uyuz yöresinde iki adet, Sandıklı yöresinde 3 adet olmak üzere Afyon jeotermal sahalarının jeolojik yapısını tespit etmeye yönelik yapılmış olan sıcak su arama kuyularında jeolojik, mineralojik ve petrografik analiz çalışmalarından elde edilen verileri jeotermal enerji açısından yorumlanmıştır. Çalışmalar sonucunda bölgede gelişmiş olan sistemlerin jeolojik modellemesinde porfiri jeolojik modele uygun bir yapı tespit edilmiştir. Bölgesel volkanizmanın jeolojik evrimine bağlı olarak çok evreli bir yapı olduğu ortaya konmuştur. Bölgedeki ilksel jeotermal sistemlerin yüzelediği, en az üç evreli eski yapıların halen gömülü olduğu, deprenselliğe bağlı olarak yeni sistemlerin derinlerden beslendiği belirlenmiştir. Sistemlerin işletme evresinde kontrolsüzlüğün sonucu işletilen sığ sistemlerin 100-500m lik zonların kaybedilmesi yolunda hızla ilerlediği görülmektedir.

Jeolojik modellerde karbonatlaşma, silisleşme, hematitleşme, kaolinleşme ve ayrıntılı olarak tespit edilmemiş olmakla beraber olasılıkla zeolitleşme evrelerinin var olduğu görülmektedir. İleride yapılacak çalışmalar ile bu konular ayrıntılı olarak irdelenecektir. Bu bildiriye erken evre verilerinin ön sonuçları, işletme evresinde beklenen sonuçları ve sistemlerin zarar görmemesi için gelecekte yapılması gereken öneriler vurgulanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal saha, jeolojik evrim, Mineralojik, yönetim, Afyonkarahisar.

ABSTRACT

According to the list which is defined in MTA General Directory inventory in Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Field (23), in Gazlıgöl Field (4), in Heybeli-Çay Field(8), in Sandıklı Field (10) totaling 45 geothermal wells had been drilled. The number of the watering wells (hot or cold water) drilled by special companies is not known. The data; from Gecek-Ömer-Kızık-Uyuz Field (2) , Sandıklı Field (3) had been used for the mineralogical and petrographical analysis , and results had been interpreted for geothermal energy evaluation. As a result of the studies it is confirmed that the geological modeling of the systems in the fields is related to the porphyritic geological modeling. According to the evaluation of the local volcanism, several stages of the structure are obtained. It is determined that the first stage geothermal systems outcrops are seen, old structures having at least three phases are still buried and the young systems are fed from the depth of faulty zones.

Due to the wrong management of the reservoir, the operated shallow reservoirs are faced with loosening of the zones upto 100-500 m depths. In the geological modeling the carbonization, silicification, hematization, kaolinization and zeolitization phases are observed by macro analysis. These phases will be explained by the further detailed analysis. This paper includes the early data results, the possible problems during production and some recommendations to prevent the damage of geothermal systems.

Key Words: Geothermal field, geological evaluation, mineralogic, management, Afyonkarahisar.

1. GİRİŞ

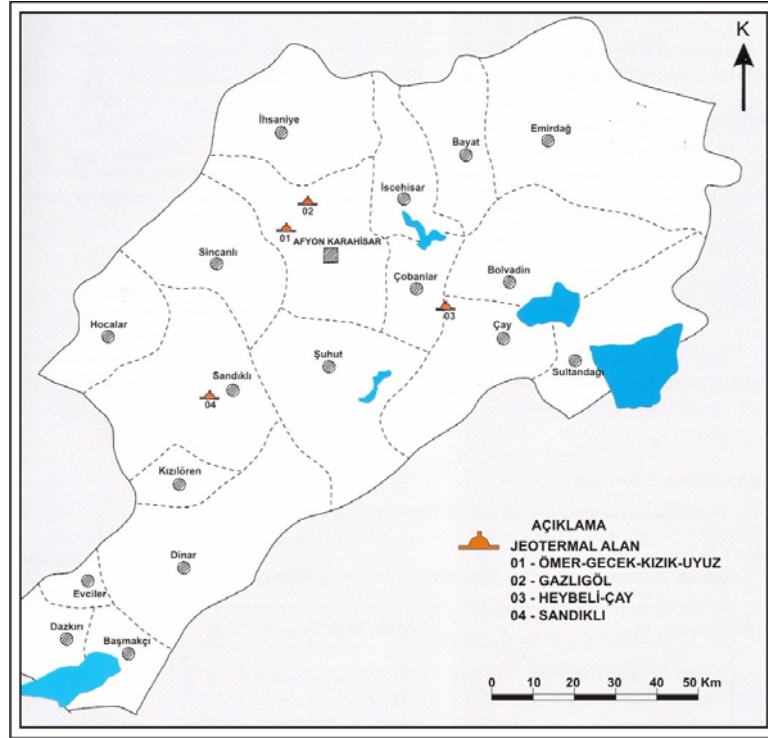
Afyon jeotermal sahaları, Şekil.1’de gösterildiği üzere, Afyon ili yakınında ve ilçeleri Sandıklı, Heybeli ve Çay ilçelerinde yerleşir. Yazar Afyon yöresinde 1972 yılında Afyon K24-b paftasının jeolojisini ve jeotermal alan olanaklarını araştırmıştır (Karamanderesi, 1972). 1999 yılında Afyon Ömer-Gecek jeotermal sahasında iki adet derin jeotermal sondajı kuyu jeolojisi etütlerini takip etmiştir (Karamanderesi, 1999/1, 1999/2). 2004 yılında ise Sandıklı yöresi jeotermal sahalarında üç adet derin kuyu ve bu kuyuların tespitine yönelik jeolojik, jeofizik ve kuyu jeolojisi çalışmalarını yaparak bölgedeki jeotermal sahaların yeraltı ve yüzey jeolojik araştırmalarını gözden geçirmiştir (Karamanderesi, 2004-1, 2, 3). 1968 yılından beri yüksek entalpili ve düşük entalpili jeotermal sahalarda yapmış olduğu gözlemlerin sonucunda Afyon yöresindeki jeotermal sistemlerin bir bütün olarak ele alınmasını, buralardaki jeolojik evrimleri, yeraltı jeolojisinden elde edilen verileri ve bölgesel yapıların bir bütün halinde yorumlanmasının sonuçlarını burada sergilemeye çalışılmıştır.

1.1. Eski etütler

Afyon jeotermal sahaları Orta Anadolu bölgesi içinde yer alır. Toroslar ile Mendere masifi arasındaki bölgede yer alan çalışmalar çok eski tarihlere gitmekle beraber Jeotermal Enerji araştırmaları Batı Anadolu Jeotermal Enerji Araştırmaları projesi ile beraber yoğunluk kazanmıştır. Jeotermal enerji araştırmalarından önce bölgede yapılmış maden ve jeolojik etütlerin gözden geçirilmesi en önemli konudur. Çünkü jeotermal

enerji bölgesel tektonizma, volkanizma ve maden yatakları ile doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple eski etütlerde bölgedeki yapılmış tüm jeolojik çalışmalara burada değinilmiştir.

Gülay, A. (1971, 1973), yıllarında Afyon Ömer-Gecek jeotermal sahası rezistivite etütlerini yapmıştır. Erişen, B. (1977) Afyon Ömer-Gecek jeotermal sahasının jeolojik etüt çalışmasını ve daha sonra da bölgede üretime yönelik sondaj çalışmalarında bulunmuştur. Karamanderesi, (1972) yılında Afyon-K24-b paftasının jeolojisini, 2007 yılında Varan tesisleri için bölgede yeniden bir çalışma yapmıştır. 2007 yılındaki çalışmalarında hazırlamış olduğu haritayı burada sunacaktır.



Şekil.1. Afyonkarahisar jeotermal sahaları bulduru haritası.

Özkoçak, (1992a, b) yılındaki iki çalışmasında jeotermal sahalar ile maden yatakları ilişkilerini irdelemiştir. Türkiye altın yataklarında yeni boyutlar çalışmasında jeotermal sahaların altın yatakları ile olan ilişkilerini irdelemiştir. Özkoçak, (1992b) çalışmasında Afyon-Bayat-Doğlat volkanik sahası altınlı antimon yatağını incelemiştir. Bu yatakların oluşumunu hidrotermal sıvıların muhtemel redoks sınırında su tablasına rastlaması ve kaynama, soğuma, karışma, azalan sıcaklık ve toplam kükürt, artan Ph gibi değişen termodinamik şartlar sonucu Ag, Au, pirit ve karbon çökeltilmiş olduğunu yazar.

Özkoçak, (1993a) Afyon-Aşağısağırılı altınlı demir yatağını etüt etmiştir. Yazar yapmış olduğu çalışmada, Afyon Konya sıradağ havza (Horst graben) yapısının Emirdağlar bölümünde yer alan maden sahasında kaya topluluklarının metamorfik kayalar (Mikaşist, kuvarsit ve mermerler) ve Pliyosen yaşlı volkanik kayaların riyolit, andezit ve tüflerden oluştuğunu yazar. Bölgede hidrotermal aktivite olarak silisleşme, limonitleşme ve kaolinleşmiş iki zon ayırmıştır. Bu zonun yapısal konumunu N10⁰W/40⁰E yön ve eğimlidir. Cevherleşme ise çoğunlukla hematit, limonit ve kuvarstan ibarettir. Tali olarak mika, klorit, rütil ve manyetit ihtiva ettiğini yazar. Yazar (1993b) yılı ikinci bir makalesinde Afyon volkanizması ile sıcak su kaynaklarının altın ve gümüş aramaları yönünden önemini incelemiştir. Afyon bölgesinin Kütahya-Afyon-Konya grabeni üzerinde yer alması, yoğun volkanik faaliyete sahne olması dünyaca ünlü jeotermal alanlara ve süreklilik arz eden yüksek ısı akısına sahip bulunması altın ve gümüş aramaları yönünden madencilik camiamızın ve yabancı kökenli madencilik firmalarının dikkatini çekmiştir. Benzer yapılar ve olaylar Afyon Sandıklı yöresinde Karacaören mahallesi Kuzey doğusunda porfiri maden cevher sahası olarak arandığını ve Karamanderesi ile beraber grup çalışması olarak TÜBİTAK destekli bir proje bazında çalışıldığını burada söyleyebiliriz.

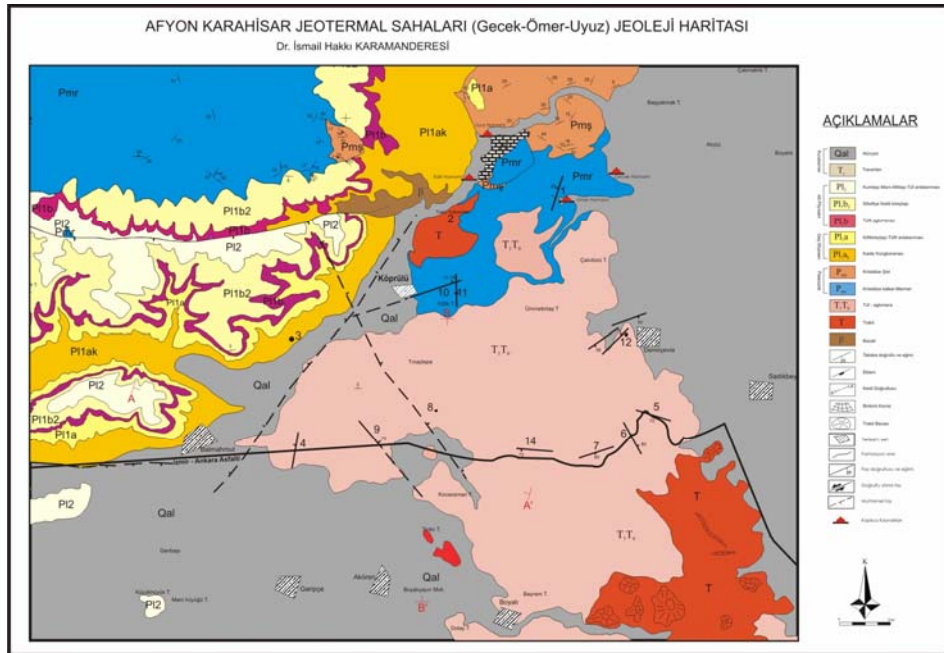
Sandıklı yöresindeki ilk jeolojik çalışma Parejas (1942) tarafından ve onu takiben tektonik ve volkanik oluşumları açıklamak için Ronner (1962) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sandıklı yakınında, Toros dağlarının otoktonunda yaygın trilobit ve konodont fosillerince zengin Çaltepe formasyonu ve bunun altında Hüdai kuvarsitlerinden oluşan Orta-Üst Kambriyen istifi bulunmaktadır (Özgül ve Gedik, 1973; Özgül, 1976; Gedik, 1989; Dean ve Özgül, 1994). Orta-Üst Kambriyen istifinin altında, stratigrafik ilişkilerine dayanarak İnfakambriyen veya Prekambriyen yaşında olduğu tahmin edilen mafik ve felsik volkanik ara katkılar içeren kalın bir kırıntılı sedimanter seri bulunmaktadır (Özgül ve diğ., 1991; Dean ve Özgül, 1994; Kozlu ve Göncüoğlu, 1997; Göncüoğlu ve Kozlu, 2000; Gürsu ve Göncüoğlu, 2005). Bu en alttaki kırıntılı seri deforme edilmiş ve çok düşük dereceli metamorfizmanın izlerini taşır. Ara tabaka olarak bulunan felsik magmatik kayalar çoğunlukla birincil yapı ve dokularını kaybetmiştir ve bunların ana kayaları problemlidir, bu nedenle Sandıklı porfiroitleri gibi jenetik olmayan terimler kullanılmıştır (Gutnic ve diğ., 1979). Bunun yanında Erdoğan ve diğ. (2004)'ün yapmış oldukları çalışmaya göre, Sandıklı (Afyon) bölgesinde, 3000m den daha kalın, metamorfizma geçirmiş silisiklastikler ve volkanikler (Kocayayla Grubu), trilobit ve konodont içeren Orta-Geç Kambriyen Hüdai kuvarsiti ve Çaltepe formasyonunun altında bulunur. Araştırmacılar daha önce İnfakambriyen veya Prekambriyen olarak dikkate alınan Kocayayla Grubu'na, iz fosillere dayanarak, Erken Kambriyen yaşı vermiştir. Kocayayla Grubu sığ denizel bir şelf koşulunda depolanmıştır. Kocayayla Grubu trilobit içeren Orta-Üst Kambriyen serisinin çökeliminden önce deforme olmuş ve metamorfizma geçirmiştir (Erdoğan ve diğ., 2004).

Batı Anadolu volkanizmasıyla ilişkili olarak Sandıklı bölgesi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Borsi ve diğ., 1972; Keller ve Villari, 1972; Ercan ve diğ., 1983, 1984a, 1984b, 1985; Ercan, 1986; Başarır ve Kun, 1982; Çevikbaş ve diğ., 1988;

Aydar, 1998; Floyd ve diğ., 1998; Savaşçın ve Oyman, 1998; Francalanci ve diğ., 2000; Akal, 2003; Aydın ve diğ., 2003). Değişik volkanik ürünlerde Besang ve diğerleri (1977) tarafından K/Ar yöntemi ile yapılan radyo metrik yaş belirlemeleri ile 14.75 ± 0.3 ; 13.6 ± 0.2 my; 12.20 ± 0.15 my; 12.15 ± 0.2 my; 11.6 ± 0.25 my; 11.55 ± 0.2 my; 10.35 ± 0.2 my; 8.6 ± 0.2 my; 8.8 ± 0.6 my ve 8.0 ± 0.6 my sonuçlar elde edilmiş ve volkanizmanın Orta Miyosenin sonlarına doğru başlayıp tüm Üst Miyosen boyunca devam ettiği saptanmıştır.

1.2. Afyonkarahisar-Gecek-Ömer-Kızık-Uyuz Jeotermal Sahası

Afyonkarahisar Gecek-Ömer-Kızık-Uyuz hamamları civarı ise Afyonkarahisar doğusunda yer alır. Kaynakların tamamı volkanik merkezli bir ısıtıcıya bağlı tipik jeotermal bir sahadır. Şekil.2 ekli jeoloji haritasında görüleceği gibi Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfikler, Paleozoyik mermerleri (Pmr), bunların hemen kenarında ise kristalize mermer-mikaşist ardalaması şeklinde ayrılan (Pmş) birimleri eski kayaları oluşturur.



Şekil 2. Afyonkarahisar Gecek-Ömer-Kızık-Uyuz jeotermal sahası jeoloji haritası.

Afyonkarahisar bölgesel jeolojik yapısı Metin vd. (1987), Erkan vd. (1996), Aydar vd. (1996) ve Tezcan vd. (2002) tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmiş olan aynı kaya birimleri Paleozoyik yaşlı İşcehisar Mermerleri (Pmr) ve Metakonglomeralara Üyesi'nden (Pz-Mkg) oluşan Afyon Metamorfikleri (Pz-Sst) olarak isimlendirilmiştir. İnceleme alanında geniş alanlar kaplayan Senozoyik yaşlı birimler Miyosen (Mi-Dtr),

Pliyosen (Pl-Dtr) ve Kuvaterner (Q-Alu) ile temsil edilmektedir. Yukarıda harita sahasında işaretlenmiş olan Pliyosen yaşlı birimler (Pl-Mrm), Kireçtaşı Üyesi (Pl-Kct), Seydiler Tuf ve Aglomeraları (Pl-Tuf), Trakit (Pl-Tra) ve Bazalt (Pl-Baz)'tan oluşmaktadır. Senozoyik yaşlı birimler Paleozoyik yaşlı kayalar üzerine uyumsuz olarak oturmaktadır.

Etüt sahası detay çalışmasında haritada (Şekil.2) görüleceği gibi bölgesel yapının eski ve yeni fay sistemleri denetiminde gelişmiş bir yapıdır. Köprülü köyünden Ömer kaplıcalarına giden yol üzerinde Köprülü köyü doğusunda KG-GB ve K-G uzanımlı eski evrelerin etkili fayları ve bunlara bağlı çatlak mineralizasyonları görülür. Köprülü Köyü ile Ömer-Gecek arasındaki bölge eski evre aşınmış fosil jeotermal sistemdir. Aynı yukarıda Özkoçak'ın anlatmış olduğu maden sahaları Özkoçak (1992b) Afyon-Bayat-Doğlat antimon sahası, Özkoçak, (1993a) Afyon-Aşağısağırılı altınlı demir yatağını, Yıldız, vd. (1999) Seydiler (Afyon) diatomit yatakları gibi fosil jeotermal sistemlerdir. Fakat saha içerisinde yapılan sondajlarda kuyu jeolojisi gözlemleri ise halen sıcak su üretilen bölgelerdeki yapıların yeniden gelişen üç evreli bir yapı olduğu ve güncel deprem verileri ile aynı sistemlerin yeniden derinlerden beslendiği veya beslenmeye başladığı kolayca görülür. Kuyu jeoloji ile elde edilen veriler gözden geçirecek olursa;

Ömer-Gecek sahasında yapılmış olan sondaj kırıntılarının incelenmesinde yapılan makro analizlerde üç üretim zonu görülmüştür. En sık birim 98-102m ler arasında yerleşmiştir. Silika sinter veya silis şapka. En sık sıcak su hazne örtüsüdür. Volkanik kaya kırıntılı kumlu kilaşı, kumtaşı ardalamasıdır. Volkanik kaya kırıntıları kısmen silisifiye, limonitleşmiş, hematitleşmiş opal, kalsedon içermektedir. Volkanik kaya kırıntıları arasında karbonat çökelimi mevcuttur. Ayrıca taze karbonat çökelimi de görülmüştür.

İkinci zon 179-241m ler arası sünger dokulu silika sinter veya ignimbrit (Demir oksit) kiremit kırmızısı boyamalı volkanik süngertaşı. Götüt içeren, devitrifiye olmuş süngertaşı, biyotitler tamamen bozunmuş ignimbrit, andezit türü volkanik kaya kırıntıları yer almıştır. Sondaj sırasında 204-206m ler arasında kaçak gözlenmiş etkili sıcak su üretim zonlarından birisidir. Aşağı doğru devam edildiğinde alterasyonun devam ettiği, karbonatlaşma, silisleşme, limonitleşme, hematitleşme, kalsit ve ikincil kil oluşumları görülmektedir. Volkanitlerde düşük sıcaklık alterasyon ürünleri olarak zeolitlenmenin varlığı düşünülmelidir. Yine kırıntılar içerisinde detay çalışmalarda zeolit(?), silis, kalsit, kil sıralanması gösteren alterasyon evreleri görülmektedir. Biyotitlerde hematitleşme, feldspatlarda kil, zeolit(?) ve kalsit oluşumları tespit edilmiştir. Kuyuda derine doğru ilerledikçe ısı artışı ile beraber alterasyon türü yüksek sıcaklığa doğru veya taze hidrotomal alteasyona doğru bir gelişme görülmektedir. Bu da daha derinlerde yüksek sıcaklık olduğunu, yapılan sondajlardan ölçülen akışkan sıcaklıklarının sıhhatli kuyularda yüksek sıcaklık, kötü planlanmış kuyularda ise düşük sıcaklıklı akışkan üretildiği kolayca görülmektedir.

336-350m den sonra ise diskordans ile metamorfik temele girilmektedir. Metamorfik temelde ise kısmen zayıf limonitleşme, yoğun olarak hematitleşme, ikincil kuvars, kalsit

görülmektedir. Daha derine gidildiği takdirde ise hematitleşme ve limonitleşme bitme yönünde gelişmektedir. Sonuç olarak bölgesel jeolojik yapının metamorfiklerde gelişen halen diri fay zonlarına yakın yörelerde yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı genç sistemler, üst seviyelerde ise iki adet yaşlı sistem jeolojik olarak ayrılmıştır. Fakat Özüdoğru ve Babür (2001) de anlatıldığı gibi jeotermal kuyuların sondaj operasyonlarında yapılan hatalar sonucu ve bölgedeki deprensellik nedeni ile Afyonkarahisar yöresinde soğuk yer altı suları ile jeotermal sistemler irtibatlanmıştır. Sonuç bölgesel jeolojik yapıyı ve jeotermal sistemleri doğru tanımlamama ve kötü sondaj yönetimi sonucu bölgede büyük bir su sorunu güncel olarak yaşanmaktadır. Telafisi nasıl yapılır kim yapabilir onu da şu anda söylemek mümkün değildir.

1.3. Afyonkarahisar -Sandıklı-Hüdaihamamları Jeotermal Sahası.

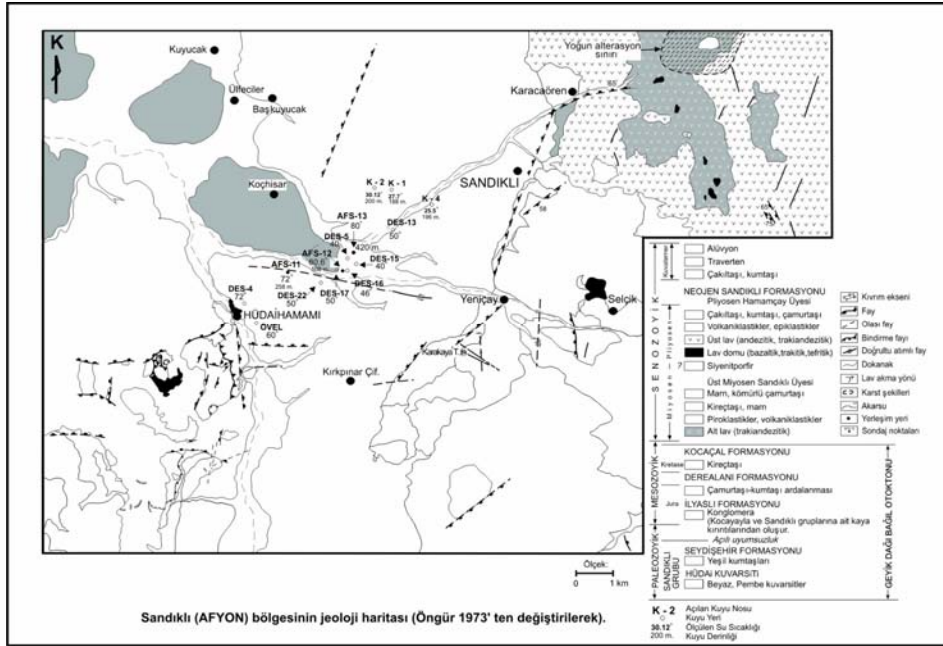
Afyonkarahisar Sandıklı Hüdaihamamları jeotermal sahası Afyonkarahisar güneydoğusunda yerleşmiştir (Şekil 3). Sandıklı volkanikleri batısında Volkanizmaya bağlı gelişmiş bir jeotermal sahadır. Sahanın ilksel boşalım bölgesi Hüdai Kaplıcalarıdır. Hüdai kaplıcaları isminden dolayı geçmiş yıllarda Hüdai Jeotermal sahası olarak bilinmiştir. 2005 Yılında Karamenderesi (2004) çalışmaları ile bu bölgenin Hüdai Kaplıcaları ile Sandıklı arasında İnpınarı Mevkii ile bilinen bir bölgede çok geniş bir alan kaplayan bir saha olarak belirlenmiştir. Sahada yapılan jeolojik ve Jeofizik çalışmalarla bölgedeki sistemin Sandıklı volkanitleri ile ilişkili oldukları görülmüştür. Daha sonra yapılan ilave araştırmalarla syenit porfire bağlı porfiri maden yatakları devamı olan büyük bir hidrotermal sistem olduğu görülmüştür. Şekil 3 Sandıklı yöresi jeoloji haritası üzerinde görüldüğü gibi çok fazla kuyu ile düşük ve orta sıcaklıklı bir saha olduğu görülmüştür. AFS-11 (Karamenderesi, 2004/1), Karamenderesi (2005-1) AFS-12 ve Karamenderesi (2005-2) AFS-13 nolu derin kuyuların jeolojik verileri, üretilen akışkan ile taşınan maden kırıntılarından yapılan kimyasal analizlerle zengin kimyasal kompozisyona sahip bir maden yatağı sahası olduğu görülmüştür. Dokuz Eylül Üniversitesi ile beraber TÜBİTAK projesi olarak halen çalışılmaktadır.

Çalışma alanı Afyon ilinin yaklaşık 40 km güneybatısında, Sandıklı yöresinde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı Batı Anadolu Neo-tektonik dönem tektonizması ve aktif volkanizma ile ilişkili olan şiddetli hidrotermal alterasyon ve jeotermal sistemin bulunduğu bir bölgedir. Sandıklı çevresinde gözlenen Miyosen yaşlı volkanizma çok geniş alanlarda farklı ürünler oluşturmuştur ve trakit, andezit, trakiandezit (latit), latit bazalt, fonolit ve tefrit türünde alkali ve kalk-alkali nitelikli lavlar, tüfler ve ignimbritler, değişik evrelerde Orta-Üst Miyosen boyunca meydana gelmiştir. Bu volkanik ürünlerde hidrotermal alterasyon oldukça yaygındır. Sandıklı bölgesinde, Hüdai kaplıcaları civarından itibaren, mevcut jeotermal sistemin devamından daha doğuya ve kuzeydoğuya doğru volkanik kayalardaki hidrotermal alterasyon izleri yüzeyde rahatlıkla gözlenebilmektedir.

Karacaöğren'in (Sandıklı) yaklaşık 4,5 km kuzeydoğusunda siyenitporfirin gözlendiği bölgeden derlenen örnekler üzerinde yapılan petrografik çalışmalar sonucunda

Neojen Sandıklı Formasyonu içindeki piroklastik, epiklastik, volkaniklastik ve lav akmasından oluşan ilksel volkanik kayaların şiddetli hidrotermal alterasyon geçirdikleri gözlenmiştir. Siyenitporfir sokulumuna bağlı olarak dört tip alterasyon gözlenmiştir. Bunlar dış zonundan siyenitporfir sokulumunun merkezine doğru sırasıyla propilitik (epidot, klorit, karbonat, albit, K-feldispat), arjilik (çok etkili olmamakla birlikte illit ve alunit), fillik (serisitik; kuvars, serisit, pirit) ve potasik (alkali metasomatik; K-feldispat ve biyotit) alterasyonlarıdır.

Aynı alterasyonlar Sandıklı yöresinde yapılan derin sıcak su arama kuyularında da gözlenmiştir. AFS-12 ve AFS-13 nolu kuyularda farklı iki evre ve birbirine geçişli düşük ve orta sıcaklıklı sistemlere yönelik alterasyonlar gözlenmiştir. Bunlarda yapılan makro gözlemler kuyu loglarında, laboratuvar bazında yapılan çalışmalar ise halen devam etmektedir.



Şekil. 3. Sandıklı (Afyonkarahisar) bölgesinin jeoloji haritası (Öngür, 1973'ten değiştirilerek).

Jeotermal sondajları sırasında kesilen kırıntılarda ve üretim sırasında kuyudan gelen kırıntılarda maden cevherleşmelerine rastlanmıştır. Bunlardan yaptırılan laboratuvar analiz sonuçları aşağıda tablo olarak verilmiştir (Çizelge 1).

Kuyu kırıntılarında yapılan analizler göstermektedir ki bölgedeki jeotermal sistemler ile maden yatakları ilişkilidir. Yine aynı bölgede sulama kuyuları olarak kullanılan sıcak su kuyuları sıcak su hazneleri ile ilişkili olup suları tipik maden suyu (jeotermal) sudur.

Kullanılan soğuk su sulama kuyuları DSİ tarafından sulama kuyusu olarak ruhsatlanmış kuyulardır. Sahanın kullanım hakkı Sandıklı jeotermal ısıtma sistemi işleticisi SANJET A.Ş. aittir. Sahaların kontrol yetkisi İl Özel İdaresine aittir. Denetim yetkisi ise MTA Genel Müdürlüğü'ne verilmiştir. Yukarıda verilen yetkiler ile bölgede çok tipik bir karmaşa vardır. Ayrıca bölgedeki jeotermal sistemleri besleyen sistemler özellikle Afyon yöresinde derin faylar ile bölgedeki depremler ile yeniden ısınan sistemlerdir. Böylece Yerel yönetimlerdeki Afet Yönetim sistemlerini yönetecek olan Yerel Yönetimler için jeotermal sistemlerde yapılması gereken gözlemleri kim nasıl yapacaktır? Burada çok önemli bir konu bölgesel soğuk yeraltı suları denetimi yapan DSİ görev alanları nasıl belirlenecektir?

Çizelge 1. AFS-12 ve AFS-13 nolu kuyulardan elde edilen kırıntıların kimyasal analiz sonuçları.

Numune	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag Ppb	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U Ppm
Üretim	0,12	1,90	2,90	49,4	9	4,2	4,6	571	1,89	0,1	2,4
AFS-12	21,33	22,89	17,30	185,4	30	28,2	8,4	1802	6,65	1983,9	2,2
AFS-13	3,23	39,01	9,83	160,3	18	15,1	5,1	2127	1,94	380,9	1,3
Standard	11,49	121,35	29,96	140,6	269	24,5	10,5	695	2,85	20,9	6,8

Au ppb	Th Ppm	Sr ppm	Cd Ppm	Sb Ppm	Bi ppm	V Ppm	Ca %	P %	La ppm	Cr ppm	Mg %
0,2	4,2	65,0	0,01	<0,2	0,04	38	0,58	0,088	9,0	8,3	0,58
4,8	4,9	104,1	0,12	8,59	0,14	24	13,44	0,098	21,1	27,1	7,53
4,2	1,1	58,6	0,24	2,15	<0,12	18	16,44	0,017	3,1	12,7	6,92
46,3	3,2	40,6	6,12	3,38	5,01	55	0,85	0,077	14,1	179,8	0,57

Ba ppm	Ti %	B ppm	Al %	Na %	K %	W ppm	Sc ppm	Ti ppm	S %	Hg ppb	Se Ppm	Te Ppm	Ga Ppm
227,5	135	1	1,00	081	51	<1	2,0	0,32	0,03	<5	0,1	<0,02	5,7
17,5	0,27	5	0,34	055	12	4	1,0	0,37	5,08	178	0,1	0,03	1,4
46,7	0,04	1	0,24	015	07	4	0,9	0,09	1,20	47	<1	<0,02	0,6
166,4	0,78	17	1,91	072	15	3,3	3,3	1,75	0,02	227	4,2	2,18	6,3

Üretim numunesi: AFS -13 kuyusundan pompa ile yapılan aşırı çekim sonrası gelen kırıntıdan yapılan analiz. AFS-12 ve AFS-13 Kuyularında fay zonu olarak kesilen kırıntıdan yapılan analiz neticeleridir.

Verilmiş olan ruhsatlar nasıl takip edilecek? SANJET A.Ş. tarafından işletilen sistemin beslenme ve üretim verileri ne ile kontrol edilecek? Aynı sorunlar Afyon içinde geçerli olup AFJET A. Ş. tarafından işletilen GECEK-ÖMER Jeotermal sistemi ile bölgede işletme yapan Termal Turistik Tesislerin çekim yaptığı suların beslenme ve karışım bölgeleri nasıl ayrılacaktır. Dünya su forumuna giderken Türkiye'deki yeraltı su sorunları tam bir karmaşa içerisinde sahipsiz veya çok sahipli yetkisiz kuruluşların denetiminde büyük problemlerle karşı karşıyadır.

2. TEKTONİK

Afyonkarahisar (Gecek-Ömer-Kızık-Uyuz) jeotermal sahası İç batı Anadolu bölgesinde yapısal olarak birçok kırıklı yapının kesişme bölgesinde yer alır. Faylar genel olarak morfolojik manada eski etütlerde çizilmiştir (Koçyiğit, 1984). Fakat diri ve etkin faylar araştırmacı tarafından tekrar yerinde gözlenmiş ve ölçülmüştür. Ölçülmüş faylar aşağıda tablo olarak verilmiştir.

Faylarda yapılan gözlemler ise şöyledir.

1 nolu fay Ömer Hamamlarında ölçülmüştür. N18E65NW istikametinde uzanan bu fay düzlemi Tersiyer yaşlı Pliyosen yaşlı kilitaşları, kumtaşları üzerinde gelişmiştir. Bu şekli ile bölgedeki tektonik evrimin çok genç olduğu, fay uzanımının Ömer Hamamlarından güneye doğru yapının devam ettiği şeklinde bir sonuç çok rahat söylenebilir.

Yine aynı bölgeye çok yakın Köprülü kuzeyinde bir fay düzlemi ölçülmüştür. Bu 11 nolu gözlemlili fay hattı N5E90 uzanımlı, fay hattında sıcak su dolaştığına dair net veriler gözlenmiştir. Bu veriler çok geniş çatlaklar olduğu, çatlakların iri kalsit kristalleri tarafından doldurulduğu açıkça görülmektedir.

Gözlem nosu	Koordinat değeri	Koordinat	Ölçülmüş fay
1 nolu gözlem	0275473D	4302566K	N18E65NW
2.Nolu gözlem	0273141D	4302166K	Karakayalar
3. Nolu gözlem	0270072D	4299726K	Yol kenarı çeşme
4 Nolu gözlem	0270119D	4297658K	NE-SW Fay düzlemi
5 Nolu gözlem	0277306D	4298015K	N70W72SW
6 Nolu gözlem	0276773D	4297609K	N25W80NE
7 Nolu gözlem	0276163D	4297211K	N70E80SE
8 Nolu gözlem	0272860D	4298222K	
9 Nolu gözlem	02715170	4297800K	N39W70NE
10 Nolu gözlem	0273072D	4300690K	N71E72NW,
11. Nolu gözlem	0273164D	4300648K	N5E90 Kalsit dolgu.
12. Nolu gözlem	0276766D	4299873K	N70E50SE
13.Nolu gözlem	0273493D	4286361K	N-S90 Dayk mevcut.
14.Nolu gözlem	0274684D	4297243K	N5W72SW

Başka bir gözlem noktası 2 nolu işaretli Karakayalar volkanikleri üzerinde işaretlidir. Bu bölgede volkaniklerin trakitik türde olduğu kolayca görülür. 4. nolu nokta ise Balmahmut doğusundaki sırt üzerinde NE-SW uzanımlı fay düzlemi tespit edilmiştir. Bu fay çok belirgin bir morfolojik hat olup Köprülü fayı olarak adlandırılmıştır.

Dikkat çeken gözlem noktalarından biri Varan Tesisleri ile Afyon arasında çok geniş bir dağılım gösteren tuf, aglomeralar içerisinde haritada da gösterildiği gibi 5, 6, 7, 9 nolu gözlem noktalarında bir seri fay sisteminin yer aldığı görülür. Bilhassa 14 nolu gözlem noktası güneyinde yol yarmasında şiddetli alterasyon gözlenmiştir. Bu bölgedeki alterasyonlar çok yoğun sirkülasyon olduğunu, sirkülasyon sonrası kalsit, silis (amorf silis) çökeldiğini, ayrıca Demir çözeltisi taşıyan suların bırakmış olduğu demir oksidasyonu sonucu limonitleşme göstermektedir. Limonitleşmenin oluşması bu bölgedeki sistemin yol boyu gözlenen faylardan sonra geliştiğini gösterir.

Etüt sahasındaki etkili fay zonlarından biri Demirçevre yöresindeki faylardır. Bu yöredeki fayların uzanımı haritada görüleceği gibi Varan Tesislerine doğrudur.

Etüt sahasında haritalanmış fayların genel dağılımı ile literatür taramasındaki yayınlarla karşılaştırdığımız takdirde Koçyiğit, 1984 görüleceği gibi bölgenin çok aktif olduğunu, fayların bölgesel yapı tarafından kontrol edildikleri kolayca görülür. Son Afyon ve çevresindeki depremlere baktığımız zaman bölgedeki volkanizma, deprensellik ve haritalanmış fayların bir bütünlük oluşturduğu kolayca görülür.

Jeotermal enerji araştırmalarında önemli olan sistemin doğru tanımlanmasıdır. Burada yapılan çalışmada da Afyon volkanitleri ile sıcak su kaynakları civarındaki çok genç volkanizmaları birlikte yorumladığımız zaman bölgedeki sistemlerin çok evreli olduğu ortaya konmuş olur. Zaten, yazarın çalışmış olduğu OR-1 ve OR-2 kuyularında üç evreli bir jeotermal sistemin varlığı kolayca görülür. En sığ sistem 40-50⁰C sıcaklıklı sığ zon, onun altında 60-70⁰C sıcaklıklı ikinci zon, metamorfik kayalardan üretim yapan Afyon jeotermal ısıtma sistemini besleyen 80-90⁰C sıcaklıklı üçüncü zon yer almaktadır. Son depremler ise bölgedeki sistemin halen ısınan bir sistem olduğu, fakat çok derin bir yapı oldukları görüşü kendiliğinden kabul edilmektedir. Bu üç sistemde alterasyon türleri en sığ sistemde oksidasyonun hâkim olduğu, ikinci sistemde henüz soğumaya başlamış bir sistemin olduğu, derin ve en yüksek sıcaklığı gösteren sistemin ise halen çok gazlı yüksek basınçlı ve çok verimli oldukları rapor edilmiş, yazar tarafından da yerinde gözlenmiştir.

3. SONUÇLAR

Afyonkarahisar Jeotermal sahaları bölgedeki jeolojik yapı ile doğrudan ilişkili olup çok evreli sistemlerdir.

Jeodinamik evrim devam ettiği için bölgedeki jeotermal sahaların sınırları çok zor çizilebilecek yapıdır. Bu konuda çok kapsamlı çalışmaların çok disiplinli araştırılması gereklidir.

Bölgedeki yeraltı sularını koruyacak DSİ ile Jeotermal sahaları koruyacak veya işletecek kuruluşlar arasında kapsamlı görev bölümlerinin çok hızlı bir şekilde yapılması önemlidir.

Hazırlanmış olup halen uygulandığı söylenen Jeotermal enerji kanunu uygulamasında ciddi sorunlar olduğu açıkça görülmektedir.

Jeotermal ısıtma sistemlerinde ciddi işletme sorunları vardır. Geri besleme devrelerinin acele devreye girmesi en öncelikli sorundur.

Soğuk yeraltı suyu kaynaklarını beslemek için suni besleme tesis ve devrelerinin ivedi işletmeye alınması veya kurulması çok çok önemlidir.

Yerleşme merkezlerinin evsel atıklarının arıtma sistemlerinden geçirilmeden çevreye verilmesinin önlenmesi için bütün yerel yönetimlerin imkanlarının acele seferberlik ilan edilmesi öncelikli konudur.

4. KAYNAKLAR

- Akal, C., 2003. Mineralogy and Geochemistry of Melilite Leucitites, Balçıkhisar, Afyon (Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 215-239.
- Aydar, E., Bayhan, H. Ve Zimitoğlu, O., 1996. Afyon stratovolkanının volkanolojik ve petrolojik gelişiminin incelenmesi. Yerbilimleri, 18, 87-107.
- Aydar, E., 1998. Early Miocene to Quaternary evolution of volcanism and the basin formation in western Anatolia: a review. Journal of Volcanology and Geothermal Research 85, 69-82.
- Aydar, E., Bayhan, H. ve Gouraud, A., 2003. The lamprophyres of Afyon stratovolcano, western Anatolia, Turkey: description and genesis. C.R. Geoscience, 335, 279-288.
- Başarı, E. ve Kun, N., 1982. Afyon kalesi çevresindeki volkanik kayaların petrografik incelemesi; KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 2/1-2, 87-96.
- Besang, C., Eckhardt, F.J., Harre, W., Kreuzer, H. ve Müller, P., 1977. Radiometriche altersbestimmungen an Neo-genen eruptivgesteinen der Türkei: Geol. Jb., B 25, 3-36.
- Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F. And Mazzuoli, R., 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics of Eastern Aegean sea: Bull. Volcan., 36/3, 473-496.
- Çevikbaş, A., Ercan, T. ve Metin, S., 1988. Geology and regional distribution of Neogene volcanics between Afyon-Şuhut. Journal of Pure and Applied Sciences, METU, Vol.21. No. 1-3, pp.479-499, April-Desember 1988. Ankara.
- Dean, W.T. ve Özgül, N., 1994. Cambrian rocks and faunas, Hüdai area, Tauride Mountains, southwestern Turkey. Bulletin dei 'Institut Royal Des Sciences Naturelles de Beigique, Sciences de la Terra, 64, 5-20.
- Ercan, T., 1986. Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizması. MTA Dergisi. 107, 119-140.
- Ercan, T., Günay, E. ve Baş, H., 1983. Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 26/2, 153-159.
- Ercan, T., Günay, E. ve Türkecan, A., 1984a. Bodrum yarımadasındaki magmatik kayaların petrolojisi ve kökensel yorumu: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 27/2, 85-98.

- Ercan, T., Türkecan, A., Akyürek, B., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B., Erkan, M. ve Özkirişçi, C., 1984b. Dikili-Bergama-Çadarlı (Batı Anadolu) yöresinin jeolojisi ve magmatik kayaların petrolojisi: Jeoloji Mühendisliği Derg., 20, 47-60.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Güney, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B., 1985., Batı Anadolu Senozoyik Volkanitlerine ait yeni kimyasal, İzotopik ve radyometrik verilerin yorumu: Geol. Soc. Turkey Bull. 28/2, 121-136.
- Erdoğan, B., Uchman, A., Güngör, T. ve Özgül, N., 2004. Ltihostratigraphy of the Lower Cambrian metaclastics and their age based on trace fossils in the Sandıklı region, southwestern Turkey. Geobios, 37, 346-360.
- Erişen, B., 1977. Use of Afyon geothermal area in heating the cities. Symposium on geothermal energy. Ankara, October 1977. pp. 73-92.
- Erkan, Y., Bayhan, H., Tolluoğlu, Ü. ve Aydar, E., 1996. Afyon yöresi metamorfik ve volkanik kayalarının jeolojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi. TÜBİTAK, YBAG/0044-DPT Projesi Raporu, 210 s. (Yayınlanmamış).
- Floyd, P. A, Helvacı.C. and Mittwede, S.K. 1998. Geochemical discrimination of volcanic rocks associated with borate deposits: an exploration tool? Journal of Geochemical Exploration, 60, 185-200.
- Francalanci, L., Innocenti, E., Manetti, P. ve Savaşçın, M.Y., 2000. Neogene alkaline volcanism of the Afyon-Isparta area, Turkey: petrogenesis and geodynamic implications. Mineral. Petrol., 70, 285-312.
- Gedik, L., 1989. Batı Toroslar Kambriyeninde hadimopanelüd biyostratigrafisi: Kambriyen'de yeni bir biyostratigrafik zonlama. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 32, 65-78.
- Göncüoğlu, M.C., ve Kozlu, H., 2000. Early Palaeozoic evolution of the NW Gondwanaland: data from Southern Turkey and Surrounding Regions. Gondwana Research, 3, 315-324.
- Gülay, A., 1971. Afyon-Ömer-Gecek jeotermal enerji , Rezistivite etüt ve sonuçları. Türkiye 1. Jeotermal Enerji Simpozyumu. 2-7 Kasım 1971, Ankara.
- Gülay, A., 1973. Afyon Ömer-Gecek jeotermal sahası ve rezistivite-temperatür ilişkileri konusunda bir uygulama. Türkiye Birinci Jeofizik Bilimsel ve Teknik Kongre Tebliğleri. Türkiye Jofizikçiler Birliği Yayınları No:2. Sayfa:103-115. Ankara.
- Gürsu, S. ve Göncüoğlu, M. C., 2005. Batı Torosların (Sandıklı GB'si, Afyon) Geç Neoproterozoyik ve Erken Paleozoyik yaşlı birimlerin jeolojisi ve petrografisi. MTA Dergisi, 130, 29-55.
- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A. ve Dumont J.F., 1979. Geologie des Taurides occidentales (Turguie). Societe Geologique de France, Memoire, 137, 112.
- Karamandersi, İ. H., 1972. Afyon K24-b paftası detay jeoloji etüdü ve jeotermal alan olanakları hakkında rapor. MTA Rapor No:5733 (yayınlanmamış).
- Karamandersi, İ. H., 1999/1. Oruçoğlu derin sondaj kuyusu kuyu bitirme raporu.
- Karamandersi, İ. H., 1999/2. Oruçoğlu derin sondaj (OR-D2) kuyusu bitirme raporu
- Karamandersi, İ. H., 2004. Sandıklı (AFYON) SANJET A. Ş. sıcak su arama etüt raporu. JEM-2004-1. (SANJET A. Ş.).
- Karamandersi, İ. H., 2004. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-11) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2004-02. (SANJET A.Ş.).

- Karamanderesi, İ. H., 2005. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-12) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2005-01. (SANJET A.Ş.).
- Karamanderesi, İ. H., 2005. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-13) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2005-02. (SANJET A.Ş.).
- Keller, J. ve Villari, L., 1972. Rhyolitic ignimbrites in the region of Afyon-Central Anatolia. *Bulletin of Volcanology*, 36, 342-358.
- Koçak, M. Ö., 1993a. Afyon-Aşağısarıalın altın demir yatağı. 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 bildiri özleri. Sayfa:33. Ankara.
- Koçak, M. Ö., 1993b. Afyon volkanizması sıcak su kaynaklarının altın ve gümüş armaları yönünden önemi. . 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 bildiri özleri. Sayfa:40. Ankara.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*. Cilt:27, Sayı:1, Sayfa:1-16.
- Kozlu, H. ve Göncüoğlu, M.C., 1997. Stratigraphy of the İnfracambrian rock-units in the Eastern Taurides and their correlation with similar units in Southern Turkey. Göncüoğlu, M.C. ve Derman, A.S. (ed). *Early Paleozoic in NW Gondwana*, Turkish Association Petroleum Geologists Special Publication, 3, 50-61.
- Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve dolayının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Rapor no:8103, Ankara (Yayınlanmamış).
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları: MTA Rapor No: 5520 (yayımlanmamış), Ankara.
- Özgül, N., ve Gedik, L., 1973. Orta Toroslarda Alt Paleozoik yaşlı Çaltepe formasyonu ve Seydişehir formasyonunun stratigrafisi ve konodont faunası hakkında yeni bilgiler. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 16-2, 39-52.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S. Alkan, H. ve Öztaş, Y., 1991. Göller bölgesi ve Isparta'nın jeolojisi ve stratigrafisi. T.P.A.O. arama grubu rapor no: 3028, 321 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Özkoçak, A. M., 1992a. Türkiye altın yataklarında yeni boyutlar. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, S:7, 70-77, Ankara.
- Özkoçak, A. M., 1992b. Afyon-Bayat-Doğlat volkanik sahası altın antimon yatağı. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, S:7, 225-232, Ankara.
- Özkoçak, M. O., 1993a. Afyon-Aşağısarıalın altın demir yatağı. 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 Bildiri Özleri. Sayfa:33. Ankara.
- Özkoçak, M. O., 1993b. Afyon volkanizması ve sıcak su kaynaklarının altın ve gümüş aramaları yönünden önemi. 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 Bildiri Özleri. Sayfa:40. Ankara.
- Özudoğru, S., Babür, E., 2001. Jeotermal enerji arama ve işletme sorunları. YG-21 İşbirliğinde Yenilebilir Enerji Kaynakları, 42-49. İZMİR
- Parejas, E., 1942. Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta ve Eğridir bölgesinde yapılan jeolojik löveler hakkında rapor. MTA Rapor No: 1390 (yayımlanmamış), Ankara.
- Ronner, F., 1962. Sandıklı ovası çöküntüsü, genç tektonik ve volkanik durumlar: MTA Dergisi, 59, 69-88. Ankara.

- Savaşın, M.Y. ve Oyman, T., 1998. Tectono-magmatic evolution of alkaline volcanics at Kırka-Afyon-Isparta structural trend, SW Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 7, 201-214.
- Yıldız, A., Kibici, Y., Emrullah, Ö. F., 1999. Seydiler (Afyon) diyatomit yatağının jeolojisi ve mineralojisi. 1. Batı Anadolu Hammaddeler Kaynakları Sempozyumu, 8-14. Mart. İZMİR.

JEOTERMAL SONDAJLARDA FORMASYON KAYNAKLI İLERLEME GÜÇLÜKLERİNİN ANALIZI

ANALYSIS OF GEOTHERMAL DRILLING PROBLEMS SOURCED BY FORMATION

ÖZDEMİR, A.

Sondajcılar Birliği Bilimsel ve Teknik Danışma Kurulu Üyesi,
Adil Özdemir Sondaj ve Mühendislik, Ankara
adil@adilozdemir.com

ÖZET

Sondaj işlemine başlamadan önce delinecek formasyonların özellikleri tespit edilmeye çalışılmalı, yersel jeolojik ve jeofizik etüt raporları incelenmeli, aynı alan içerisinde açılmış olan kuyulara ait bilgiler ve kuyu açımı sırasında yaşanan sorunlar öğrenilmeli, sorun yaratabilecek formasyonların derinliği ve kalınlığı belirlenerek tedbir alınmalıdır. Çıkabilecek sorunlara karşı stratejiler belirlenerek çalışmalar bu stratejiye uygun olarak yönlendirilmelidir. Bu çalışmada, jeotermal sondaj çalışmalarında problem oluşturan bazı formasyonların kolay ve güvenli bir şekilde delinmesi için yapılması gereken işlemler irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sondaj, Jeotermal Sondaj, İlerleme Güçlükleri

ABSTRACT

The properties of the formations that shall be drilled should be tried to be determined prior to starting the drilling process. The ground geological and geophysical investigation reports should be reviewed, information belonging to the wells that were opened in the same area and the problems that occurred during well drilling should be learnt, and due precautions should be taken by determining the depth and thickness of the formations that may lead to problems. The strategies against the problems that may arise should be determined and works should be directed in compliance with said strategies. In this study the procedures that are required for easy and safe drilling of the formations that create some problems during geothermal drilling are specified.

Keywords: Drilling, Geothermal Drilling, Drilling Problems

1. JEOTERMAL SONDAJLARDA FORMASYON KAYNAKLI İLERLEME GÜÇLÜKLERİNİN ANALİZİ

1.1. Giriş

Bu teknik yazıda, jeotermal sondajcılıkta kuyuların delinmesi sırasında karşılaşılan formasyon kaynaklı ilerleme güçlükleri irdelenmiş, ilerleme güçlükleri yaşanan formasyonlar tanımlanmış ve bu formasyonların kolay ve güvenli bir şekilde delinmesi için yapılması gereken işlemler için öneriler getirilmiştir. Ele alınan ve önerilen yöntemler, 12 yıldır ülkemizin çeşitli illerinde ve formasyonlarında yaptığımız sondaj çalışmaları sırasında elde ettiğimiz tecrübelerin yazıya yansımış şeklidir.

Sondaj çalışmalarında delme aşamasına geçmeden önce bir sondaj programının yapılmaması, yanlış delme yöntemi ve ekipman seçimi, sondaj çamuru özelliklerine gereken önemin verilmemesi ve değişimlerinin yeterince kontrol edilmemesi vb. gibi sebeplerden dolayı kuyularda sapma, takım kesmeleri, takım sıkışmaları, takım çözülmeleri, çamur kaçakları, ani geliş (blow-out), vb. gibi ilerleme zorlukları ortaya çıkmaktadır. Bu zorlukların aşılabilmesi nedeniyle kuyular terk edilebilmektedir. Bu durumda, emek, zaman ve ekonomik kayıp olacaktır.

Sondaj işlemleri sırasında güçlüklerin asgari düzeye indirilmesi için genel olarak;

- Delinecek formasyona uygun donanım ve malzeme seçilmelidir
- Kuyu sapmalarını önlemek için yeterli miktarda ağırlık ve saptırma kullanılmmalıdır
- Rezervuar seviyelerin derinlerde ve örtü kaya olarak zor delinebilen formasyonların olduğu durumlarda bu tür formasyonların delinmesi için, öncelikle hava + su + köpük dolaşımı ve kuyu dibi çekici kullanılmalıdır. Döner-çamurlu sistem ile çalışma zorunluluğu varsa yeterli miktarda ağırlık borusu kullanılmalıdır (hidrolik makinalarda baskı verilmelidir)
- Takım elemanlarından yorulmuş-yıpranmış, eğik vb. gibi nitelikler taşıyan, ilerleme sırasında zorluk çıkarabilecek malzemeler ayrılarak sondaj çalışmalarında kullanılmaması sağlanmalıdır
- Matkabın kestiği, sondaj çamuru ile kuyu dışına atılan kırıntıların hangi derinliğe ait örnek olduğunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü, borulama vb. işlemler sırasında sorun çıkarsa, sorunun kolay olarak çözülmesi için sorunlu bölgenin litolojisinin ve derinliğinin tam olarak bilinmesi gerekmektedir
- Döner-çamurlu sistem ile çalışılan durumlarda, çamurun özellikleri (viskozite, su kaybı, sıva kalınlığı vb.) sürekli olarak kontrol edilmelidir. Gerektiğinde, ilerleme sırasında çamur özelliklerinde iyileştirmeler yapılmalıdır
- İlerleme sırasında, mutlaka sondör kontrol panelinde veya kabin içerisinde olmalı ve baskı (ağırlık) miktarı ve dönüş hızı vb. gibi sondaj parametrelerini değişen jeolojik koşullara göre yeniden düzenlemelidir
- Düşük maliyet ve yüksek delme hızı için, mutlaka formasyona uygun matkap seçilmelidir

- Kuyu içi (çamur) ve kuyu dışı (formasyon) basınçları dengelenmelidir. Bu durum, kuyu ve personel güvenliği açısından oldukça önemlidir (ani geliş/blowout olayının yaşanmaması için)
- Çamur sıcaklığı, miktarı rengi sürekli olarak kontrol edilmelidir (Çamur sıcaklığı ve miktarındaki artış rezervuar seviyesine yaklaşıldığını işaret etmektedir)
- Şantiyede mutlaka tahliye bulundurulmalıdır
- Sondaj çalışmaları sırasında emniyet vanaları (BOP) kuyu başında monteli olmalıdır.

Sondaj çalışmalarında formasyonların delinmesi sırasında bazı zorluklar yaşanabilir. Bu zorlukların derecesi sondaj personelinin işine olan ilgisi ile doğru orantılıdır.

Bazı formasyonların delinme hızı düşüktür ve sabır gerektirir, bazıları da bünyesinde kuyu açılırken bu delme işlemine karşı duyarsız kalmaz (şişer, akar, yıkılır veya göçer). Delme işlemine başlamadan önce delinecek formasyonların özellikleri varsa mostralardan tespit edilmeye çalışılmalı, yersel jeolojik ve jeofizik etüt raporları incelenmeli, aynı alan içerisinde açılmış olan kuyulara ait bilgiler ve kuyu açımı sırasında yaşanan sorunlar öğrenilmeli, sorun yaratabilecek formasyonların derinliği ve kalınlığı belirlenerek tedbir alınmalıdır. Herhangi bir durumda, sorun olmadan önce önlem almak, sorun yaşanırken veya yaşandıktan sonra yapılacak işlemlerden çok daha kolay ve ucuzdur.

1.2. İlerleme Güçlükleri Yaşanan Formasyonlar

1.2.1. Gevşek alüvyonlar

a. Jeolojik Tanım

Kum, çakıl, kil ve silt içeren, çimentolanmamış jeolojik birimdir.

b. Çıkabilecek Sorun

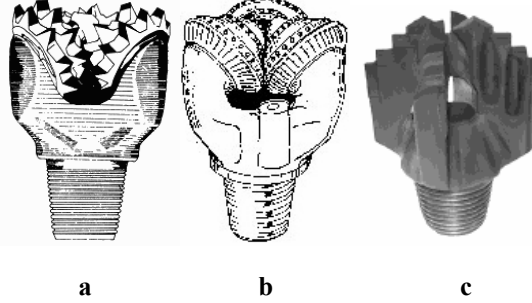
Alüvyon formasyonların delinmesi sırasında çıkan en önemli sorun, kuyu genişlemesi (yıkılma-göçme) nedeniyle kuyuda dolgu oluşmasıdır. Şekil 1’de kuyu genişlemesi nedeniyle kuyuda dolgu oluşumu görülmektedir.



Şekil 1. Kuyu genişlemesi nedeni ile kuyuda dolgu oluşumu, (Özdemir,2007)

c. Sondaj Tekniği

1. Bu tür formasyonda, döner-düz çamurlu veya döner-ters çamur dolaşımli sondaj yöntemleri tercih edilmelidir. Koruma borusu sürme ile delme işleminin eşzamanlı olarak yapılabildiği sondaj yöntemleri de (ters dolaşımli kuyudibi çekiçli delme yöntemi, odex, rotex vb.) kullanılabilir.
2. Döner-çamurlu yöntemle alüvyonlar delinirken, orta sık çelik dişli (IADC kodu 2 ile başlayan) (Şekil 2a) veya tungsten karbid dişli (IADC kodu 4-5 ile başlayan) üç konili (Şekil 2b) veya kanatlı matkaplar (Şekil 2c) kullanılmalıdır (kanatlı matkaplar ile yüksek ilerleme hızları elde edilebilmektedir).
3. İlerleme sırasında takıma baskı (ağırlık) verilmemeli veya çok düşük oranlarda baskı uygulanmalıdır (450-1000 kg/inç).



Şekil 2. Jeotermal sondaj çalışmalarında kullanılan çeşitli matkaplar
a. Çelik dişli konili matkap b. Tungsten karbid dişli konili matkap c. Kanatlı matkap

4. Bir günde kuyunun tamamı delinerek bitirilmeye çalışılmamalıdır. Delme işlemi alıştırmalı (takımın yukarı-aşağı hareket ettirilmesi) olarak yapılmalı yani birkaç metre ilerlemeden sonra 5 dakika ilerleme olmaksızın çamur dolaşımı yapılarak kuyudaki malzemenin kuyu dışına atılması sağlanmalıdır. Bu işlem sonrasında yeniden ilerlemeye geçilmelidir.
5. Alüvyon kalınlığının fazla olması durumunda, formasyon akifer özelliğinde değil ise bu kısmın borulanması düşünülmelidir.

d. Sondaj Hidroliği

1. Kuyu derinliğine uygun olacak biçimde iki adet çamur havuzu hazırlanmalı, çamur kanalları uzun ve dönemeçli olmalı ayrıca dönme noktalarına küçük (sığ) çökeltme havuzcukları inşa edilmelidir. Kuyudan gelen kırıntılar elek üzerinden, kanal ve sığ çökeltme havuzcuklarından sürekli olarak temizlenmelidir.
2. Sondaj çamurunu, matkabın kestiği kırıntılardan arındırmak için elek ve siklon kullanılmalıdır.
3. Bentonit ve polimer ile sıvama yeteneği çok iyi, taşıma gücü yüksek ve su kaybı az olan bir çamur hazırlanmalı ve çamurun bu özelliklerin korunması için mutlaka saha

çamur deney ekipmanları (marş hunisi, çamur terazisi, basınçlı süzücü, döner viskoziteölçer, kum içeriği takımı) kullanılmalıdır.

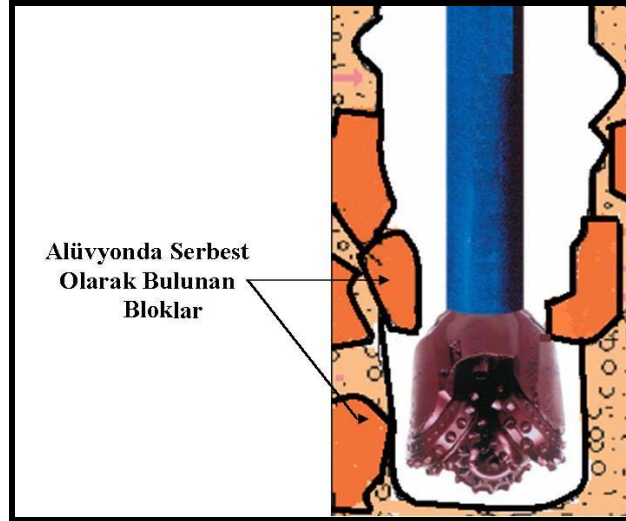
1.2.2. Bloklü alüvyonlar

a. Jeolojik Tanım

Çakıl, kum gibi kırıntılı zeminlerin arasına iri blokların yerleşmesiyle oluşmuş formasyonlardır.

b. Çıkabilecek Sorun

Bu tür formasyonların delinmesi sırasında alüvyon içerisinde dağılmış halde bulunan blokların yerlerinden ayrılarak matkap üst kısmına veya tij ile kuyu duvarı arasına düşmesi vb. gibi sondaj güvenliği açısından tehlikeli durumlar ortaya çıkabilmektedir. Genellikle, böyle bir durum sonucunda takım kesmeleri görülmektedir. Şekil 3’de alüvyon içerisinde dağılmış halde bulunan blokların yerlerinden ayrılarak matkap üst kısmına veya tij ile kuyu duvarı arasına düşmesi durumu verilmiştir.



Şekil 3. Alüvyon içerisinde dağılmış halde bulunan blokların yerlerinden ayrılarak matkap üst kısmına veya tij ile kuyu duvarı arasına düşmesi (Özdemir, 2007)

c. Sondaj Tekniği

1. Bu tür formasyonda, döner-düz çamurlu veya döner-ters çamur dolaşimli sondaj yöntemleri tercih edilmelidir. Koruma borusu sürme ile delme işleminin eşzamanlı olarak yapılabildiği delme yöntemleri de (ters dolaşimli kuyudibi çekiçli delme yöntemi, odex, rotex vb.) kullanılabilir.

2. Döner-çamurlu yöntemle bloklu alüvyon formasyonlar delinirken, orta sık çelik dişli (IADC kodu 2 ile başlayan) veya tungsten karbid dişli (IADC kodu 4-5 ile başlayan) üç konili matkaplar kullanılmalıdır (Şekil 2a ve b).
3. Formasyon kalınlığının fazla olması ve formasyonun akifer özelliği taşımadığı durumlarda, bu kısmın borulanması veya çimentolanması düşünülmelidir.
4. Kuyunun delinmesine dar çaplı matkap ile başlanıp, geniş çaplı matkap ile taranması düşünüldüğünde takım kesme ihtimali üzerinde durulması gereken bir konudur.

d. Sondaj Hidroliği

1. Kuyu derinliğine uygun olacak biçimde iki adet çamur havuzu kazılmalı, çamur kanalları uzun ve dönemeçli olmalı ayrıca dönme noktalarına küçük (sığ) çökeltme havuzcukları inşa edilmelidir. Kuyudan gelen kırıntılar elek üzerinden, kanal ve sığ çökeltme havuzcuklarından sürekli olarak temizlenmelidir.
2. Sondaj çamurunu, matkabın kestiği kırıntılardan temizlemek için elek ve siklon kullanılmalıdır.
3. Bentonit ve polimer ile sıvama yeteneği çok iyi, taşıma gücü yüksek ve su kaybı az olan bir çamur hazırlanmalı ve bu özelliklerin korunması için mutlaka saha çamur deney ekipmanları (marş hunisi, çamur terazisi, basınçlı süzücü, döner viskoziteölçer, kum içeriği takımı) kullanılmalıdır.

1.2.3. Şişen ve Dağılan Killer

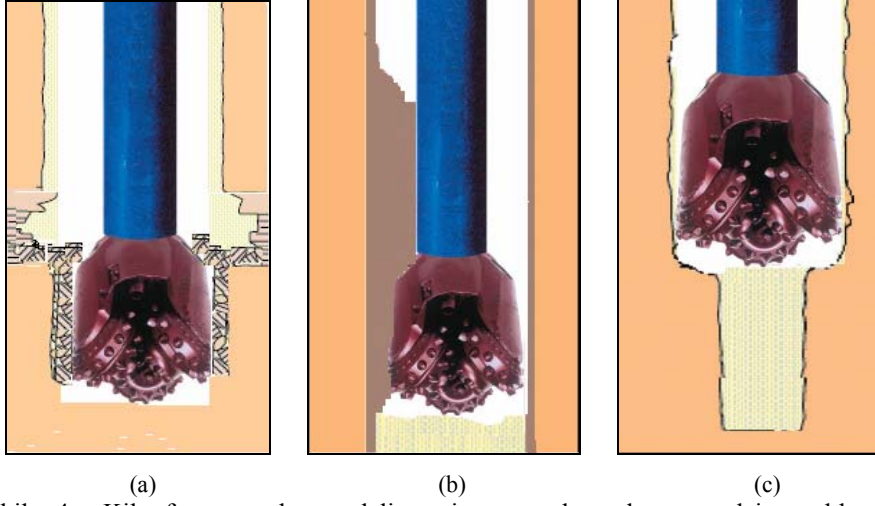
a. Jeolojik Tanım

Kayaçların kimyasal veya fiziksel bozunması sonucu oluşan en küçük tane boyutuna sahip sedimanter oluşumlardır.

b. Çıkabilecek Sorun

Bu tür formasyonların delinmesi sırasında çıkan en önemli sorun, kil kökenli formasyonların sondaj sıvısı ile temas ettiklerinde şişmeleri, suya doymun hale geldiklerinde ise dağılmaları ve akıcı hale geçmeleridir. Ayrıca, matkap kafa yapma (kili matkap üzerine sarılması) problemi de bu tür formasyonlarda sık görülen sorunlardandır. Bütün killer delinirken sorun oluşturmamaktadır (özellikle montmorillonit grubu ve dağılan-ayrışan killer sondaj sırasında sorun yaratmaktadır).

Bazı kil türleri delinirken sondaj sıvısı ile temas ettikleri anda şişer veya ayrışır. Şişme nedeniyle kuyu daralması sonucunda takım sıkışmaları gözlenir. Şekil 4'te kil formasyonlar delinirken çıkan sorunlar görülmektedir.



Şekil 4. Kıl formasyonların delinmesi sırasında çıkan sondaj problemleri (Özdemir,2007) (a) Killerin dağılması sonucunda kuyu duvarında yıkılma, (b) Suya doygun killerin akıcı hale geçmesi ve takım üzerine yapışması, (c) Suya doygun killerin şişmesi nedeniyle kuyu daralması

b. Sondaj Tekniği

1. Bu tür formasyonların delinmesi için, döner-düz çamur dolaşimli sondaj yöntemi tercih edilmelidir.
2. Döner-çamurlu sondaj yöntemi ile killeri delinirken seyrek, çelik dişli (IADC kodu 1 ile başlayan) veya kanatlı matkaplar (Şekil 2c) kullanılmalıdır. Özellikle, kalın kıl tabakalarının (50-450 m) delindiği kuyularda kanatlı matkap ve kuyu kimyasalı ile sondaj yapılması ilerleme hızının artmasını ve kuyu hareketsizliğinin maksimum düzeyde olmasını sağlamaktadır.
3. İlerleme sırasında takıma baskı (ağırlık) verilmemeli veya çok düşük oranlarda verilmelidir (~450-1000 kg/inç genellikle takım ağırlığı yeterli olmaktadır). Takıma orta veya yüksek oranda ağırlık verilmesi durumunda matkabın dişleri formasyona gömülür, matkap ömrünü kısa sürede tamamlamakta, takım sıkışmaları ve kuyu sapmaları gözlenmektedir.
4. Bu tür formasyonların delinmesine önce küçük çaplı matkapla başlanmalı ardından kuyu genişletilmelidir. Delme işlemine küçük çaplı matkapla başlanması formasyon özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Ayrıca, ilerleme sırasında geniş çaplı matkap kullanımı nedeniyle oluşan takım sıkışmaları da engellenir.
5. Bu tür formasyonların delinmesi sırasında, ilerlemenin hızlı olması sebebiyle, alıştırma yapılmamakta dolayısıyla takım çıkışı yapılırken yük alma ve takım sıkışmaları gözlenmektedir. Kılın takımı sıkıştırmasını önlemek için birkaç metre ilerlemeden sonra 5-10 dakika alıştırma yapılmalı (takımın yukarı-aşağı hareket ettirilmesi ve serbest dolaşım yapılması) böylece matkabın takımı sıkıştıran seviyeleri yemesi sağlanmalıdır. Bu işlem, sondaj güvenliği açısından oldukça önemlidir.

6. Kil kökenli formasyonlarda dikkat edilmesi gereken diğer bir durum, takımın ilerleme ve alıştırma işlemleri haricinde kuyu içerisinde bırakılmaması yani ilerlemeye ara verilen durumlarda (mesai-vardiya bitimi vb. gibi) takım varsa muhafaza borulu kısma kadar çekilmeli, boru inilmemiş ise takım komple çekilmelidir. Takımın geniş çaplı seviyeye kadar çekilip kuyu içerisinde bırakılması durumda bile takımın sıkışması gözlenmektedir.

7. İlerleme tamamen şişme özelliği olan kil tabakalarında yapılıyor ise, yıkılma-göçme yapabilecek kum, çakıl, silt gibi birimler geçilmediyse takım çekilmeden önce kuyuya temiz su verilerek en az 12 saat şişmesi beklenmeli, daha sonra şişen seviyeler tarama yapılarak tekrar ilerlemeye başlanmalıdır. İlerleme bittikten sonra kontrol takımı kuyuya indirilerek şişen seviyeler olup olmadığına bakılmalıdır. Sorun yok ise yani takım kuyu tabanına kadar rahat bir şekilde inmiş ise borulama işlemine geçilmelidir.

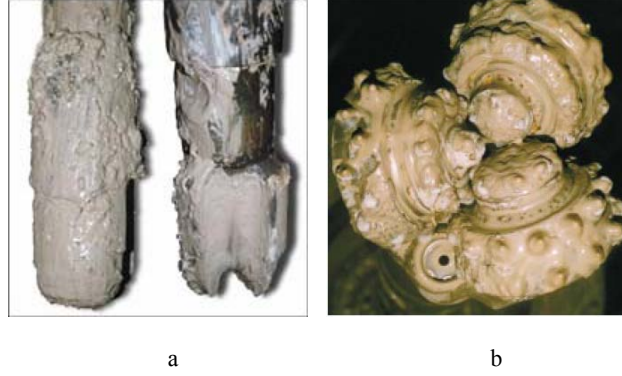
8. Yıkılma ve göçme yapabilecek yani kum, çakıl ve siltli ara seviyelerin olmadığı homojen yapıdaki çok kalın kil, kiltası tabakalarının delinmesinde makina ve donanım şartları imkan veriyor ise kuyu dibi çekici ile hava+köpük dolaşımli sondaj yapılabilir. Fakat, bu yöntemle killi formasyonlar delinirken çekiç matkabının hava çıkış deliklerinin tıkanıp, dolgu oluştuğu, dolgunun kuyu dışına atılmadığı ve takım sıkışmalarının olduğu da bilinmektedir.

c. Sondaj Hidroliği

1. Kuyu derinliğine uygun olacak biçimde iki adet çamur havuzu hazırlanmalı, çamur kanalları uzun ve dönemeçli olmalı ayrıca dönme noktalarına küçük (sığ) çökeltme havuzcukları inşa edilmelidir. Kuyudan gelen kırıntılar kanal ve sığ çökeltme havuzcuklarından sürekli olarak temizlenmelidir.

2. Killerin delme işlemi sırasında, sondaj sıvısı içerisindeki suyu bünyesine almasını engellemek için çamurun su kaybının azaltılması yani çamur içerisindeki serbest suyun bağlanması gerekir. Bu durumu sağlamak için sondaj çamuruna polimer katılabilir veya kuyuya mazot boşaltılarak, en az 6 saat beklenilir. Daha sonra çamur pompası yardımıyla çamur ile mazotun karışması sağlanarak ilerlemeye mazotlu sondaj çamuru (petrol türevli sondaj çamuru) ile devam edilmelidir.

3. Kil formasyonlar delinirken matkap her an kafa yapma (kilin matkap üzerine sarılması) riski taşır. Bu durumda, çamurun yoğunluğu ve viskozitesi artırılmalı, su ilavesi yapılmamalıdır (yapışkan ve şişen killerde, matkabın kafa yapmasını ve takımın yük almasını önlemek için killerin metaller üzerine yapışması ve şişmesini önleyen ıslatıcı kimyasallar ve polimer sondaj çamuruna katılmalıdır). Tarafımızdan yapılan sondaj çalışmalarında 3 kanatlı matkap (Şekil 2c) kullanarak ve polimer katılmış çamur ile yapışkan-şişen killer oldukça hızlı ve kafa yapma sorunu olmaksızın delinmiştir. Şekil 5'te kafa yapmış olan bir PDC ve bir üç konili matkap görülmektedir.



Şekil 5. Kil bir formasyonun delinmesi sırasında kafa yapmış olan bir PDC matkap (a) ve üç konili matkap (b) görüntüsü (Özdemir,2007)

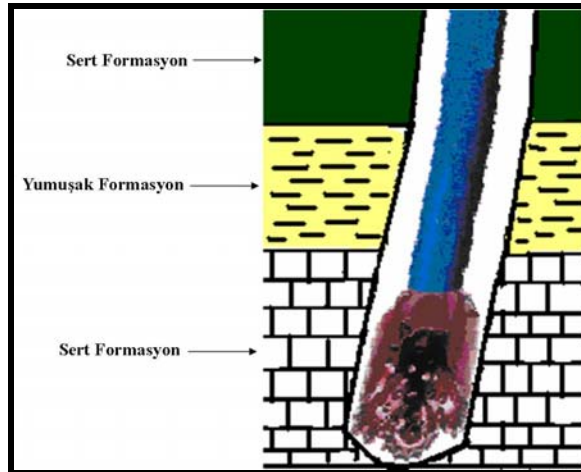
1.2.4. Sert ve yumuşak ardalanmalı formasyonlar

a. Jeolojik Tanım

Sert ve yumuşak formasyonların ardışıklı olarak sıralandığı oluşumlardır.

b. Çıkabilecek Sorun

Bu tür formasyonların delinmesi sırasında görülen en önemli sorun, kuyuların düşeyden sapmasıdır. Düşeyden sapma nedeniyle takım sıkışmaları, çamur kaçakları, dolgu oluşması ve delme hızında azalmalar görülmektedir. Şekil 6'da ardışıklı formasyonlarda kuyunun düşeyden sapma durumu verilmiştir.



Şekil 6. Ardışıklı formasyonlarda kuyunun sapması (Özdemir,2007)

c. Sondaj Tekniği

1. Bu tür ardalannmaların olduğu sahalarn delinmesi esnasında takımda mutlaka saptırmaz kullanılmalıdır.
2. Sert formasyondan sonra yumuşak formasyona girildiğinde, takıma baskı verilmeden ilerlenmeli, sert formasyona tekrar girildiğinde baskı artırılmalıdır.
3. Çamur kaçağı gözlenen durumlarda delme işlemine su ile devam edilmeye alışılmamalı, kaçağın önlenmesi için tedbir alınmalıdır. Kaağın nlenmesi için, çamura dolaşım sağlama maddesi katılmalıdır.
4. İki sert formasyon arasında yumuşak veya mağaralı (akıcı, gevşek çimentolu, tutturulmamış malzeme içeren) bir formasyon bulunuyor ise bu kısım delinirken çamur kaçakları olacaktır. Kaçak nedeniyle çamurun sıva yapma özelliği zayıflayacak, kuyudaki malzemenin kuyu dışına atılamaması nedeniyle kuyuda dolgu oluşacaktır. Böyle bir formasyonun delinmesi sırasında şu işlemler sırasıyla yapılabilir;
 - Yıkılma/göçme suretiyle dolgu oluşturabilecek ve çamur kaçağı olasılığı olan bu tip formasyonda bir miktar ilerlenir
 - Delinen bölümde yıkılma ve dolgu olup olmadığının tespiti için takım güvenli bölgeye kadar çekilir
 - Yıkılma yapan ve kuyuda dolgu oluşturan malzemeyi kuyu dışına atmak için çamurun özellikleri iyileştirilir (bentonit ve polimer eklemek suretiyle) ve dolgu tamamen kuyu dışarisına atılana kadar dolaşım devam ettirilir
 - Kontrol için takım sert birime kadar çekilerek bir müddet beklenir. Takım tekrar kuyu tabanına kadar indirilerek dolgunun tamamen temizlenip temizlenmediğine bakılır
 - Dolgu tamamen kuyu dışına atılana kadar bu işlem tekrarlanır ve dolgu kuyu dışına tamamen atıldıktan sonra ilerlemeye devam edilir.
 - Kuyu boşluğunun tekrar tepkisiz hale gelmesi ve çamur kaçağının önlenmesi için sıvama yeteneği yüksek olan sondaj çamuru ile kuyu duvarında etkili bir sıva oluşturmak gerekir. Ayrıca amur özellikleri sürekli olarak kontrol edilmelidir.çamur kaçağı ve yıkıntı gözlenmiyor ise kuyu, döner sondaj yöntemi ile tamamlanmalıdır. şayet çamur kaçağı devam ediyor ve formasyon jeotermal akışkan bulundurmuyorsa, bu kısım çimentolanmalı veya bu kısma kadar muhafaza borusu indirilmelidir. Makina şartları ve formasyon koşulları uygun ise, bu işlem ve/veya işlemlerden sonra kuyudibi çekici kullanılarak ilerlemeye devam edilmelidir.

1.2.5. Mağaralı ve çatlaklı formasyonlar

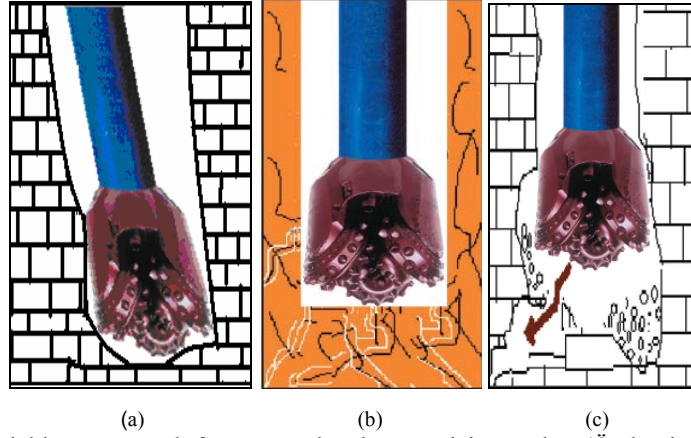
a. Jeolojik Tanım

Mağaralı formasyonlar, bünyesinde oluşumu sırasında veya sonradan oluşan mağara veya boşluklar bulunan jeolojik birimlerdir.

atlaklı formasyonlar, yapısal veya tektonik etkiler ile oluşumu sırasında çatlak veya kırıklar meydana gelmiş olan formasyonlardır.

b. Çıkabilecek Sorun

Bu tür formasyonlarda görülen en önemli sorunlar kuyunun düşeyden sapması, döner-çamurlu sondaj yönteminde çamur kaçakları nedeniyle dolaşımın sağlanamaması ve kuyu dibi ile çekici ile delgi sırasında oluşan takım sıkışmalarıdır. Şekil 7’de çatlaklı ve mağaralı formasyonlarda çıkan sondaj sorunları görülmektedir.



Şekil 7. Çatlaklı ve mağaralı formasyonda çıkan sondaj sorunları (Özdemir,2007)
(a) Kuyunun düşeyden sapması, (b) Çamurun çatlaklara kaçması, (c) Çamurun mağara ve boşluklara kaçması

c. Sondaj Tekniği

Fazla parçalanmış, çatlaklı ve mağaralı formasyonlarda, havalı sondaj ile çalışılarak çoğu zaman yüksek delme hızları sağlanmaktadır. Bu yöntemle çatlaklı, masif ve sert formasyonlarda 70-150 m günlük ilerleme yapılabilir.

Çatlaklı ve mağaralı formasyonlarda havalı sondaj yapılırken, tabanca matkabının kuyu duvarı veya tabanına vurması ile birlikte formasyondan iri parçalar kopar ve takım üzerine düşer veya mağaralardaki çakıllar takım üzerine yığılır. Bu durum, kuyu dibi tabancası ile çalışmayı zorlaştırır. Köpük ve hava kuyu tabanına iletilmediği için takımda sıkışmalar gözlenmektedir (kuyudaki dolgunun veya kopan parçaların kuyu dışına atılmasına hava hattından köpük ile birlikte polimer katılması yardımcı olabilir). Bu tür bir sorunun çözülmesi için delme işlemi ile eşzamanlı olarak muhafaza borusunun sürülebildiği sondaj makinalarının kullanılması ideal olup, böyle bir donanımın olmaması halinde çakıl akan ve parçalı seviyelerin akışkan içerip içermemesine bağlı olarak kalıcı veya geçici borulama yapılarak ilerleme temin edilebilir. Bu seviyelerde jeotermal akışkan olmadığı tespit edilmesi durumunda çimentolama yapılarak daha küçük çaplı matkap ile delme işlemi tamamlanabilir.

Döner sondaj yöntemi ile parçalanmış ve çatlaklı sert formasyonların delinmesi sırasında, çatlaklı formasyon parçalarının kuyu içerisine düşmesi ve çamur kaçaklarının olması nedeniyle kuyuda dolgu oluşumu gözlenir ve ilerlemenin çok zor yapılması söz konusudur.

Mağaralı veya çatlaklı formasyona girildiğinde bu durum sondör tarafından fark edilmeli ve ani takım düşüşünün olduğu seviyeler belirlenmelidir. Takım yukarı ve aşağı hareket ettirilmek suretiyle mağara veya boşluğun hacmi belirlenmelidir. Her bir iki metre ilerlemeden sonra takım güvenli seviyeye kadar çekilerek takım sıkışması önlenmelidir. Böyle bir durumda, sondaj çamurunun özellikleri iyileştirilmeli (özellikle siva yapma yeteneği, çamura polimer katılarak artırılabilir) ve kaçak önleyici maddeler çamura katılarak dolaşım sağlanmalı ve ilerlemeye bu şekilde devam edilmelidir. Formasyonun jeotermal akışkan bulundurma ihtimali yoksa kuyu hareketsizliğini sağlamak için bu kısmın çimentolanması da düşünülebilir.

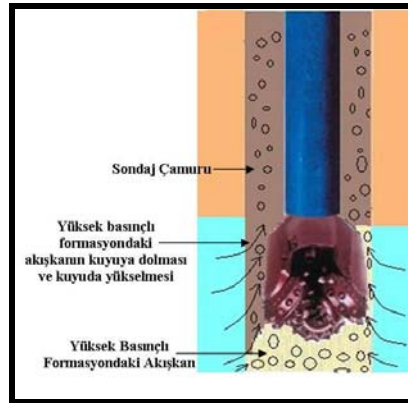
1.2.6. Yüksek basınçlı formasyonlar

a. Tanım

Bulunduğu derinliğe göre gözenek basıncı, o sahaya göre normalin üstünde olan formasyonlara yüksek basınçlı formasyon denilmektedir.

b. Çıkabilecek Sorun

Jeotermal sondaj çalışması sırasında, kuyuda geçilen formasyonlardan basınçlı akışkanın kontrolsüz bir şekilde harekete geçmesi ve sondaj kuyusuna dolması-kuyuda yükselmesi sonucunda sondaj kulesine, çalışanlara ve çevreye zarar verecek şekilde fişkırmadır (blowout) (Şekil 8).

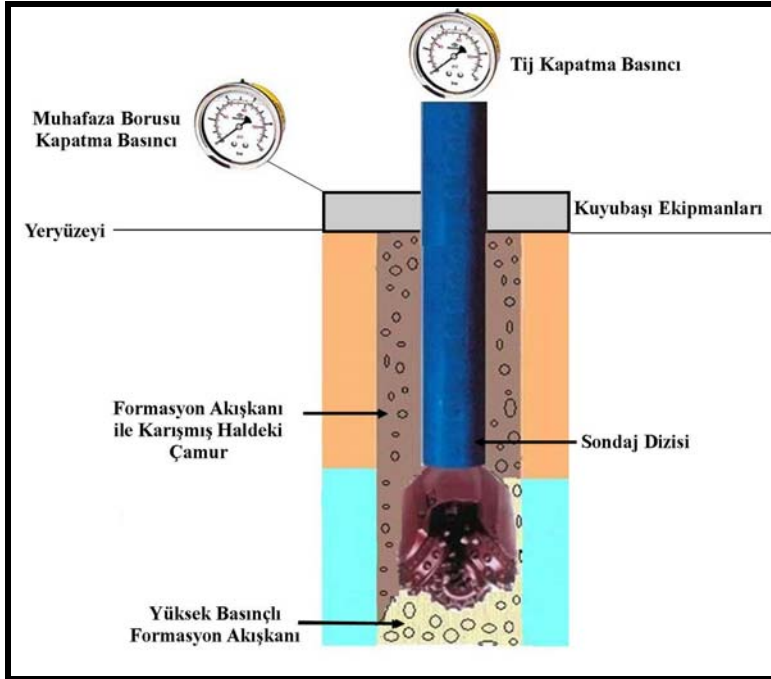


Şekil 8. Yüksek basınçlı formasyondaki akışkanın kuyuya dolması ve kuyuda yükselmesi

c. Sondaj Tekniği

Sondaj kuyusunda geliş olduğu belirlendikten sonra emniyet vanaları; tijler etrafında kapatılmalıdır (şekil 9). Daha sonra sabitlenmiş muhafaza borusu kapatma basıncı ve sabitlenmiş tij kapatma basıncı kaydedilmelidir. Kuyunun emniyet vanaları ile kapatılmasının ilk amacı kuyu içerisine daha fazla formasyon akışkanının dolmasını önlemek ve tij kapatma basıncını ile muhafaza borusu kapatma basıncını kullanarak formasyon basıncının hesaplanmasını sağlamaktır. Formasyon basıncı hesaplandıktan sonra, bulunan formasyon basıncını yenerek kuyuda dengeyi sağlayabilecek yeni sondaj çamurunun yoğunluğu hesaplanmalıdır. Daha sonra kuyu içerisindeki orijinal çamur, yeni çamurla değiştirilerek kuyu öldürülmelidir. Kuyu ldürölüp kuyuda denge sağlandıktan sonra normal sondaj çalışmasına devam edilirken, formasyon basıncıyla çamurun hidrostatik basıncı arasında emniyet payı olacak şekilde çamur yoğunluğu artırılmalıdır.

Yüksek basıncılı formasyonların bulunduğu bilinen veya tahmin edilen jeotermal sahalarda, sondajcılık açısından en önemli işlem sondaj çamurunun kontrolüdür. Sürrekli olarak, rutin çamur testleri (kek kalınlığı, yoğunluk vb.) yapılmalıdır. Sondaj amuru özelliğindeki değişimler sürrekli olarak kontrol edilmeli ve jeolojik koşullara uygun olarak çamur özellikleri iyileştirilmelidir.



şekil 9. Kapatılmış bir sondaj kuyusunun şematik görünümü

2. KAYNAKLAR

- IWCF, 2005; Well Control Manual.
- Özdemir, A., 2007. Sondaj Tekniğine Giriş.
- Özdemir, A., 2007. Jeotermal Sondaj Tekniğinin Esasları. Sondaj Dünyası. Sayı:4, s. 27-30
- Özdemir, A., 2007. Jeotermal Sondajlarda Formasyon Özelliklerine Uygun Matkap Seçimi İçin Yeni Bir Yaklaşım. Çukurova 30. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Bildiri Özleri Kitabı, s. 89
- Özdemir, A., 2007. Jeotermal Enerji Sondajları. Enerji Petrol & Gaz, Sayı: 338, Teknik Ek, 2 s.
- Özdemir, A., 2006. Su ve Jeotermal Sondaj Çalışmalarında Formasyon Kaynaklı Bazı İlerleme Güçlükleri ve Çözümlerine Yönelik Yaklaşımlar. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı. s. 429
- Özdemir, A., 2006. Ülkemiz Jeotermal Sondaj Sektörünün Yapısı, Eğitim Durumu ve Uygulamalar Üzerine Bazı Değerlendirmeler. Jeoloji Mühendisleri Odası Jeotermal Enerji ve Yasal Düzenlemeler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 1-4
- Özdemir, A., 2006. Jeotermal Kuyularda Havalı Sondaj Tekniğinin Kullanımı. Jeoloji Mühendisleri Odası Jeotermal Enerji ve Yasal Düzenlemeler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 5-16

BATI ANADOLU'DA KABUK ELEKTRİKSEL YAPISI İLE JEOTERMAL SİSTEMLER ARASINDAKİ İLİŞKİ

THE RELATIONSHIP BETWEEN CRUSTAL CONDUCTIVITY STRUCTURE AND GEOTHERMAL SYSTEM IN WESTERN ANATOLIA

ÇAĞLAR, İ.

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Jeofizik Mühendisliği Böl., 34469 Maslak, İstanbul
caglari@itu.edu.tr

ÖZET

Tektonik olarak aktif bölgelerdeki kabuk içerisinde göreceli yüksek iletken zonların bulunduğu alanlarda jeotermal potansiyelin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Jeotermal sistemlerin jeoelektriksel olarak karakteristik yerler olduğunu vurgulamak ve göstermek için bazı jeotermal alanlarda jeofizik araştırma ile elde edilmiş elektriksel yapıların yorumlanması üzerine çeşitli örnekler bu çalışmada verilmiştir. Gerçekte, bu alanlarda kayaçların toplam özdirençleri hidrotermal akışkanların dolaşımından dolayı daha düşük değerlere doğru azalır. Diğer yandan, jeotermal aktiviteden dolayı kabuksal yüksek iletkenliğin ve yüksek ısı akısının birlikte ortaya çıktığı alanlar Batı Anadolu'da oldukça çoktur. Bu çalışmada ikinci olarak, Batı Anadolu'da ölçülen toplam altı manyetotellürik profilin yer aldığı alanların ısı akısı rejimi ile kabuk elektriksel iletkenliği arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bunun için Kuzeybatı Anadolu'da (Sakarya bölgesi), Ege ve Güneybatı Anadolu'da manyetotellürik çalışmalar ile elde edilen elektrik yapıların yorumlanmasından yararlanılarak iletken zonlar belirlenmiştir. Yukarıda sözü edilen ilişkiyi araştırmak için bu zonlar gözönüne alınmıştır. Bu bölgelerdeki jeotermal sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal analiz sonuçları kullanılarak SiO₂ jeotermometre hesaplamaları ilk olarak yapılmıştır. Elde edilen verilerden türetilen kabuksal ısı akısı dağılımları yüksek iletken zonları karakterize eden derinlik bilgileri ile daha sonra ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkiyi tanımlayan matematiksel bağıntı kullanılarak ilgilenilen alanlarda yerici sıcaklıkları hesaplanmış ve derinlik-sıcaklık grafikleri elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre diğer bölgelere karşın Kuzey Ege'deki yer içi sıcaklığı anlamlı olarak daha yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, elektrik yapı, jeotermometre, ısı akısı

ABSTRACT

It is known that the geothermal potential is higher in the sites where the relatively high conductive zones occurred within tectonically active regions. Several examples on the interpretation of electrical structures found at some geothermal sites using geophysical exploration are firstly presented in this study to stress and to show that the geothermal systems are always seem as the geoelectrically characteristic place. In fact, the bulk resistivity of the rocks in these areas is decrease to the lower values due to circulations of the hydrothermal fluids. On the other hand, the regions where high electrical conductivity and high heat flow due to geothermal activity coexisted are quite much in Western Anatolia. In this study secondly, the relationships between heat flow regimes and crustal conductivities at the regions where totally six magnetotelluric profiles measured in the Western Anatolia are reviewed. In the Northwestern Anatolia (Sakarya region), Aegean and Southwestern Anatolia the conductive zones were therefore determined from the interpretation of electrical structures obtained by magnetotelluric studies. These zones are considered to investigate relationship mentioned above. The SiO₂ geothermometer calculations are firstly made using hydrochemical analysis data in these geothermal regions. The heat flow distributions produced from obtained data then linked to the depth data characterized highly conductive zones. Earth's interior temperature are finally calculated for the interested regions using mathematical equation described this relation, and the depth-temperature graphics are plotted. The results obtained from interpretations reflect that northern Aegean has meaninfully high Earth's inner temperature then other regions

Key Words: Western Anatolia, elektrik yapı, geothermometer, heat flow

1. GİRİŞ

Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunan ve genç tektonik etkinlikler sonucu gelişen grabenler, yaygın volkanizma ve hidrotermal alterasyonlar nedeniyle, doğal buhar ve gaz çıkışlarıyla birlikte ve sıcaklıkları yer yer 102 °C'ye ulaşan 1000'in üzerindeki sıcak su kaynağının varlığı Türkiye'nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Jeotermal sahalarda alınan mineralli su örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarının jeofizik çalışmalar için önemli bulgular ortaya koyduğu bilinmektedir. Özellikle su kimyasından elde edilmiş olan tuzluluk değerlerinden yararlanarak yapılan jeotermik hesaplamalardan rezervuar sıcaklığı tahmini yapılmaktadır. Bu bulgu ise sahanın özellikle elektrik özdirenç verisi ile kıyaslanabilmekte ve daha da ileri gidilerek mineralli suyun elektrik iletkenlik değeri ile kullanıldığında ise (Archie, 1942) hidrotermal akışkanın dolaştığı ortam için porozite (gözeneklilik) hesabı sağlanabilmektedir (Çağlar ve Demirörer, 1999). Jeotermal sahalarda yeriçindeki sıcaklık, mineralli sıcak su varlığı ve hidrotermal alterasyonlar (örneğin piritleşme, kaolinleşme ve grayzenleşme gibi) özellikle kayaç elektrik özdirencini yan kayaçlara kıyasla önemli şekilde düşürmektedir. Bu nedenle jeotermal sahaların araştırılmasında manyetotellürik ve elektrik özdirenç çalışmalarının ön planda tutulduğu izlenmektedir (Lugao ve diğ., 2002; Volpi vd., 2003; Çağlar ve İşseven, 2004; Ushijima vd., 2005; Oskooi vd., 2005; Los Banos ve Maneja, 2005).

Batı Anadolu'daki yüksek sismik etkinliğin jeotermal alanlar, aktif tektonik zonlar ve diri fay dağılımları ile belirgin bir uyum gösterdiği izlenir (Şekil 1). Bu çalışmada, batı Anadolu'daki termal ve mineralli suların kimyasal analiz içerikleri kullanılarak jeotermometrelerle sıcaklık hesaplamaları ve buna bağlı olarak ısı akısı hesabı yaklaşımı yapılmış ve elde edilen bulgular bölgenin derin elektrik yapı özelliği ile ilişkilendirilmiştir.

2. BÖLGESEL YAPI VE JEOTERMAL REJİM

Batı Anadolu'nun genel jeolojik, jeofizik ve jeotermal bakımdan birlikte ortaya çıkan özelliklerine bakıldığında ortak kesişme noktalarının bulunduğu anlaşılır.

2.1. Genel Jeolojik Yapı

Miyosen öncesinde doğu-batı doğrultulu bir sıkışma basıncı etkisi altında kalan Batı Anadolu'da oluşmuş kuzey-güney doğrultulu birçok kırık ve çökeltme zonlarında jeolojik evreler boyunca jeotermal etkinliklerin ortaya çıktığı bilinir.

Batı Anadolu'da yaklaşık olarak doğu-batı uzanımlarıyla yaygın bulunan grabenler ve bunların çöküntü alanları özellikle jeotermal etkinlikleri ile dikkat çeker. Gediz ve Büyük Menderes gibi başlıca çöküntü alanları geniş bir alanı kaplar. Gediz Grabeni, güneybatıya doğru Salihli ve Alaşehir gibi jeotermal alanlarla karakterize edilmiştir. Büyük Menderes grabeni ise yaygın jeotermal alanların bulunduğu bölgesel tektonik bir yapı olarak ortaya çıkar. Grabenin doğu ucunda gelişmiş Denizli Havzası ise yine jeotermal bakımından önemli etkinliğin gözlemlendiği kesimdir. Bu başlıca yapıların dışında Soma, Ödemiş, Bigadiç, Demirci, Emet, Uşak, Tavşanlı, Kütahya ve İzmir havzaları da önemli jeotermal alanlardır.

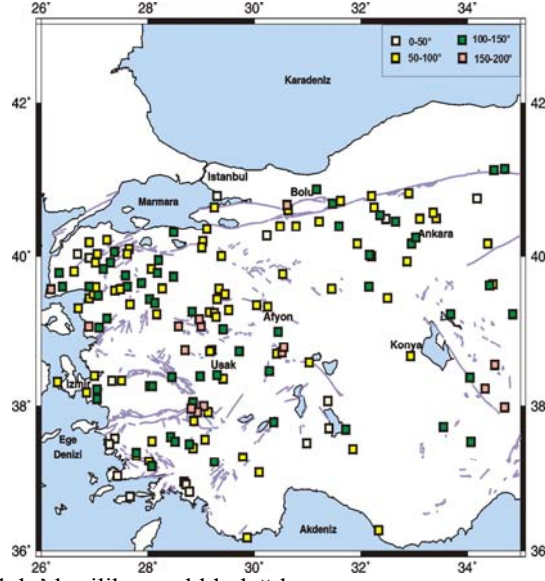
2.2. Jeotermal Rejim

Yüksek sıcaklıklı hidrotermal akışkanlar içeren sahalar genelde genç ve aktif tektonik sonucu oluşan grabenler civarında yer almaktadır (Şekil 1; Yolsal vd., 2005). Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar ise volkanizmanın ve fay oluşumlarının etkisi ile Orta ve Doğu Anadolu'da ve Kuzey Anadolu Fay kuşağı boyunca kuzeyde bulunmaktadır. Jeotermal kaynakların incelenmesine göre Marmara bölgesindeki ısı akısı yoğunluğu genelde ortalama 60 mW/m^2 civarında olup noktadan noktaya $\pm 50 \text{ mW/m}^2$ oranında değişim göstermektedir. Marmara bölgesinin güneyi ise 100 mW/m^2 değerine kadar ulaşan ve diğer kesimlere (örneğin kuzey Marmara ve Trakya) göre daha yüksek bir ısı akısı yoğunluğunu özelliğini yansıtır (Pfister vd., 1998).

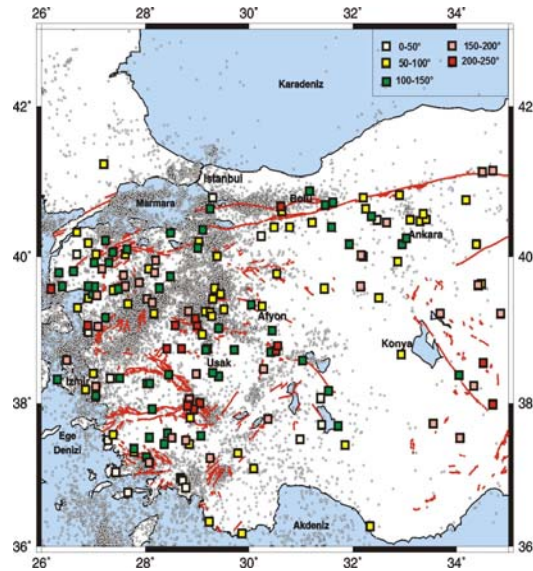
2.3. Silika Sıcaklığı ve Isı Akısı Dağılımı

Jeotermal kaynaklarla termal ve mineralli suların özelliklerinin araştırılmasını etkin kılmak için jeotermometreler kullanılır. Jeotermometrelerdeki temel mantık yeraltı suyu içinde sıcaklıkla çözünürlüğü artan ve çözünen minerallerden yararlanarak

aktif tektonik ile uyumlu bir karakterin varlığı izlenir. Ortalama ısı akısı değerinin 100–150 mW/m² olduğu, en yüksek ısı akısı değerinin Denizli-Kızıldere’de 318 mW/m² ve en düşük ısı akısı değerinin Isparta civarında



Şekil 2. Batı Anadolu’da silika sıcaklık dağılımı.



Şekil 3. Silika sıcaklıklarından hesaplanan Batı Anadolu’daki ısı akısı ile sismik etkinlik ve faylar

Sütçülerde 12 mW/m^2 olduğu anlaşılmaktadır. Isı akısının en yüksek bölgeler Afyon-Ömer, Aksaray-Acıgöl, Çanakkale-Tuzla, Denizli-Sarayköy, Denizli-Kızıldere, İzmir-Agamemnun, İzmir-Dikili, Kütahya Simav, Manisa-Salihli, Niğde-Çiftehane ve Sakarya-Akyazı alanlarıdır. Şekil 3’de ise fayları sismik etkinlik ve ısı akısı dağılımı birlikte verilmiştir. Sıcak alanlar fayların ve sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde birlikte ortaya çıkmaktadır. Bu ilişkinin en iyi gözlemlendiği alanlar Kuzey Anadolu Fayı (KAF)’nın ikiye ayrıldığı Gevye- Taraklı, KAF üzerinde Çorum-Kargı, sismik olarak etkin olmayan fakat bir çok kırığın bulunduğu Niğde-Çiftehane, Çanakkale-Tuzla, Menderes ve Gediz grabenleri, Denizli-Pamukkale-Kızıldere ve yine sismik aktivitenin yoğun olduğu Kütahya-Simav sahalarıdır.

3. KABUK ELEKTRİKSEL YAPISI VE JEOTERMAL SİSTEMLERLE İLİŞKİSİ

Yer kabuğunu oluşturan kayaların elektrik özellikleri onların türleri ile petrofizik parametrelerine (boşluk, su dolaşımı, sıcaklık, çatlaklık ve kırıklık) sıkı sıkıya bağlıdır. Bu özellik kabuk ve jeotermal araştırmalarında elektrik-elektromanyetik yöntemlerin yaygın kullanılmasının nedeni olmaktadır. Kuzeybatı Anadolu’da ölçülen bir manyetotellürik profil verilerinin empedanslarının kullanılarak gerçekleştirildiği Mohr çemberler analizi bu bölgede uzanan Sakarya, Bornova zonlarını ve grabenleri jeoelektrik olarak ayırt etmede önemli bulgular ortaya koymaktadır (Bayrak vd., 2000). Yine Batı ve Doğu Anadolu kabuk araştırmalarında manyetotellürik profiller çalışılmıştır (Çağlar, 2001; Türkoğlu vd., 2006).

3.1. Elektriksel Yapılar ve Yüksek İletkenlik

Batı Anadolu’da gerek jeotermal araştırmalar ve gerekse kabuk çalışmaları çerçevesinde alınmış manyetotellürik ölçümlerin değerlendirmelerinden yer elektrik yapıları elde edilmiştir. Toros kuşağının genel doğu-batı gidişindeki değişimle oluşan, yaklaşık ters “V” biçimli kesimi “Isparta Büklümü” olarak tanımlanır. Isparta Büklümü bölgesinde sismik hız sönümlenmesindeki keskin bir azalma kabuk kalınlığında da azalmayı işaret ediyor olabilir (Sandvol vd., 2003). Isparta Büklümü’nde gelişen volkanizmanın yeni tektonik dönem içerisinde grabenlere bağlı olan levha içi volkanizma olarak tanımlandığı öne sürülür (Koçyiğit, 1983; 1984). Aynı görüşe göre volkanizmanın ada yayları ortamında değil fakat kıtasal ortamda derinde oluşan kısmi ergimeden kaynaklandığı belirtilmiştir. Nitekim Isparta Gölcük volkaniklerinin petrolojik araştırma sonuçları yerin sığ kesimlerine kadar ulaşarak geçmişteki püsküren mağma kapanımının varlığını işaret eder (Kumral vd., 2006).

Yer elektrik yapısını ortaya koymak amacıyla Isparta Büklümü’nü kesen ve Afyon ile Antalya arasında uzanan AG ile isimlendirilen profilde manyetotellürik ölçümler yapılmıştır. “Transverse Electric” (TE) ve “Transverse Magnetic” (TM) verileri ayrı ayrı ve birlikte olarak ters çözümlemede kullanılarak herbir durum için elektrik 2-Boyutlu modeller elde edilmiştir (Şekil 4). Ters çözümünden hesaplanan 2-boyutlu elektrik yapı, Afyon civarındaki Sandıklı grabeni altında büyük olasılıkla jeotermal

aktiviteden ileri gelen iletken (<50 Ohm-m) bir zonu (*ZON-1*) işaret etmektedir. Diğer bir iletken zon (*ZON-2* yaklaşık 5-10 ohm-m) ise sismik olarak aktif olan Dinar Grabeni altında ortaya çıkmıştır. Özdirençin keskin olarak birdenbire çok düşük değerlere azalması büyük olasılıkla her iki zonun da (*ZON-1* ve *ZON-2*) yüksek geçirimli ve bundan dolayı da yeraltındaki jeotermal akışkanlarla doymuş olabileceğini işaret etmektedir. Araştırma bölgesinde özellikle Afyon civarında önemli jeotermal alanlar bulunmaktadır. Bölgede çok sayıda graben sistemi de yer almaktadır.

Altere olmamış sağlam kayalar binlerce ohm-m değerinde yüksek özdirenç değerleri ile karakterize edilirken kırık ve çatlaklı özellik gösteren ve buna bağlı olarak gelişen porozite nedeniyle yeraltındaki mineralli ve özellikle sıcak akışkanları barındıran ve onlara geçit veren kayalarda elektrik özdirenç ise çok düşük değerlere azalmaktadır. Yaklaşık olarak 5-13 km derinlikler arasında (AG2-AG3 arasında) Sandıklı grabenindeki Hüdai jeotermal alanın (*ZON-1*) ve Dinar grabeni (AG6-AG8 arası: *ZON-2*) altında özdirenç çok düşük değerlerdedir. Fakat yaklaşık 7 km derinliğe kadar AG4-AG9 arasında özdirenç göreceli olarak daha yüksektir. AG5-AG10 arasında Dinar grabeni etkisi dışında gözlenen orta-yüksek değerdeki özdirenç ise üst Kambriyen yaşlı metamorfik temel ile ilişkilendirilebilir.

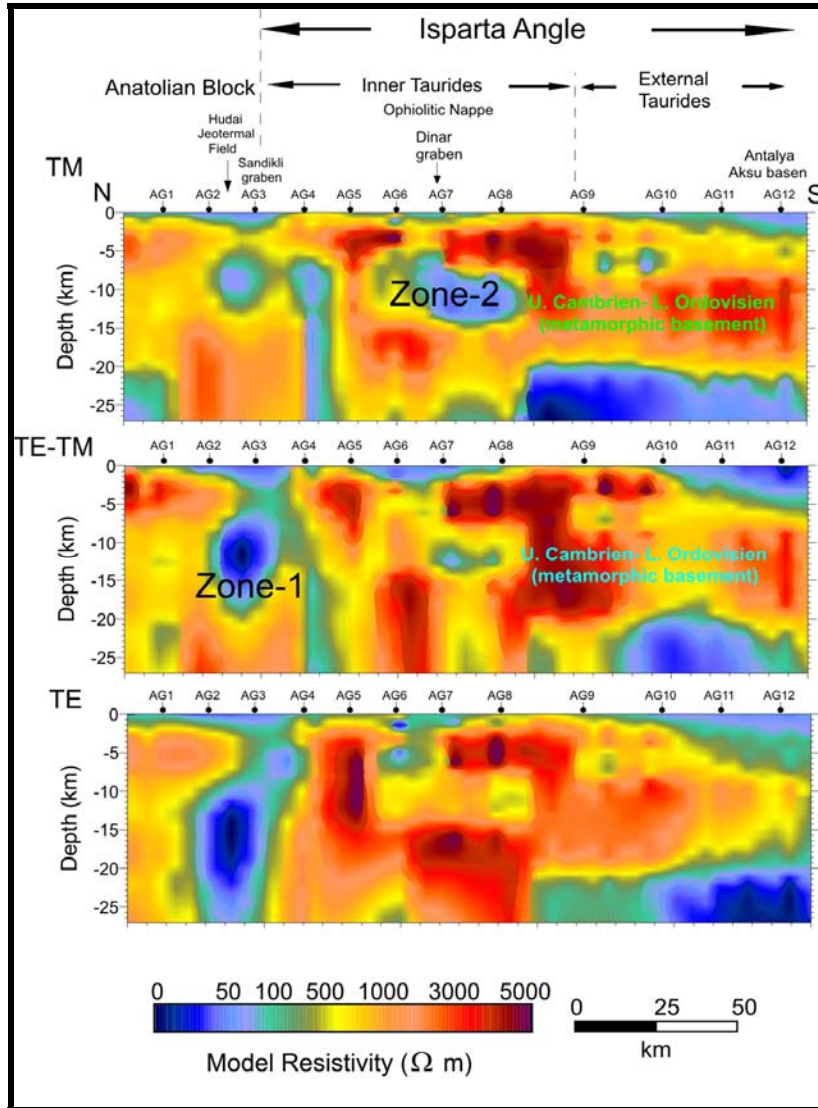
Isparta Büklümü batısındaki Güneybatı Torosları kesen bir manyetotellürük profildeki verilerin değerlendirilmesine bağlı olarak kabuk içinde iki karakteristik zon ortaya konulmuştur (Gürer vd., 2004). Profil için daha önceki yıllarda yapılan 1-Boyutlu ilk değerlendirmelerine göre ise iki iletken ince zonun Finike'den Acıpayam ve Tavas'a kadar uzandığı yorumu getirilmiştir (Şekil 5). Sığ iletken ince zon (1-10 Ohm-m) 10-20 km derinlikler arasında yer alırken ikinci iletken zon ise 35-40 km arasında uzanım göstermiştir. Bu ikincisi derindeki iletken zonun özdirenç üstteki gibi 1-10 Ohm-m aralığındadır.

3.2. Yüksek İletkenlik ve Kabuktaki Sıcaklık

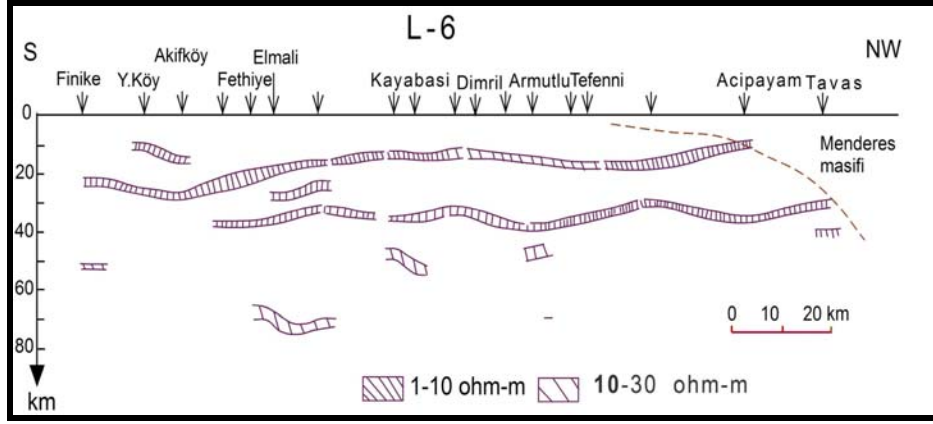
Kabuğun derin kesimlerindeki iletkenlik anlamlı şekilde yer içindeki sıcaklıktan etkilenerek var olmaktadır. Bu nedenle, yer içindeki sıcaklığın yüksek iletkenlik gösteren kabuksal zonlara olan derinlik bilgisi ile tahmin edilebilmesi olanaklı görülmektedir (Adam, 1978; 1980; Majorowicz vd., 1993). Batı Anadolu'da yüksek iletkenlik ve yüksek ısı akısı ile birlikte ortaya çıkan alanların ortaya konulup kabuk içindeki sıcaklığın belirlenmesi bu aşamada amaçlanmaktadır. Kabuk içerisinde ortaya konulan yüksek iletkenlik gösteren zonların derinlik bilgileri ve aynı alandaki ısı akısı değeri kullanılarak kabuk ile ilgili ısının hesaplanmasında bir yaklaşım getirilebilmektedir.

Önce iletken zonların belirlenmesi için elektrik yapı modellerinin incelenmesine geçilmesi gerekir. Trakya havzasındaki manyetotellürük çalışmalar ile elde edilen elektrik yapıda (İlkışık, 1981) çok iletken ince zonlar yaklaşık 10-15 km ve 30-35 km derinlikler için yorumlanmıştır. Yine Zonguldak civarındaki İsmetpaşa-Çakraz ve İhsaniye-Safranbolu arasındaki iki kısa profile belirlenen elektrik yapılar yaklaşık 20-

30 km derinlikler aralığında düzensiz uzanan ince yüksek iletken zonların varlığını işaret eder (İlkışık, 1990). Bilecik civarındaki Türkmenköy-Geyve arasında uzanan manyetotellürik profilinde elde edilen elektrik yapı ise 0.01-0.1 ohm-m gibi çok düşük öz direnç veren 15.8±6.2 ve 60.0±15.0 derinliklerde uzanan iletken zonların varlığını işaret etmiştir (Çağlar ve İşseven, 2004).



Şekil 4. Afyon-Antalya arasında uzanan AG profili boyunca alınan manyetotellürik ölçülerin ters çözümü ile hesaplanan 2-boyutlu yer elektrik yapısı ve yorumlanan iletken zonlar.



Şekil 5. Finike-Tavas arasındaki profil boyunca elde edilen basitleştirilmiş elektrik yapı kesidinde (İlkişik, 1987) ayırt edilen yüksek iletkenlik gösteren zonlar.

Kuzey Ege'de kabuk çalışmalarına yönelik olarak ölçümlerin yapıldığı Keşan-Salihli profilindeki 1-boyutlu elektrik yapıda çok iletken ($\sim 0.8-10$ ohm-m) ince bir orta katman 3000 Si değerindeki toplam iletkenlik ile karakterize edilmiştir. Yaklaşık 6.5-12 km derinliklerde uzanan bu katmanın altında ve üstünde dirençli kabuksal kayalar yer almaktadır. Biga yarımadasında bu zonun daha sığ kesimlerde bulunduğu yorumlanmıştır. Aynı profil için elde edilen elektrik yapı modelinde 0.1-0.3 ohm-m ve 0.1-1 ohm-m değerlerindeki çok düşük iletkenliğe sahip diğer iki zon ise daha derinlerde (en az 21.5 km) elde edilmiştir.

Isı akısı değerinin (Q) bilinen bir alan için aşağıda belirtilen bağıntı yazılabilir (Lewis vd., 1988).

$$Q = Q_0 + D \cdot A_0 \quad (2)$$

Burada Q_0 parametresi bir D derinliği altındaki A_0 birim hacim tarafından üretilen ısı akısını simgeler. Bu nedenle Q_0 parametresi indirgenmiş ısı akısı olarak adlandırılır. Herhangi bir d derinliğindeki $T(d)$ sıcaklığı ise aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (Lachenbruch, 1971).

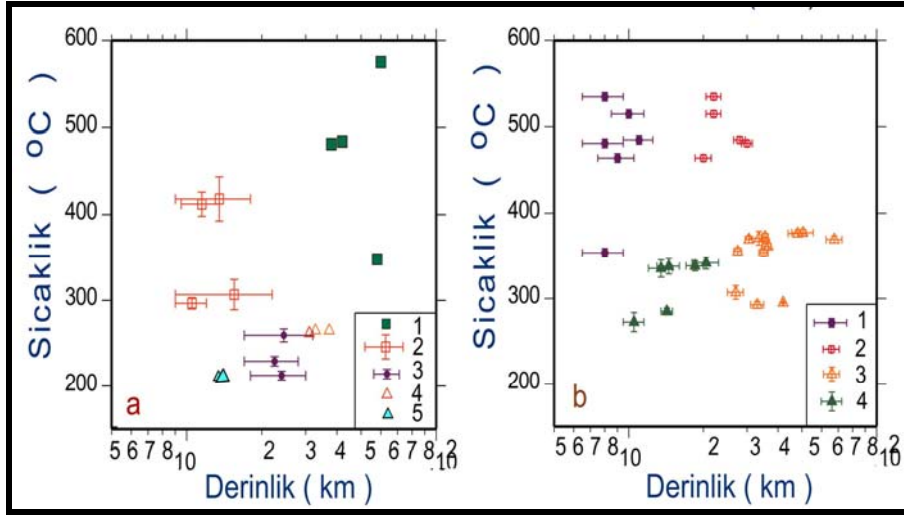
$$T(d) = Q_0 \cdot d / K + (1 - e^{-d/D}) \cdot D^2 A_0 / K \quad (3)$$

Burada Q_0 parametresi yukarıda belirtildiği gibi D kalınlığı için radyojenik etkiden kaynaklanan ısı akısını, K kayacın ısısal iletkenliği ve d ise ilgilenilen derinliği simgeler. Yukarıdaki (2) bağıntısından yazılan A_0 denkliği (3) de yerine konularak aşağıdaki matematiksel ilişki yeniden yazılabilir.

$$T(d) = Q_0 \cdot d / K + (1 - e^{-d/D})(Q - Q_0) \cdot D / K \quad (4)$$

Eğer Q_0 , K ve D parametreleri için uygun değerler kullanılırsa ilgilenilen bir d derinliğindeki $T(d)$ sıcaklığı (4) bağıntısı ile hesaplanabilir.

Batı Anadolu'daki elektrik yapılarında yukarıda irdelendiği gibi belirlenen çok iletken zonların d - derinlik bilgileri (4) bağıntısında kullanılarak kabuk için sıcaklık hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda üst ve alt kabuğu temsil eden $K=2.5$ W/mK değeri (Majorowicz vd., 1993) kullanılmıştır. Bağıntıdaki D için ise ortalama havza derinliği olan 8 km değeri alınmıştır. Ayrıca Q_0 parametresi olarak sığ derinliklerdeki iletken zonlar için 40 mWm^{-2} ve 15 km den daha büyük derinliklerdeki iletken zonlar için ise 60 mWm^{-2} değeri dikkate alınmıştır (Pollack ve Chapman, 1977).



Şekil 6. Kabuktaki yüksek iletken zonların derinliklerinin fonksiyonu olarak hesaplanmış yer içi sıcaklıkları. (a-Üstte): Trakya havzası ve Kuzeybatı Anadolu. Grafikteki semboller: (1) İsmetpaşa-Çakraz ve İhsaniye-Safranbolu profilleri; Üst kabuk için: (2) Türkmenköy-Geyve, (5) Trakya. Alt Kabuk için: (3) Türkmenköy-Geyve, (5) Trakya. (b-alta) Kuzeybatı Ege ve Güneybatı Anadolu. Alt kabuk için: (1) Keşan-Salihli profili, (4) Finike-Tavas profili; Alt kabuk için: (2) Keşan-Salihli profili, (3) Finike-Tavas profili.

Hesaplanan değerler sıcaklık-derinlik grafiği olarak iki bölge grubu için Şekil 6 da gösterilmiştir. Trakya bölgesinde sıcaklığın düşük ve Kuzeybatı Anadolu bölgesinde ise genellikle daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 6a). Kuzey Ege'de ise alt ve üst kabuk için hesaplanan sıcaklığın yüksek değerlerde olduğu izlenmektedir (Şekil 6b). Güneydoğu Ege bölgesinden daha yüksek olarak elde edilen bu bulgunun bölgenin aktif tektoniği ve jeotermal etkinliği ile bağdaştırılabilmektedir. Yapılan hesaplamaların ısısal rejimin dağılımı hakkında yüksek iletkenlikle ulaşılan uygun bir yaklaşım olduğu bu çalışmada öngörülen bulgulara ulaşıldığı gözlenmektedir.

4. KAYNAKLAR

- Adam, A. 1978. Geothermal effects in the formation of electrically conducting zones and temperature distribution in the earth. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 17, P21-P28.
- Adam, A. 1980. Relation of mantle conductivity to physical conditions in the asthenosphere. *Geophysical Surveys* 4, 43-55.
- Archie, G.E., 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *AIEM Trans.* 146, 54-62.
- Bayrak, M., İlkışık, O.M., Kaya, C., Başokur, A.T., 2000. Magnetotelluric data in western Turkey: Dimensionality analysis using Mohr circles. *Journ. of Geophysical Research* 105, 23,391- 23,401.
- Çağlar, İ., Demirörer, M., 1999. Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanol, Turkey. *Geothermics* 28, 803-816.
- Çağlar, İ., 2001. Electrical resistivity structure of the northwestern Anatolia and its tectonic implications for the Sakarya and Bornova zones. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 125, 95-110.
- Çağlar, İ., İşseven, T., 2004. Two-dimensional geoelectrical structure of the Göynük geothermal area, northwest Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 134, 183-197.
- Gürer, A., Bayrak, M., Gürer, O.F., 2004. Magnetotelluric images of the crust and mantle in the southwestern Taurides, Turkey. *Tectonophysics* 391, 109–120.
- İlkışık, O. M., 1981. Manyetotellürik yöntemle Trakya’da yer kabuğunun araştırılması. *İ.Ü. Yerbilimleri Dergisi* 2, 307-319.
- İlkışık, O. M., 1987. Batı Toroslar Manyetotellürik Ölçme ve Değerlendirme Projesi. TÜBİTAK Int. Report, 82 pp.
- İlkışık, O. M., 1990. Kuzey-kuzeybatı Anadolu’nun derin özdirenç yapısı. *Doğa Tr. J. of Eng. and Env. Sci.* 14, 598-617.
- Koçyiğit, A. 1983. Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) dolayının tektoniği, *TJK Bülteni* 26, 1-10.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim: *TJK Bült.* 27,1-15.
- Kolesar, T.P. and Degraff, V.J., 1978. A Comparison of the Silica and Na-K-Ca Geothermometers for Thermal Springs In Utah, *Geothermics* .6, 221-227.
- Kumral, M., Coban, H., Gedikoglu, A., Kilinc, A., 2006. Petrology and geochemistry of augite trachytes and porphyritic trachytes from the Gölcük volcanic region, Isparta, SW Turkey: A case study. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 707–716.
- Lachenbruch, A. H. 1971. Vertical gradients of heat production in the continental crust, 2. Theoretical detectability from near surface measurements. *J. Geophys. Res.* 76, 3842-3851.
- Lewis, T. J., Bentkowski, W. H., Davis, E. E., Hyndman, R. D., Souther, J. G. and Wright, J. A. 1988. Subduction of the Juan de Fuca plate: thermal consequences. *J. Geophys. Res.* 93, 15207-15225.

- Lugao, P.P., Terra, F.E., Kriegshauser, B., Fontes, S., 2002. Magnetotelluric studies of the Caldas Novas geothermal reservoir, Brazil. *Journal of Applied Geophysics* 49, 33-46
- Majorowicz, J. A., Gough, D. I. and Lewis T. J. 1993. Electrical conductivity and temperature in the Canadian Cordilleran crust. *Earth and Planetary Science Letters* 115, 57-64.
- Oskooi, B., Pedersen, L.B., Smirnov, M., Arnason, K., Eysteinnsson, H., Manzella, A., the DGP Working Group, 2005. The deep geothermal structure of the Mid-Atlantic Ridge deduced from MT data in SW Iceland. *Physics of the Earth and Planet. Int.* 150, 183-195.
- Pfister, M., Rybach, L., Simsek, S., 1998. Geothermal reconnaissance of the Marmara Sea region (NW Turkey) surface heat flow density in an area of active continental extension. *Tectonophysics* 291, 77-89.
- Pollack, H. N. and Chapman, D. S. 1977. Mantle heat flow. *Tectonophysics* 34, 174-184.
- Sandvol, E., Turkelli, N., Zor, E., Gok, R., Bekler, T., Gurbuz, C., Seber, D., Barazangi, M., 2003. Shear wave splitting in a young continent-continent collision: an example from Eastern Turkey. *Geophysical Research Letters* 30, No. 24, 8041, doi : 10.1029/2003GL 017390.
- Türkoğlu, E., Unsworth, M., Çağlar, İ., Tuncer, V., Avsar, U., Tank, B., 2006. Magnetotelluric imaging of the Eurasian-Arabian collision in Eastern Anatolia. 18th Int. Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth. 17-23 September 2006, El Vendrell, Spain. Extended Abstract 1-4, Paper No: S.9-P.20; Session: S9-E5.
- Ushijima, K., Mustopa, E.J., Jotaki, H., Mizunaga, H., 2005. Magnetotelluric Soundings in the Takigami Geothermal Area, Japan. Extended Abstract-0718 in Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- Volpi, G., Manzella, A., Fiordelisi, A., 2003. Investigation of geothermal structures by magnetotellurics (MT): an example from the Mt. Amiata area, Italy. *Geothermics* 32, 131-145
- Yolsal, S., Kılınç, H., Çağlar, İ., Taymaz, T., 2005. The relationship between heat flow regime and active tectonics inferred from seismological data in Western Anatolia. World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.

AFYON İLİNDE YER ALAN JEOTERMAL SAHALARIN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE GEOTHERMAL FIELDS LOCATED IN AFYON

AKAN, B.¹ ve SÜER, S.¹

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Dairesi, Ankara
bakan@mta.gov.tr, ssuer@metu.edu.tr

ÖZET

Afyon ili sınırları içerisinde sıcaklığı 30 °C üzerinde olan toplam dört adet jeotermal saha bulunmaktadır. Bu sahalar, sırasıyla, Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz jeotermal sahası, Gazlıgöl jeotermal sahası, Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal sahası ve Sandıklı jeotermal sahalarıdır. Afyon ili jeotermal sahalarında genelde en yaşlı birim olarak tabanda Paleozoyik yaşlı metamorfitletler bulunmaktadır. Metamorfitletlerin üzerinde kristalize kireçtaşları yer almakta ve bu birim Neojen çökelleri tarafından örtülmektedir. Sahalara ait en genç birimler ise traverten çökelleri ve alüvyonlar tarafından temsil edilmektedir. Ömer-Gecek sahasında sıcaklıkları 46 ile 71 °C arasında değişen çok sayıda kaynak çıkışı ve toplam 25 adet kuyu bulunmaktadır. Gazlıgöl sahasında sıcaklıkları 38 ile 58 °C arasında değişen çok sayıda sıcak su kaynakları ve toplam 4 adet kuyu bulunmaktadır. Heybeli-Çay sahasında sıcaklıkları 30 ile 50 °C arasında değişen kaynaklar bulunmaktadır. Alanda yapılan etüt sonucu belirlenen lokasyonlarda 8 adet kuyu açılmıştır. Sandıklı sahasında sıcaklıkları 45 ile 70 °C arasında değişen kaynaklar bulunmaktadır. Bölgede yapılan etüt sonucu belirlenen lokasyonlarda 9 adet sıcak su sondajı bulunmaktadır. Afyon ili sınırları içerisinde yer alan yüksek sıcaklığa sahip bu sular, bölgenin termal turizm açısından cazip bir hale gelmesine neden olmuştur. Ancak, bölgede termal turizme hizmet eden oteller tarafından açılan kuyular ile termal akifer kontrolsüz olarak işletilmektedir. Bunun yanı sıra, Afyon İl Özel İdaresi tarafından oluşturulan AFJET (Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketi, Afyon kentinin jeotermal enerji ile ısıtılmasına yönelik olarak çok sayıda derin sondaj kuyusu aracılığı ile bölgedeki sıcak suların yararlanmaktadır. Günümüzde ısıtılan konut sayısı 5000 civarındadır, jeotermal enerji ile ısıtmanın ucuz olması nedeniyle giderek artan bir talep söz konusudur. Bu talebi karşılamak amacıyla bölgede açılacak yeni kuyularla ısıtılacak konut sayısının artırılması planlanmaktadır. Ancak, Afyon kentinin tamamının ısıtılması için termal

akiferin yeterli olup olmadığı konusunda bir bilgi ve çalışma bulunmamaktadır. Bu aşamada sıcak ve mineralli su kaynakları yönetim planı hazırlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla jeotermal alanlar için entegra kullanım kapasitesi belirlenerek sıcak su kaynaklarının işletilmesinin tek bir elden kontrolünün yapılması kaynakların etkin ve verimli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afyon, sıcak su, jeotermal potansiyel

ABSTRACT

Within the city borders of Afyon, there are a total of four geothermal fields having temperatures greater than 30 °C. These fields are Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz geothermal field, Gazlıgöl geothermal field, Heybeli-Çay-Çobanlar geothermal field and Sandıklı geothermal field. In Afyon geothermal fields, generally the Paleozoic metamorphics lie as the oldest unit in the basement. Above the metamorphics, lies the crystalline limestones, which are overlain by the Neogene deposits. The youngest units belonging to the fields are the travertine deposits and the alluvials. In the Ömer-Gecek geothermal field, several springs having temperatures ranging between 46 and 71 °C, and a total of 25 wells exist. In the Gazlıgöl field, several thermal springs having temperatures ranging between 38 and 58 °C, and a total of 4 wells are present. In the Heybeli-Çay field, springs having temperatures changing between 30 and 50 °C are present. 8 wells have been drilled in the locations determined by the reconnaissance studies performed in the field. In Sandıklı field, springs having temperatures ranging between 45 and 70 °C are present. A total of 9 hot water drilling wells exist in the field. The high temperature waters within the city borders of Afyon caused the area to be an attractive site in terms of thermal tourism activities. However, the wells drilled by the hotels serving thermal tourism, and the thermal aquifer itself are exploited without any control. Moreover, AFJET Corporation established by Afyon Private City Directory utilizes this hot water which has been obtaining from deep boreholes for the heating of the Afyon city. Today, about 5000 residences are being heated, and because the cost of heating by geothermal energy is quite low compared to other alternatives, the demand for it is ever increasing. Under this pressure, the authorities are planning to increase the capacity to meet the demand, apparently by drilling new boreholes. However, detailed information on whether the potential and capability of the aquifer is adequate to heat the whole Afyon city is lacking. At this stage, there is a need for the preparation of a management plan for the hot and mineral water resources. In this respect, the control of the exploitation of hot water springs from one source by the determination of an integrated utilization capacity for geothermal fields, is important in terms of the effective and efficient utilization of the springs.

Key words: Afyon, thermal water, geothermal potential

1. GİRİŞ

Afyon ili, jeotermal kaynaklarının bolluğu sebebiyle Türkiye'nin en önemli sahalarından biri konumundadır. Bu durum Afyon'un, özellikle termal turizm açısından çok önemli bir konuma gelmesini sağlamıştır. Afyon'da şimdiye kadar yapılan çalışmalar neticesinde dört ana jeotermal saha tespit edilmiş ve bu sahalarda jeolojik ve jeofizik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu sahalardan, sırasıyla Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz jeotermal sahası, Gazlıgöl jeotermal sahası, Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal sahası ve Sandıklı jeotermal sahalardır.

Afyon ilinin termal turizm yönünden zengin olmasına ek olarak, ilde konut ısıtmacılığında jeotermal kullanımını da yaygındır. Son verilere göre yaklaşık 5000 civarında konut jeotermal su ile ısıtılmaktadır. Sahada ayrıca sera ısıtmacılığı özellikle Ömer-Gecek alanında yaygındır.

2. AFYON İLİ JEOTERMAL ALANLARI

2.1. Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı

2.1.1. Özet jeoloji

Bölgenin jeolojisine ait bilgiler Erişen (1976)'den alınmıştır. Alanda en yaşlı birim Paleozoyik'e ait metamorfik şistlerdir. Bu metamorfik esas olarak mikaşist, şistsel kuvarsit, kalkşist, kuvarslı şist ve fillit ile temsil edilmektedir. Metamorfik şistlerin üzerinde geçişli olarak kristalize kireçtaşları (mermer) yer alır ve bunlar yer yer mikaşist ve kalkşistlerle ardalanmalıdır. Neojen çökelleri metamorfik şist ve/veya kristalize kireçtaşları (mermer)'nin üzerine açısız uyumsuzlukla oturur. Neojen birimi çakıtaşı, kumtaşı, kil, kireçtaşı, marn, tüfit-aglomera, çört ve lahar çökelleri ile temsil edilir. Traverten çökelleri ve alüvyon ise en genç birimlerdir.

Magmatik etkinlikle ilgili en yaşlı kayalar, Afyon trakitik volkanizmasına bağlı trakitik, trakiandezitik ve andezitik volkanitler ile bunların tüfit, aglomera ve lahar gibi kırıntılı ürünleridir. Alanda daha genç volkanizmayı bazalt lavlarına ilişkin volkanik etkinlik oluşturur. Söz konusu bazalt lavları en genç kırık zonlarına bağlı olarak yüzeylenirler.

Kırık çizgilerinin genel istikameti KD-GB, KB-GD ve B-D olup, bunlar Neojen sonu ve sonrası yaşlıdır.

Yapılan arazi etütleri ve sondajlı çalışmalara göre, Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kalkşist, kuvarslı şist ve kristalize kireçtaşları (mermer), Neojen yaşlı çakıtaşı, kumtaşı, bazalt, kireçtaşı ve yöredeki tüm fay zonları rezervuar kaya niteliğindedir.

2.1.2. Sıcak su kaynakları

Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz alanında sıcaklıkları 46-71 oC arasında değişen kaynaklar kuyular açıldıktan sonra kurumuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz jeotermal alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Toplam Debi (l/s)
Ömer hamamı kaynakları	51-64	2,5
Gecek hamamı kaynakları	52-64	1,5
Kızık-Uyuz hamamı kaynakları	46-71	2,1

2.1.3.Açılan kuyular

Ömer-Gecek alanında şu ana kadar çok sayıda kuyu açılmıştır. Bu kuyulara ilişkin bilgiler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Ömer-Gecek jeotermal alanında açılan sondajlar.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
AF-1	1971	905	98	20	A
AF-2	1975	56,8	-		T
AF-3	1974	250	97	35	A
AF-4	1990	125,7	95	80	A
AF-5	1995	207,4	95	80	A
AF-6	1996	211,4	74	15	A
AF-7	1996	210	93	6	A
AF-8	1996	250	91	5	A
AF-9	1996	320	49,5	17	A
AF-10	1996	320	96	100	A
AF-11	1996	184	98	-	A
AF-12	1997	60	-	-	T
AF-13	1997	560	81	4,7	A
AF-14	1996	122,2	96	70	A
AF-15	1997	170,7	84	4,5	A
AF-16	1997	218	96	40	A
AF-17	1997	260,5	96	80	A
AF-18	1997	363,6	95	40	A
AF-19	1982	305,3	81	5	G
AF-20	1982	230,3	97	100	A
AF-21	1982	212	91	45	A
AF-22	1983	227	95	50-70	A
AF-23	1983	235,8	90	50	A
R-240	1990	117	82	-	-
R-260	1971	165	92	20	A

A: Artezyen G: Gayzer T: Terk

2.2. Heybeli-Çay-Çobanlar Jeotermal Alanı

2.2.1. Özet jeoloji

Heybeli-Çay-Çobanlar alanında en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı epimetamorf şistlerdir. Metamorfik temeli killi şist, mikaşist, kalkşist, fillit, kuvarsit, kuvarşlı şist ve kuvarsit şistler oluşturur. Epimetamorf şistlerin üzerinde, geçişli olarak; kristalize kireçtaşı (mermer) ve kalkşistler yer alır. Epimetamorf şist ve/veya kristalize kireçtaşı (mermer) ve kalkşistleri açısız uyumsuzlukla Neojen çökelleri örter ve bu çökeller gözenekli gölsel kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, tüfit, çakıltaşı, kumtaşı, kil ve silt ile temsil edilir. Sahada en genç birimler traverten çökelleri ve alüvyon örtüsüdür. Genç volkanik etkinliğe bağlı kayalar Neojen çökelleri arasındaki tüfitler ile Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlı bazaltlardır.

Alanda gözlenen genel kırık hatları KD-GB ve KB-GD yönlü eğim atımlı normal faylarla temsil edilir ve bu kırık çizgileri Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlıdır. Sahada rezervuar kaya Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kalkşist, kristalize kireçtaşı (mermer) ve kalkşistler ile Neojen'e ilişkin çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı kaya birimleri tarafından temsil edilir (Akkuş vd., 2005).

2.2.2. Sıcak su kaynakları

Heybeli alanında yer alan kaplıcalara ait bilgiler Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Heybeli Kaynakları	36,5-50	0,1-3,8
Karaburun kaynağı	30	0,5
Çobanhamam kaynağı	30	0,7
Karaburun T. Kuzey koyu	30	0,2

2.2.3. Açılan kuyular

Alanda yapılan etüt sonucu belirlenen lokasyonlarda 8 adet kuyu açılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Heybeli-Çay jeotermal alanında açılan sondajlar.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
H-1	1978	252	56,5	64	A
H-2	1989	292	50	8	P
H-3	1999	301	41	7	P
H-4	2001	252	56	30	A
H-1/A	2001	257	56,3	73	A
AÇ-1	2000	146	51,0	15,0	A
AÇ-2	2000	263	56,0	50,0	A
K-1	1984	394	37,5	38	A

A: Artezyen P: Pompa

2.3. Sandıklı Jeotermal Alanı

2.3.1. Özet jeoloji

Alanda temel Paleozoyik yaşlı dolomitik kireçtaşı, kalkışit yeşilist, milonitik kireçtaşı, kuvarsit ve silisifiye çakıltası tarafından temsil edilmektedir. İnce taneli kalsitler ve dolomit içeren kireçtaşları gri renkli ve fazla bozulmuş bir görünüştedir. (Şamilgil, 1964).

Paleozoyik temelin üzerine Mesozoyik yaşlı kireçtaşı ve marnlı plaket kireçtaşları uyumsuz olarak gelmektedir. Mesozoyik kireçtaşı alanının güney batısında her taraftan faylarla çevrili bir horst şeklinde gözlenir. Neojen yaşlı oolitik göl kireçtaşı, tebeşirli marn, kireçtaşı, trakiandezitik tuf, gevşek kumtaşı ve çakıl taşından oluşan istif Mesozoyik birimlerin üzerine oturmaktadır. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon sahadaki en genç birimleri temsil eder.

Alanda Paleozoyik yaşlı kuvarsit, silisifiye çakıltası, kalkışit ve kireçtaşları ile Mesozoyik yaşlı kireçtaşı ve marnlı plaket kireçtaşları rezervuar kaya niteliğindedir. Bölgede kırık hatları genellikle K-G, D-B, KB, GD ve KD-GB yönlüdür. Sıcak su kaynakları ise K-G ve D-B yönlü fayların kesişme noktalarında yer almaktadır.

2.3.2. Sıcak su kaynakları

Sandıklı alanında sıcaklığı 45-70 °C arasında değişen kaynaklar, kuyular açıldıktan sonra kurumuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. Sandıklı-Hüdaı jeotermal alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Hamamçay kaynakları	45-70	112*

(*) Toplam debi

2.3.3. Açılan kuyular

Bölgede yapılan etüt sonucu belirlenen lokasyonlarda 9 adet sondaj yapılmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Sandıklı-Hüdai jeotermal alanında açılan sondajlar.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Durumu
AFS-1	1994	226,00	70	39	P
AFS-2	1994	139,40	69	59	P
AFS-3	2000	301,00	40	25	P
AFS-4	2000	75,00	68	60	P
AFS-5	2000	76,50	68,5	58	P
AFS-6	2000	49,15	68	60	P
AFS7/A	2003	92,10	70,1	85	P
AFS8	2003	53,80	54	40	-
AFS10	2003	54,00	68	105	P

P: Pompa

2.4. Gazlıgöl Jeotermal Alanı

2.4.1. Özet jeoloji

Yörede temeli şist ve kuvarsitlerin yer aldığı Paleozoyik yaşlı metamorfitle oluşmaktadır. Bu birimin üzerine Neojen yaşlı kil, kumtaşı ve çakıltası ardışıklı çökeller uyumsuz olarak gelir. Sahadaki en genç birimler Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar tarafından temsil edilmektedir. Kırık çizgilerinin genel uzanım KD-GB, K-G ve KB-GD yönlüdür. Bu kırık hatları Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlıdır.

Sahada Paleozoyik'e ait kuvarsitler, kuvarslı şistler ile bunları kesen fay zonları rezervuar kaya niteliğindedir (Akkuş vd., 2005).

2.4.2. Sıcak su kaynakları

Gazlıgöl alanında sıcaklıkları 38-58 ° C arasında değişen kaynaklar, kuyular açıldıktan sonra kurumuştur (Çizelge 7).

Çizelge 7- Gazlıgöl jeotermal alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Kükürtlü kaynağı	54	1,5
Eski hamam	47,8	0,5
Yeni hamam	38-46	0,17-0,5
Açık hamam	58	0,5

2.4.3. Açılan kuyular

Gazlıgöl jeotermal alanında MTA tarafından açılmış olan toplam dört adet sıcak su sondajı bulunmaktadır (Çizelge 8).

Çizelge 8. Gazlıgöl jeotermal alanında açılan sondajlar.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Sekli
G-1	1974	138	69	5	A
G-2	1990	300	51	1,7	A
G-3	1995	206	74	28	Üretim yok
KH-3	1998	120	66,5	7	A

A: Artezyen

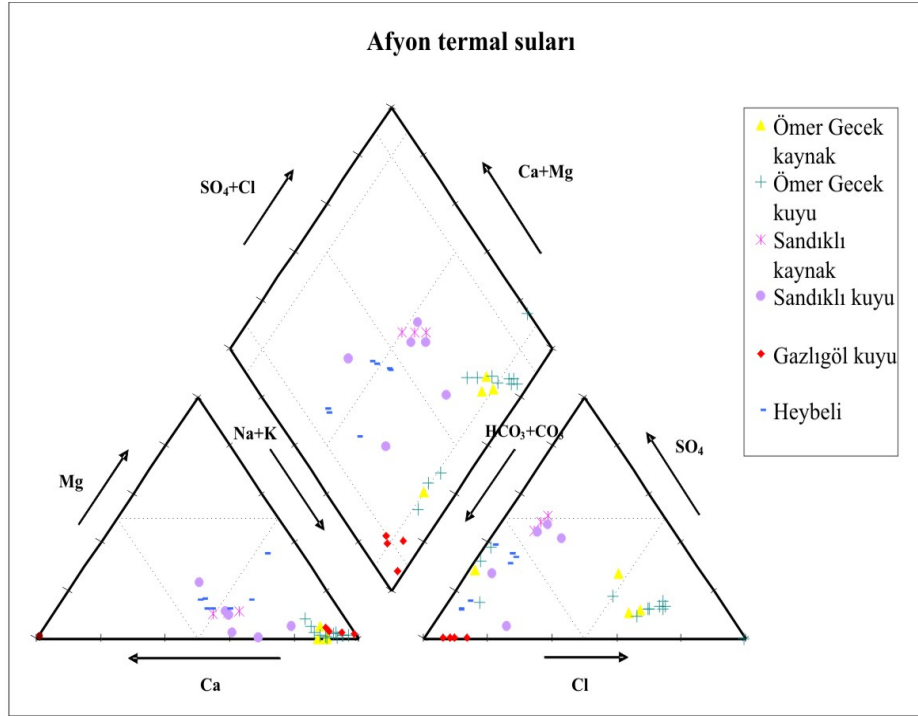
3. AFYON İLİ SULARININ KİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Suların Piper diyagramları incelendiğinde (Şekil 1) Afyon ili sularının genelde Na-HCO₃ karakteri sergilediği görülmektedir. Sular saha bazında incelendiğinde ise her sahanın kendine ait karakteristik kimyasal dağılımı göze çarpmaktadır. Ömer-Gecek sahasına ait kaynak ve sondaj suları bazı örnekler için Na-Cl, bazıları için de Na-HCO₃ karakteri sergilemektedir. Ömer-Gecek sahası kaynak suları genelde arsenik bakımından zengin, sondaj suları ise arseniğe ek olarak flor içermektedir. Sandıklı sahasına ait sular daha çok karışım suları alanına yakınlık sergilemekle birlikte katyon olarak Na, anyon olarak da SO₄ bakımından zengindir. Gazlıgöl sahası sularında belirgin bir biçimde Na katyon olarak, HCO₃ da anyon olarak baskın durumdadır. Bu sular ayrıca yüksek oranda Bor içeriğine de sahiptirler. Son olarak Heybeli sahası suları incelendiğinde ise sular genelde Na-HCO₃ tipinde olmakla birlikte bazı örnek noktalarında karışım sularına yakınlık görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Afyon, yüksek jeotermal potansiyeli açısından Türkiye'nin en önemli sahaları arasında yer almaktadır. Son yıllarda özellikle termal turizm ve kent ısıtım alanlarında Afyon cazip bir hale gelmiştir. Afyon ili jeotermal suları jeolojik konumlarının benzerliği sebebiyle genelde benzer hidrojeokimyasal fasiyesler ve sıcaklıklar sergilemektedir. Afyon İl Özel İdaresi tarafından oluşturulan AFJET (Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketi, Afyon kentinin jeotermal enerji ile ısıtılmasına yönelik olarak çok sayıda derin sondaj kuyusu aracılığı ile bölgedeki sıcak suların yararlanmaktadır. Günümüzde ısıtılan konut sayısı 5000 civarındadır, jeotermal enerji ile ısıtmanın ucuz olması nedeniyle giderek artan bir talep söz konusudur. Bu talebi karşılamak amacıyla bölgede açılacak yeni kuyularla ısıtılacak konut sayısının artırılması planlanmaktadır. Ancak, Afyon kentinin tamamının ısıtılması için termal akiferin yeterli olup olmadığı konusunda bir bilgi ve çalışma bulunmamaktadır. Bu aşamada sıcak ve mineralli su kaynakları yönetim planı hazırlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla

jeotermal alanlar için entegre kullanım kapasitesi belirlenerek sıcak su kaynaklarının işletmesinin tek bir elden kontrolünün yapılması gereklidir. Ayrıca günümüze kadar yapılan çalışmalarda jeotermal alanın gerçek potansiyelinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Sahanın daha etkin ve verimli kullanımının sağlanması ve sürdürülebilirliği açısından jeotermal potansiyelin belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır



Şekil 1. Afyon termal sularına ait Piper diyagramı.

5. KAYNAKLAR

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter Serisi No:201, 849 s, Ankara.

Erişen, B., 1976. Afyon Bölgesi Ömer-Gecek jeotermal alanında yapılan AF-1 ve AF-3 sondajlarına ilişkin kuyu bitirme raporu: MTA Der. Rap. No:5623, 96 s.,(yayımlanmamış), Ankara.

Şamilgil, E., 1964. Hüdai hamamı (Sandıklı) hakkında jeolojik ve hidrojeolojik rapor: MTA Der. Rap. No:3598, (yayımlanmamış), Ankara.

**TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ KONUSUNDA
YAŞANILAN SORUNLAR VE JEOTERMAL SONDAJLARIN
ÖNEMİ**

*THE MATTERS EXPERIENCED ON SUBJECT OF GEOTHERMAL
ENERGY IN TURKEY AND IMPORTANCE OF GEOTHERMAL
BOREHOLES*

Kemal AKPINAR

İller Bankası Genel Müdürlüğü Makine ve Sondaj Dairesi Başkanlığı - ANKARA

Kakpinar@ilbank.gov.tr

ÖZET

Türkiye'nin tam olarak, jeotermal potansiyelinin bilindiği söylenememekle birlikte jeotermal potansiyel açısından dünyanın zengin ülkeleri arasında olduğu belirtilmektedir. 1962 yılında MTA Genel Müdürlüğünce Başlatılan envanter çalışmalarına göre 30 °C sıcaklığı olan 600 kadar jeotermal kaynağın 173 sahada bulunduğu ve 440 adet MTA'nın, 15 adet İller Bankasının kuyu açtıkları belirtilmektedir. Bu kuyuların çoğu Kamu Kuruluşları, Belediyeler ve İl Özel idarelerine ücreti karşılığı açılmış olup araştırma amacıyla açılan kuyu sayısı çok azdır. Jeotermal sondaj çalışmalarının çok dikkatlice yapılması gerekli olup su alınabilecek seviyelerin çimento ve boru ile kapatılması sonucu kuyudan ya hiç su alınamamakta veya çok az debide su ölçümü yapılmaktadır. Bu da jeotermal havza ile ilgili yanlış düşüncelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bunun yanında tekniğine uygun kuyuların açılmaması nedeniyle sıcaklıkların yeraltısularını ve yüzeysularını kirlettiğinden, bazı jeotermal sahalarda sıcaklık ve basınç düşümleri gözlenmektedir. Jeotermal enerji kaynağının sıcaklığı, debisi ve rezervuara ait bilgilerin öğrenilmesinin tek yolu jeotermal sondajla arama yapmaktır. Bu nedenlerle jeotermal sondaj çalışmalarının tekniğine uygun olarak yapılması çok önem kazanmaktadır.

Özel sektöre ise yaklaşık 525 adet kuyu açıldığı söylenmektedir. Açılmış olan bu kuyuların çoğunun tekniğine uygun olmadığı, kuyuların %90'ında test ölçüm ve rezervuar değerlendirme çalışmalarının yapılmadığı sektörde çalışanlarca bilinmektedir. Jeotermal sondaj çalışmaları sırasında tespit edilen en önemli sorun yeterli bilgi

birikimine sahip sondaj mühendisi, litolojik determinasyon, alterasyon minerolojisini bilen Jeotermal kuyu yönlendirebilecek jeoloji mühendisi, sondör ve işçi personel eksikliğidir. Ayrıca kapasitesi yüksek sondaj makinesi ve malzeme ekipman eksikliği de bulunmaktadır. Özel sektörde açılan kuyuların çoğu sondaj mühendisi kontrolünde açılmadığı gibi bu kuyuların tekniğine uygun olarak açılmasını denetleyecek hiçbir kurum bulunmamaktadır. Etüt, sondaj gibi araştırma çalışmalarına bile yeterince kaynak ayrılmamaktadır. Çoğu kuyu soğuksu kuyusu gibi açılmakta olup sadece kompresörle çok uçuk rakamlarla debi miktarı belirlenmektedir. Jeotermal saha sınırlarının tam olarak belirlenmemesi ve bu alanların jeotermal dışı faaliyetlere kapatılmaması nedeniyle sera yapımı, konut alanı olarak yerleşme gibi nedenlerle bu alanlarda yeterince etüt ve sondaj çalışması yapılamamaktadır.

Ayrıca elektrik enerjisi üretimi, merkezi sistem ısıtma, termal tedavi merkezleri gibi büyük yatırımlarda düşünüldüğünde öncelikli olarak finansman sorunları, yapılan yatırımların her safhasında uyulması gereken yönetmelik, şartname ve standartlara çoğunlukla uyulmaması ve denetleme yapacak bir kurumun olmaması, kanuni düzenleme eksikliği ve çıkarılan kanunun yersizliği, jeotermal enerji araştırmalarının eksik ve çoğunlukla uzman olmayanlarca yapılması, rezervuar ve re- enjeksiyona yönelik test ve ölçüm çalışmalarının ya hiç ya da çok eksik yapılması, geçmişte yapılan elektrik enerjisi, merkezi sistem ısıtma merkezleri ile iletim ve dağıtım hatlarının yapımı sırasında kesin fizibilite raporları olmadan avan projelerle çok büyük yatırımlara başlanması, gerekli mühendislik, işçilik hizmetlerinin eksik kullanılan malzemelerin kalitesiz ve pahalı olması, Jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin bakım, onarım ve işletilmesinin istenilen verimde yapılmaması, kullanılan ve kullanılacak olan jeotermal kaynaklarla ilgili yeterli bilgiye veri bankası oluşturularak sahip olunmaması, sektörde çalışacak yeterince bilgi birikimine sahip personelin yetiştirilememesi gibi bir çok sorun bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Jeotermal enerji, jeotermal sondajlar

ABSTRACT

Although geothermal potential of Turkey is not known exactly, it is known that Turkey is between the countries that they are rich in geothermal potential. According to inventory studies which were started by MTA General Directorate in 1962, geothermal resources which have number of 600 and degree of 30 °C temperature, exist in number of 173 fields and number of 440 drilled by MTA General Directorate , General Directorate Of Bank Of Provinces number of 15 drilled wells are determined. The most of these wells have been drilled by Public Organization, Municipality and Country private Dominion in exchange for pay and the number of drilled wells for the purpose of investigation are very few. Examination of geothermal borehole studies as carefully are essential and as a result of closing levels which might be taken water with cement and pipes, it is not taken any water or water measure is done in a very few flow. This cause forming the wrong opinion about geothermal basin. Besides, because of wells which is suitable for boreholes technique are not drilled, the hot water polluting undergroundwater and surface water, dropping of temperature and pressure in some geothermal fields are observed. Only one way to learn the informations belong to temperature, flow and reservoir of geothermal energy source is to search with geothermal boreholes. With these reasons, doing geothermal boreholes studies as suitable for borehole technique get very importance.

It is mentioned that approximately number of 525 wells were drilled by private sector. People Who work in their sector know that the most of these drilled wells were not

suitable for borehole technique and reservoir evaluation and test measure were not done. The most important reason which is determined during the geothermal studies is lack of borehole engineer who has enough knowledge about it, lithologic determination, geological engineer who knows alteration mineralogy and has enough knowledge to guide geothermal wells, formen and worker. Besides there are lack of drilling machine which has high capacity and material group. The most of wells which are drilled by private sector are not drilled under control geological engineer and there is no any council to check appropriateness of these wells. Also, sufficiency fountain are not left for investigation studies like study, boreholes. The most of wells as drilling coldwater wells and flow quantity is determined by compressor in very eccentric number. Because of border of geothermal field is not determined exactly and these fields are not closed except for geothermal activity, in these fields study and borehole studies can not be done sufficiency.

In addition, geothermal energy is thought in big investment like electricity energy production, greenhouse heating, thermal health resort, there are alot of problems like financing matter, regulation, contract and standart which we have been obeyed in every stage investment are not obeyed and no any council for checking, lack of legal arrangement, deficiency of law which is thought to generate, deficiency of geothermal energy investigations and doing it with not expert. Reservoir and re-injection investigations are not done, during the making of electricity energy, greenhouse heating with transmission and distributer line without certain feasibility report, starting the big investment with project, the lack of engineering and working services and used materials are expensive and poor quality, caring, repairing and running of the system of geothermal central heating are not done as expected yield, there is no enough knowledge about used geothermal energy as generation of datum bank, not training of personnel who have enough knowledge in sector.

Key Words : Geothermal boreholes, geothermal energy

1. JEOTERMAL UYGULAMALARDA YAŞANILAN SORUNLAR

Ülkemizde Jeotermal enerji ile ilgili çalışmalara başlamak isteyen kamu ve özel sektörün önüne bir çok sorun çıkmaktadır. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

1.1. Çıkarılan Kanun ve Yönetmelikte Gözlenen Eksiklik ve Çelişkiler

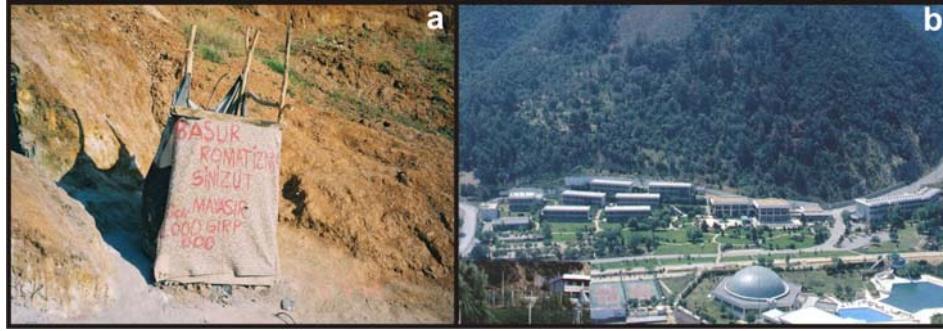
Jeotermal kaynakların elektrik enerjisi üretiminde kullanımı “10.05.2005 tarihli 5346 sayılı yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile düzenlenmiş bulunmaktadır. TC Anayasasının 168. Maddesinde tüm doğal kaynaklar ile yeraltı kaynaklarının kamuya ait olduğu ve kamu tarafından kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Ülkemizde 3 / 6 / 2007 tarih ve 5886 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile 11 / 12 / 2007 tarih ve 26727 sayılı yönetmelik; Jeotermal kaynaklardan daha düzenli bir şekilde faydalanılmasını kolaylaştıracaktır. Ancak sivil toplum örgütleri, üniversiteler ve Jeotermal kaynakları kullananların önerileri dikkate alınmadığından daha önceki hak sahiplerinin intibakları dışında daha uygulama başlanamış olmasına rağmen çok çeşitli eleştiriler yapılmakta ve aleyhte davaların

açılacağı belirtilmektedir. Hak sahiplerinin intibakları yapılırken nasıl yapılacağı belli olmadığından bazı hak sahiplerine alan bazında bazılarında kuyu bazında intibak yaptırıldığı söylenmektedir. Aslında intibakların alan bazında yapılması gerekmektedir. Bu hem kanuna uygun olmasını sağlayacak hemde çoğu jeotermal sahada çıkabilecek kargaşaları şimdiden önleyecektir. Kanun ve yönetmeliğin en büyük eksikliği ise havza bazında işletmeyi engelleyecek olması nedeniyle çok çeşitli sorunlar çıkabilecektir. Ayrıca etüt, sondaj, test ve ölçüm çalışmalarının nasıl denetleneceği konusu tam açık değildir. Amaç sadece ruhsat vermek değil yapılan her çalışmanın bilim ve tekniğe uygunluğunu sağlamak olmalıdır. Bu kanun ve yönetmelik olmasına rağmen Jeotermal havza sınırları belirlenerek Belediyelerin işlettiği sahaların belediyelere, İl özel idarelerinin işlettiği sahaların il özel idarelerine, Kamu ve özel sektörde kurulan şirketlerin işlettiği sahaların şirketlere, çok işletmecisi bulunan sahaların oluşturacakları birliklere verilmesi ve bunların yapacakları faaliyetlerin çok iyi bir denetlenmesi halinde sorunlar azaltılabilecektir.

1.2. Finansman Sorunları

Jeotermal enerji yatırımları hem çok bilgi birikimi hem de çok büyük finansman gerektiren yatırımlardır. Araştırma, sondaj, test ve ölçüm çalışmaları sırasında bile çok büyük parasal kaynağa ihtiyaç bulunmaktadır. bu konulara yeterince kaynak ayrılmadığından ve jeotermal kaynak kullananların kazandıklarından bir kısmını Jeotermalin gelişimi için aktarmaları ile ilgili bir düzenleme bulunmamaktadır (Şekil 1). Araştırma ve sondaj çalışmaları için önceleri MTA Genel Müdürlüğüne genel bütçeden alınan kaynaktan pay ayrılarak çalışmalar başlatılmış daha sonra bu kaynağın yeterli olmaması nedeniyle İl Özel İdareleri, Belediyeler, Jeotermal Enerji kullanıcıları ve İller Bankası Genel Müdürlüğü bu çalışmalara kaynak katkısında bulunmuşlardır.



Şekil 1. (a): Finansmanı olmayan jeotermal kaynak, (b): Finansman sağlanan jeotermal kaynak

İller Bankası Jeotermal Enerjinin araştırılmasına yönelik jeolojik ve jeofizik çalışmaları hibe olarak yapmakta, sondaj ve test çalışmaları için maliyetin % 50 si oranında katkıda bulunmaktadır. Belli bir oranda jeotermal enerjinin varlığı belirlendikten sonra termal tedavi, sera ve kaplıca yatırımları özel sektörde veya il özel idareleri, belediyelere yapılmaktadır. Kent ısıtmasına yönelik çalışmalar ise il özel idareleri, belediyeler, il

özel idareleri ve belediyeler, il özel idareleri ve belediyeler ile halkın katılımı, belediyeler ile özel şirketler veya belediyeler ile halkın katılımı, şeklindeki yatırımlarla gerçekleştirilmektedir. İl özel idareleri ve belediyeler bankanın ortağı olması nedeniyle kent ısıtmasına yönelik çalışmalara çok büyük önem vererek çok düşük faizle uzun vadeli araştırma, sondaj, test, proje, malzeme ve yapım kredisi vermektedir. Elektrik enerjisi üretimi için yatırımlar ise devlet bütçesinden veya özel sektörde yapılmaktadır. Çıkarılan kanun ve yönetmelikte jeotermal enerjinin araştırılması, daha yaygın olarak kullanılması ve araştırma geliştirme faaliyetleri için finans sağlanmasına ilişkin bir düzenleme bulunmamaktadır.

1.3. Jeotermal Çalışmaların Hiçbir Safhasında Yönetmelik, Standart ve Denetim Olmaması

Jeotermal uygulamaların etüdünden başlanarak, sondaj, test ve ölçüm, rezervuara yönelik değerlendirme, fizibilite, proje, yapım ve işletmelerle ilgili çalışmaların yapılması ve raporlarının hazırlanması ile ilgili hiçbir yönetmelik ve standart bulunmamaktadır. Bu konu ile ilgili İller Bankasınca; jeotermal etüt, jeotermal sondaj, kuyu test ve ölçümleri, rezervuar ve re-enjeksiyon değerlendirmesi, teknik ve ekonomik değerlendirme, jeotermal merkezi ısıtma sistemi proje ve yapımları ile ilgili olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Bölümünün katkıları ile toplam 12 adet şartname ve 1 adet yönetmelik oluşturulmuştur. Söz konusu "İller Bankası Jeotermal Enerji Tesisi Projelerinin Hazırlanmasına Ait Yönetmelik" Resmi Gazete'nin 25.06.2001 tarih ve 24443 sayılı nüshasında yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Ancak kanuni dayanağı olmadığına İller Bankası dışında bu şartname ve yönetmelik uygulanmamaktadır. Bu kadar önemli olan bir konuda yukarıda bahsedilen çalışmaların yapılması sırasında hiçbir denetim ve sorumlu bulunmamakta olup bu da çok büyük sorunların oluşmasına neden olmaktadır.

1.4. Jeotermal Enerji Araştırmalarının Eksik Yapılması

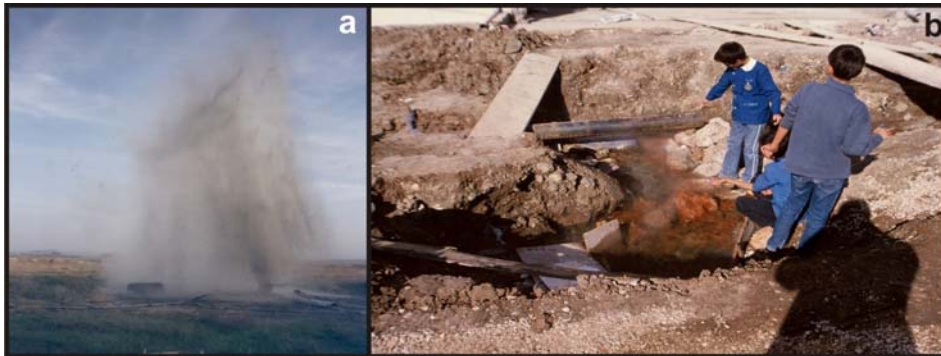
Jeotermal enerji araştırmaları için en önemli kısmı olmasına rağmen yeterince önemsenmediğinden daha ilk baştan hatalı, eksik ve gerekli bilgiyi içermeyen raporların hazırlanmasına neden olmaktadır. Etüt kısmı hiç para harcanmadan, kısa sürede yapılması gereken bir iş gibi görüldüğünden yeterince başarı sağlanamamaktadır. Ayrıca bu konuda yetişmiş en iyi şekilde sonuç alınacak raporları hazırlayabilecek mühendis sayısı çok az olmasına rağmen çoğu kez bu insanların bilgi birikiminden de faydalanılmamaktadır. Etüt safhasında değişik konularda uzman olan mühendislik disiplinlerinin bir arada uyumlu bir şekilde meslek taassubu olmadan çalışmalarını gerekmesine rağmen çoğu zaman bu sağlanamamaktadır. Bununla birlikte hazırlanan raporları yeterince inceleyip gerekli katkıyı sağlayacak birimlerin olmaması ve hazırlanan raporla ilgili hiçbir sorumluluk taşınması, netice alınamayan raporları yeterince incelenip yaptırım koyacak bir kurumun olmamasıdır (Şekil 2).



Şekil 3. Jeotermal enerji araştırması için arazide jeolojik, jeofizik etüt çalışmalarının yapılması

1.5. Tekniğine Uygun Olmayan Bir Çok Kuyunun Açılmış Olması

Jeotermal kuyular çok önemli olup tekniğine uygun olarak yapılmaması halinde yeraltısularına, yüzeysularına ve çevreye zarar vermektedir. Jeotermal rezervuarın soğuması ile basıncının düşmesine neden olmaktadır. Bilinçsizce açılan kuyular kaynakların boşa akıp gitmesini sağlamaktadır. Sondaj çalışmalarını denetleyecek yetkili bir kurumun veya yeminli büronun olmaması nedeniyle özel sektör ve kamuca standartlara uygun olmayan çok sayıda kuyunun varlığı sektörde çalışanların bilgisi dâhilindedir. Ayrıca kuyu açım çalışmaları sırasında gerekli bilgi ile donanmış kuyu başı jeoloji mühendislerinin olmaması kuyulardan istenilen verimde ve sıcaklıkta suyun olmasını engellemekte sondaj mühendisinin bulunmaması nedeniyle de sondaj çalışmaları sırasında kuyuda ani geliş (blow-out) gibi birçok sorunla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Bu iki meslek grubunun sondaj çalışmaları sırasında mutlaka kuyu başında olmaları gerekir (Şekil 3).



Şekil 3. (a): Dikli'de *Blow-out* yapan kuyu, (b): Bursa Çekirge'de kontrol altına alınamayan kuyu

Özel sektörece yaklaşık 525 adet kuyu açıldığı söylenmektedir. Açılmış olan bu kuyuların çoğunun sondaj raporu, kuyu logları, analiz sonuçlarına ilişkin bilgi ve belgelere ulaşmak neredeyse imkânsızdır. Çoğu ya hazırlanmamış veya sondaj şirketlerinin arşivlerindedir. Çok önemli olan bu belgelerin yetkili bir kurumda olmaması jeotermal havzalar hakkında yanlış bilgilenmelere ve yanlış yatırımlara, gereksiz yeni araştırmalara neden olmaktadır.

1.6- Rezervuar ve Re - Enjeksiyon Değerlendirmesine Yönelik Test ve Ölçüm Çalışmalarının Yapılmaması

Jeotermal kuyuların açılmasından sonra kuyu içerisinde ve kuyu başında rezervuar ve re-enjeksiyon değerlendirmesine yönelik sıcaklık, basınç, girişim, pompa test ve ölçümleri alınarak konunun uzmanlarınca değerlendirilip hazırlanan raporlar bulunmaktadır. Ancak ülkemizde bu çalışmaların yapılarak rezervuar ve re-enjeksiyon değerlendirme raporları hazırlanan çok az saha bulunmaktadır. Hele hele bu raporların hazırlanmasından sonra merkezi sistem ısıtma projelerinin yapılması anlayışı sektöre İller Bankasının dahil olmasıyla olmuştur. Afyonda üç yıl önce işletmede çıkan sorunların çözümüne ve gelecekle ilgili değerlendirmelerin yapılması için test ve ölçümler yapılmış ve raporları hazırlanmıştır. Bigadiç, Gediz ve Sorgun merkezi sistem ısıtma projeleri için test ve ölçümlerin yapılarak raporlarının hazırlandığı bilinmektedir (Şekil 4).



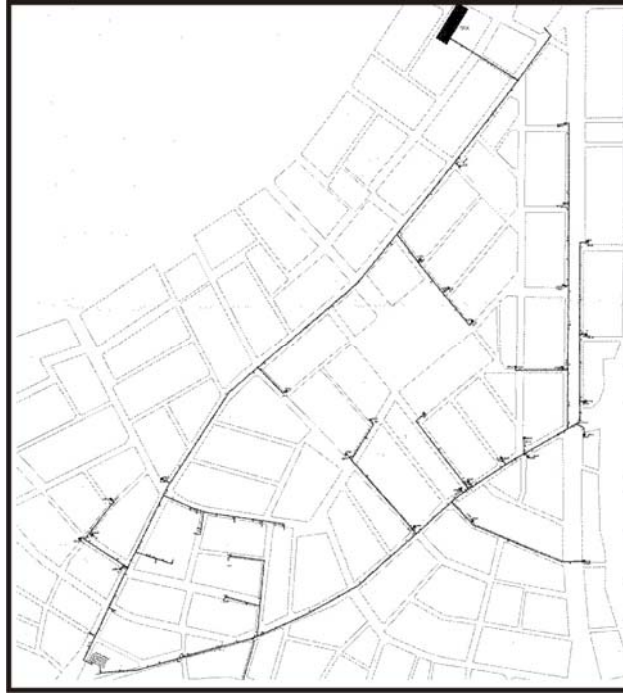
Şekil 4. Kızılcahamam da İller Bankası'na 365 metre derinlikte açılan kuyuda pompa testi

1.7. Kesin Fizibilite Raporları Olmadan Avan Projelerle Yatırıma Başlanması

Ülkemizde Jeotemalle ilgili en büyük sorunlardan biride teknik ve ekonomik değerlendirme, yapılarak hazırlanan kesin fizibilite raporları olmadan çok basit avan projelerle jeotermal merkezi ısıtma sistemi gibi tesislerin projelerinin hazırlanmasıdır. Bu konuda en fazla karşılaşılan eksiklikler;

- Proje için gerekli jeotermal akışkanın elde edilmesinin planlandığı sahalarda yeterli etüt, araştırma, kuyu test-ölçümleri, rezervuar ve re-enjeksiyon değerlendirmesi yapılmadan, ön araştırma veya ön ölçüm mahiyetinde elde edilmiş veriler esas alınarak tesisin proje ve hesaplarının yapılması.

- Projelendirilen tesisin mekanik, elektrik-elektronik, otomatik kontrol, inşaat ve harita gibi konularda yeterli hesap, plan ve raporlarının bulunmaması, ön veya avan proje niteliğini taşımaları, iletim hatlarının geçtiği yerlerde zemin araştırmalarının yapılmaması ve projelerin Kamu İhale Kanununda belirtilen uygulama veya kesin proje özelliğinde olmaması, Projeler için gerçekleştirilen ilk yatırım ve işletme giderleri açısından ekonomik değerlendirmelerin yeterli bulunmaması.
- Proje ve raporlarda, ilgili tesisin hayata geçirildiğinde, rezervuar ve tesis açısından nasıl bir işletme modelinin öngörüldüğünün açıklanmamasıdır.



Şekil 5. Avan proje niteliğindeki projelerle jeotermal ısıtma sistemlerinin planlanması

1.8. Elektrik Enerjisi ve Merkezi Sistem Isıtma Tesisleri ve İletim Dağıtım Hatlarının Yapımı Sırasında Kaliteli Malzeme Kullanılmaması, Uygun Mühendislik ve Ustalık Hizmeti Verilememesi

Jeotermal suyun kimyasal özellikleri iletim ve dağıtım hatlarında kullanılacak boruların vanaların, diğer malzeme ve donanımların seçiminde önemli rol almaktadır. Ayrıca enerji üretim tesislerinde birçok elektronik malzemenin kullanılması söz konusu olup bu malzemelerin standartlara uygun olması, fiyatı ve kullanılma kolaylığı ve süresi önem kazanmaktadır. Ayrıca yapım çalışmaları sırasında kalifiye ve ahlaklı usta kullanılması, bilgili mühendislerden faydalanılması, tesislerin uygun fiyata yapılması, enerji giderlerinin az olması, kaynakların ziyan edilmeden kullanılması, gibi tüm bu çalışmaların tekniğine uygun olarak yürütülmesi gerektiğini göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Jeotermal ısıtma sistemlerinin yapılması sırasında uygun olmayan malzeme kullanımı.

1.9. Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemlerinin İşletilmesinin İstenilen Verimde Yapılmaması

Uygun projeler üretilerek gerçekleştirilen ve ilk yatırım maliyetleri hiç de az olmayan jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin; ekonomik ömürlerinin kısaltılmaması ve aksamadan hizmet verebilmelerinin sağlanması için uygun yöntemlerle işletilmeleri çok önemlidir. Ayrıca; deneme üretimi ve/veya pilot üretim aşamasında sağlanan veriler ışığında, basınç, ısı, kimyasal analiz ve diğer fiziksel ölçüm değerlerinden giderek rezervuardan uygun değer debide üretim yapılması ve aşırı tüketimin önlenmesi sağlanmalıdır. Rezervuarın sağlıklı biçimde korunması ve ömrünün elverdiğince uzun tutulması için rezervuar testleri periyodik olarak yapılmalı ve gerekiyorsa yeni değerlendirme ve öneriler gündeme getirilmelidir.

1.10. Kullanılan Ve Kullanılacak Olan Jeotermal Kaynaklarla İlgili Yeterli Bilgiye Sahip Olunmaması Ve Bu Kaynaklarla İlgili Değerlendirmelerin Yeterince Yapılmaması

Ülkemizin en önemli sorunu jeotermal kaynaklarla ilgili bilgi eksikliği sorunudur. Bu nedenle yapılması gereken kullanılmakta ve kullanılmayı bekleyen sıcağı kaynakları ve kuyularına ait tüm bilgiler ile günlük, aylık, yıllık su kullanım bilgileri, laboratuvar analiz sonuçları, sıcağısuyun kullanıldığı tesislere ait bilgilerin dosyalarının oluşturulması ve içindeki bilgilerin her yıl irdelenerek yenilenmesi gerekmektedir. Bir merkezde bilgi işlem ortamında toplanan bilgilerin her yıl sonunda yapılan ve yapılması gereken çalışmaları belirleyecek toplantılar yapılarak bilgilerin yenilenmesi ve gelecekle ilgili planlamaların yapılması gerekmektedir.

1.11. Sektörde Çalışacak Yeterince Bilgi Birikimine Sahip Personelin Yetiştirilememesi

Ülkemizde diğer sektörlerde olduğu gibi bu sektörde de sektörün yükünü taşıyacak mühendis, işletmeci, usta gibi personel gerek yurt içinde gerekse yurt dışında yetiştirilememektedir. Yetişmiş uzman personelin çoğu yurt dışında eğitim almış ve özel sektörde çalışmaktadırlar. Ancak jeotermale yönelik yatırımların çoğu kamu kaynakları kullanılarak kamu personeli tarafından yürütülmekte, kanuni düzenlemelerde mühendislik bürolarından yeterince faydalanılması için yer verilmemekte, her türlü

çalışmanın ancak kamu eliyle doğru yapılacağı düşünülmemekte, en önemlisi de bu konuda özel sektöre nasıl iş yaptıracağı bilinmemektedir. İşi yapan özel sektörün nasıl kontrol edilmesi gerektiği ile ilgili bir çalışmada yapılmadığından uzman mühendislerden faydalanılması olanağı da azalmaktadır.

2. JEOTERMAL SONDAJLARIN ÖNEMİ

Jeotermal enerji tesisi yatırımları oldukça büyük projeler olup, bilindiği üzere çok fazla para harcanmaktadır. Bu nedenle de yapılan tesislere kesintisiz sıcak su sağlanması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi tekniğine uygun olarak açılmış ve havzada ihtiyacı karşılayacak test ve ölçümleri yapılarak değerlendirme raporları hazırlanmış kuyuların bulunması ile mümkündür. Buda sondaj çalışmalarının her safhasının ve test ölçüm çalışmalarının çok dikkatli bir şekilde yürütülmesini ve bu çalışmaların bilgisayar programlarında değerlendirilmesini gereklidir.

2.1. Kuyu Tasarımı

Jeolojik ve jeofizik verilerin çok iyi değerlendirildiği Jeotermal Enerji Etüt raporu çok iyi okunarak anlaşılmalı ve mümkünse raporu hazırlayanla birlikte bir kuyu tasarımı yapılmalıdır.

2.2. Kuyu Yeri ve Yolunun Hazırlığı

Her türlü arazi şartlarında kuyu yerine girilebilecek şekilde kuyu yolu yapılmalı ve çamur havuzları en az iki adet olmak üzere eni boyu yüksekliği belli bir şekilde kazılarak tuğla veya biriketle ördürülerek sıvanmalıdır. Makinenin altına mutlaka sağlam bir beton atılmalıdır. Şantiyeye yeterli miktarda sondaj kimyasalları, bentonit, barit getirilmelidir. Formasyona ve kuyu derinliğine göre elimizdeki makine tipi seçilmelidir sondaj makinesi terazisinde takozla alınmalıdır.

2.3. İlerleme Sırasında Dikkat Edilecek Hususlar

Açılacak kuyunun tasarımına göre ya 24'' matkapla 4 m ilerlenerek üç varil birbirine kaynatılıp kuyu ağzına inilmeli ve içerisinden 171/2'' matkapla delik açılarak üstte 14'' boru ile soğuksu girişini veya kapatılacak şekilde yüzey muhafaza borusu indirilmeli veya üstte alüvyon kalınlığı 30m, 40m ise 24-22 matkapla alüvyon seviyeler delinerek sağlam zeminden 1m-2m gittikten sonra 19'' muhafaza borusu kuyuya indirilip çimentolama yapılmalıdır. İlerleme sırasında her bir metrede alınacak numuneler önemli olup şantiyede bulundurulacak mikroskopla incelenerek özellikle alterasyon minorolojisi incelenip pirit, kalko pirit, klorit minareleri çok iyi takip edilmelidir. Her bir metrede kuyuya giren çamur giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmeli ve ani sıcaklık yükselmesi gözlenen seviyeler ile çamur kaçağı gözlenen seviyeler not edilmeli ve çamur kaçağı miktarı yazılmalı, ani su gelişi çamur seviyesinde gözlenen artış seviyeleri kayıt edilmelidir. Kuyu özellikle düşeyde açılmalıdır. Borulama yapılacak seviyeler çok iyi tespit edilerek sıcak su girişi olacak seviyeler çimento ve boru ile kapatılmamalıdır.

Maalesef bazı sahalarda açılan kuyularda bu yapıldığından kuyulardan istenilen sonuç alınamamıştır. İlerleme sırasında sıcak su alınması düşünülen seviyelerden karot alınması, kuyu logu ve kuyu dibi sıcaklık ölçümleri alınması ve kuyu başında görevli jeoloji mühendisinin isteklerine göre kuyunun yönlendirilmesi gerekmektedir.

2.4. Borulama ve Çimentolamada Dikkat Edilecek Hususlar

Borulama sırasında üstten kaç metre derinlikte kapalı boru indirileceği ve alt kısmın hangi çapta matkapla delineceği düşünülerek istenilen derinliğe kadar açılan kuyuya jeotermal sondaja uygun casing (k55) boru veya mümkün değilse çelik çekme boru indirilmelidir. Şantiyede tekniğine uygun çimentolama aparatları bulundurarak uygun özellikleri olan çimento şerbetini kuyu ile kapalı boru arasından basarak kuyu ağzına kadar çimento şerbeti gelmelidir. Daha sonra uygun çapta matkapla istenilen derinliğe kadar kuyuda ilerleme yapıldıktan sonra kuyuya yine uygun özellikte filtreli boru üretim borusu olarak indirilmelidir. Borulama ve çimentolaması yanlış yapılan 300metrelik bir kuyuda üst kısımdan 202 metre kapatılmış ve kuyuda 14lt/sn, 61° C su ölçümü yapılmıştır. Aynı kuyunun 15m yanına yeni bir kuyu açılarak üst kısımdan 168m çimentolama yapıldığında kuyuda 30 lt/sn artezyen debisi, sıcaksu pompası ile 60lt/sn, 65° C su ölçümü diğer kuyu çalışır durumda iken yapılmış ve iki kuyu biri birini etkilememiştir. Bu da bize esas verimli sıcak suyun kapatılan bölümde olduğunu göstermiştir. Yine artezyen yapan 98°C su sıcaklığına, 30 lt/sn su verimine sahip olduğu belirtilen çok fazla paralar harcanarak yapılan bir merkezi ısıtma tesisini besleyen bir kuyu 2 yıl gibi bir süre çalıştıktan sonra etrafındaki çimentolamanın tekniğine uygun olarak yapılmaması nedeniyle kuyunun kenarlarından sıcaksu gelişi olmuş ve daha sonra kuyu çökerek kullanılamaz hale gelmiştir. Bu kuyunun çökmesi nedeniyle havzadaki diğer derin kuyuda etkilenmiş ve artezyen yapan 98° C su sıcaklığına, 60 lt/sn su verimine sahip olduğu belirtilen kuyuda artezyen kesilmiş, sıcaksu pompası indirilmeye çalışılmış ancak borulamadaki bir hatadan dolayı 67 metreden pompa aşağı indirilememiş kuyudan ancak 27 lt/sn su çekilerek sisteme verilebilmiştir. Isıtma sistemi istenilen duruma ancak yeni yapılacak sondajlardan sonra gelebilecektir. Yine aynı bölgede 569 metre kuyu açtırılması sırasında üstteki 239 metredeki bölüm tekniğine uygun çimentolanamadığından sondaj çamur sıcaklığı 55°C ölçülen kuyudan 30° C sıcaklıkta su ölçümü yapıldığı belirtilmiştir (Şekil 7; Şekil 8).



Şekil 7. Edremit belediyesi için yapılan sıcaksu sondajlarında kullanılan çelik borular



Şekil 8. Edremit EDJ-3 nolu kuyuda çimentolama çalışmaları.

2.5. Kuyunun Geliştirilmesi

Jeotermal kuyunun geliştirilmesi çok önemli olup özellikle düşük basınçta ve su verimine sahip kuyular rotari sistemle açılmış ise kil çözücü kimyasallar usulüne uygun olarak kullanılmalı ve güçlü bir kompresörle yeterli derinlikten kuyudaki su berraklaşana kadar geliştirilmelidir. Birçok kuyuda inkişafın yeterli özelliklere sahip olmayan kompresör ve donanım ile çok kısa süreli yapıldığı bilinmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Edremit EDJ-5 nolu kuyuda inkişaf çalışmaları.

2.6. Rezervuar Değerlendirmeye Yönelik Test ve Ölçüm İşlemleri ile Su Örneklerinin Alınması

Kuyu tamamlandıktan sonra basınçlı veya basınçsız kuyularda rezervuara yönelik birçok sıcaklık, basınç, girişim testi gibi test ve ölçüm çalışmaları vardır bunların hepsi mutlaka yapılarak formları doldurulmalı ve en sonunda su örnekleri alınarak analiz yaptırılmalıdır. Elde edilen bilgiler bilgisayar ortamında değerlendirilerek rezervuara yönelik yorumlamalar yapılmalı sıcak suyun özellikleri belirlenmeli mümkünse sahanın modellenmesi çıkarılmalıdır. Özellikle pompa testi gerektiren kuyularda mutlaka en az üç gün pompaj yapılmalı ve kuyunun özellikleri belirlenmeli ve su verimi tespit edilerek işletme debisi belirlenmelidir (Şekil 10; Şekil 11).



Şekil 10. Kızılcahamam'da ve Çobanlar'da yapılan test ve ölçüm çalışmaları



Şekil 11. Sivas Soğukçermik'te açılan kuyu ve Güre'de soğuksu sondajı yanında sıcaksu denetim.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeotermal Enerji kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması amacıyla çıkarılmış olan Jeotermal Enerji ve Doğal Mineralli Sular kanunu ve yönetmeliği bazı olumsuzluklar içermiş olmasına rağmen böyle bir kanunun ve yönetmeliğin çıkarılması büyük bir emeğin sonucudur. Bu kanunun ve yönetmeliğin sorunların giderilmesine katkıda bulunacağına inanılmaktadır.

Ayrıca kanun ve yönetmelikten destek alarak;

- ✓ Jeotermal kaynaklardan yeterince faydalanılması için finansman sorunlarının çözülmesi,
- ✓ Jeotermal kaynakların azalmasının, sıcaklık ve basınçlarının düşmesinin önlenmesi,
- ✓ Jeotermal potansiyelinin ve havzalarının tam olarak belirlenmesi,
- ✓ Jeotermal kaynaklarla ilgili tüm bilgilerin bilgisayar ortamında depolanması,
- ✓ Jeotermal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi, entegre kullanımın özendirilmesi,

- ✓ Jeotermal Enerji etüt, sondaj, test ve ölçüm, proje, yapım, işletme ve kullanılacak malzeme konularında şartname, standart oluşturulması ve kullanımda bunlara uygunluğun denetlenmesi,
- ✓ Jeotermal etütlerin detaylı olarak yapılması, sondajların tekniğine uygun olarak açılması için kontrol ve denetim mühendislerinin bulundurulması,
- ✓ Her kuyunun açılmasından sonra rezervuara ve re-enjeksiyona yönelik test ve ölçüm çalışmaları yapılarak bilgisayar ortamlarında değerlendirildikten sonra işletme debilerinin tespit edilmesi ve su analizlerinin mutlaka yorumlanması,
- ✓ Jeotermal Enerji proje ve yapımlarının teknik ve ekonomik değerlendirilmesinin yapılmasından sonra hazırlanacak fizibilite raporlarına göre şartname ve standartlara uygun olarak yaptırılması,
- ✓ Jeotermal Enerji yatırımlarının İşletilmesi sırasında tesislerin ve rezervuarın en iyi şekilde korunması, çevreye zarar vermeden kullanımının sağlanması,
- ✓ Jeotermal Enerji uygulamalarının AR-GE faaliyetlerinin desteklenmesi, konusunda uzman yeterli sayıda personel bulunması için eğitime önem verilmesi gerekmektedir.

4. KAYNAKLAR

- Akpınar, K. 2006. Jeotermal Enerji ve İller Bankası Uygulamaları. İTÜ Petrol ve Gaz Bölümü, İstanbul.
- Akpınar, K. 2006. Türkiyede Jeotermal Enerji Konusunda Yaşanılan Sorunlar ve Yeni Bir Jeotermal Enerji Yasası Neleri İçermelidir. Sondaj Dünyası Dergisi, Sayı 2.
- Dünya Jeotermal Kongresi Bildiriler CD'si (28 Mayıs-10 Haziran 2000 / Japonya)
- İller Bankası tarafından düzenlenen "Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu" Bildiriler Kitabı. (20-22 Kasım 2000)
- İller Bankası tarafından düzenlenen Mahalli İdareler Eğitim ve İstişare onuncu Toplantısı Jeotermal Enerji Ve Uygulamaları Bildirisi (5 – 7 Mayıs 2006)
- Makine Mühendisleri Odası Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri ve Tasarımı Seminer Kitabı. (MMO Yayın No: 2001/270)
- İller Bankası Makina ve Sondaj Dairesi Başkanlığı tarafından düzenlenen "İçme suyu Sondajları Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Semineri" Bildiriler CD'si, Ankara.
- Dünya Jeotermal Kongresi Bildiriler CD'si (24-29 Nisan 2005 / Antalya)

UŞAK-BANAZ JEOTERMAL ALANININ JEOELEKTRİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

THE EXPLORATION OF UŞAK-BANAZ GEOTHERMAL AREA BY GEOELECTRICAL METHODS

TÜRKER, A. E^{1.}, KEÇELİ, D.A., KAYA, M. A^{2.} ve KAMACI, Z^{3.}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyonkarahisar
erturker@gmail.com

²Ç.O.M.Ü. Mühendislik Fakültesi, Çanakkale

³S.D.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET

Uşak-Banaz jeotermal alanının yaklaşık 10km²'lik bir bölümünde sıcak su hazne kayacını saptamak amacıyla jeoelektrik yöntemlerden özdirenç (resistivity), etkisel kutuplaşma (IP, induced polarization) ve doğal gerilim (SP , self potential) uygulanmıştır.

İnceleme alanı çeşitli kalınlıklarda, 600 metre derinliklere kadar kıltaşı-çakıltası ve kireçtaşı ardalınması gösterdiği için geleneksel özdirenç yöntemi ile elde edilemeyen belirtiler, ancak uygun frekanslar kullanılarak IP yöntemi ile saptanabilmiştir. Bu belirtilerden geliştirilen yatay seviye ve düşey kesit jeoelektrik haritalarında, söz konusu alanın yapısal durumu ve stratigrafisi aydınlatılabildiği gibi, 150 m ve 600 m gibi farklı iki derinlikte iki hazne bulunmuştur. Sıcak su alabilecek iki ayrı yer ve bir maden suyu bölgesi saptanmıştır. Bu bulgulara göre birinci derecede önemli noktada mekanik sondajla 140 m derinlikte 55°C de 15 lt/s'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uşak, Banaz, jeotermal, jeoelektrik.

ABSTRACT

In order to determine a reservoir, some geoelectrical methods, such as resistivity, induced polarization and self potential have been applied for the Uşak-Banaz geothermal area covering 10 km² area.

In this application, anomalies, which have not been detected by conventional resistivity method, could be obtained just by IP method using suitable frequency because geological stratification has the repetition of claystone, pebblestone and limestone with various

thickness up to 600 meters depths. Structure and stratigraphy of the mentioned area have been revealed and also the two reservoirs have been identified from the horizontal and vertical geoelectric maps. The hot water in 55°C and of 15 lt/s has been obtained from the proposed drill having an artesian of 15 meters.

Key Words: Uşak, Banaz, geothermal, geoelectric.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, jeotermal alanların jeofizik araştırmaları, özellikle elektrik yöntemlerle, dünyanın birçok yerinde yapılmaktadır. İtalya'da Larderello (Breusse ve Mathier 1956) ve Monte Amiata yakınında Montre Labbro ve San Filippo'da (Alfano 1951) Schlumberger elektrik sondajları yapılmıştır. Bu çalışmalarda düşük özdirençli örtü kayası ve altındaki yüksek özdirençli hazne kayası için özdirenç haritaları düzenlenmiştir. Haritaların yorumlanması ile kireçtaşı hazne kayasındaki faylar N ve doğal buhar zonları büyük bir yakınlıkla bulunmuştur. Yeni Zellenda'da Tampo volkanik zonunda jeotermal alanların sınırı Wenner elektrik sondajlarından yararlanılarak çizilmiştir. Taiwan'da Heng (1970) ve Türkiye'de Tezcan (1971) ve Demirören (1971) Schlumberger sondajlarından yararlanarak jeotermal alanlar haritalanmıştır. Zohdy (1978) Mud Volcano jeotermal alanında özdirenç, doğal gerilim (SP) ve etkisel kutuplaşma (IP) yardımı ile buhar zonunu belirlemiştir.

Jeotermal sistem genelde iki tip olarak görülür. Bunlar sıcak su sistemi ve buharın hakim olduğu sistemdir. Geysers, Kaliforniya; Larderello, İtalya; Mud Volcano, Yellowstone National Park, Amerika ve Buharkent, Denizli, buharın hakim olduğu sistemlere örnektir. Jeokimyasal olarak, buharın hakim olduğu yakın kuyu ve kaynaklardan alınan örnekler sülfat anyonlarının yüksek konsantrasyonu ve kloritin alçak konsantrasyonu (<20 ppm) ile karakterize edilir. Sülfatı zengin kaynak sularının pH değeri düşüktür. Sülfatın yerini sodyum bikarbonatın aldığı kaynak suları oldukça azdır. Uşak-Hamamboğazı'ndaki sıcak sular sodyum bikarbonat sularıdır. Ayrıca bu sıcak sular, olağan klorürlü ve hiper karbonatlı sulardır.

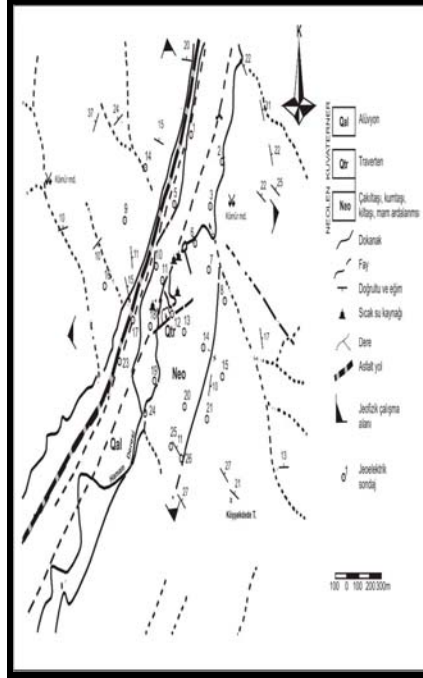
Doğal gerilim ölçüleri 10 doğrultu boyunca hem gradiyent hem de potansiyel yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Böylece ölçümlerin doğruluğunun sürekli kontrol altında tutulması da sağlanmıştır.

Düşey elektrik sondajları en büyük açılımda AB = 2000 m olacak şekilde 27 noktada yapılmıştır. Ayrıca olası fayları izlemek için dört doğrultu boyunca ölçü alınmıştır. Arazi çalışmalarında elde edilen düşey elektrik sondaj eğrileri Schlumberger iki tabaka ve yardımcı nokta abakları kullanılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra bu değerlendirmelere göre elde edilen kuramsal çok tabaka eğrileri ile arazi eğrileri karşılaştırılarak değerlendirmeler doğrulanmıştır. Bilgisayar değerlendirmelerinden çok sayıda tabaka elde edilmiş olduğundan bu yol yeğlenmiştir. Daha sonra amaca uygun olarak çeşitli derinliklerde eş özdirenç haritaları ve değişik doğrultularda jeoelektrik kesitler düzenlenmiştir.

Doğal gerilim (SP) haritasının yanında etkisel kutuplaşma (IP) ve IP faz farkı profil ölçülerinin çeşitli derinlikler için grafikleri ve haritaları hazırlanmıştır. IP yöntemi, özdirenç gibi fiziksel parametreye ek olarak, aynı zamanda jeotermal alanın jeokimyasal parametrelerinden de etkilendiği için yeraltı hakkında bilgi toplayabilen ve bu nedenle özdirenç yöntemi ile birlikte kullanıldığı zaman yeraltını en iyi aydınlatabilen bir jeofizik arama yöntemidir. Çok frekanslı IP yöntemi yeraltını nicel ve nitel olarak aydınlattığı için diğer arama yöntemlerine göre ek bir üstünlüğü vardır. Bu nedenle, çok frekanslı IP yöntemine ilgi artmaktadır. Özdirenç ve IP yöntemi birlikte uygulanırsa sıcak suların saptanmasında en etkin bir arama yöntemi olmaktadır.

2. JEOLJİ

Bölgenin jeolojisi ile ilgili çalışma yapan Taşdelen'e (1987) göre; en yaşlı kayalar, gnays, çeşitli şist ve mermer şeklindeki Paleozoyik metamorfittelerdir (Şekil 1). Bunun üzerinde Mesozoyik dolomitik kireçtaşları ile ultramafikler yer alır. Ultramafikler yersel olarak kireçtaşı bloklarını ve şistleri içeren bir karmaşıktır. Bunun üzerine Miyosen'in monojenik çakıltası gelir. Ultramafik kaya parçalarından yapılmış monojenik çakıltası iyi çimentolanmıştır. Miyosen, çakıltası - kumtaşı - çamurtaşı - kıltaşı - tuf - killi kireçtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Tuf içeren çakıltası ve kumtaşları yanal olarak andezit, traki andezit, lav, tuf ve aglomeralara geçişlidir. Miyosende alüvyonlar ve traverten oluşmuştur. Travertenler kalın bantlar halinde boşluklu ve kırıklıdır.



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Taşdelen, 1987).

Bölgede temeli oluşturan gnays ve şistler sık sık kıvrımlı, genel olarak kıvrım eksenleri E-W doğrultuludur. Miyosenin çakıltası - kumtaşı - kiltası birikimi Hamamboğazı kaplıcası civarında geniş dalgalı kıvrımlıdır. Sıcak su kaynaklarının yüzeye çıkışına neden olan çatlak ve kırıklar Hamamboğazı yöresinde yoğundur (Şekil 1).

3. EKONOMİK JEOLJİ

Jeotermal enerji yer kabuğunun derinliklerindeki yüksek ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal yollar ile veya mekanik sondajlarla sıcak su ve buhar şeklinde ulaşır. Jeotermal alanlar dünyanın oluşumundan beri yaygın yerin iç ısısını, taşıma maddesi olarak meteorik orijinli suları kullanmakta olan alanlardır. Jeotermal enerji yenilenebilir bir enerji türü olduğundan giderek çok önem kazanmaktadır. Jeotermal enerjinin hammaddesi yerin iç ısısı ile ısıtılmış sıcak su ve buhardır. Bu enerji hazne kayacın sıcaklığına bağlı olarak; kuru buhar, basınçlı sıcak su (buhar + sıcak su karışımı 100° nin üstünde) ve sıcak su (100° nin altında) şeklinde elde edilir.

Bir alanın jeotermal enerji üretim alanı olabilmesi için şu dört ana unsuru barındırması gerekmektedir. Bunlar sahadaki özdeyişleriyle birlikte şöyledir:

Hazne kaya, jeotermal alanlarda gözenek ve geçirgenliği olan yanal olarak sürekli, belli kalınlıklardaki kayalardır. Kalınlık ısıtıcıya bağlı olarak değişebilir. İnceleme alanında temeli oluşturan gnaysların yanal olarak sürekli ve kalın oluşu, bunun üstünde yer alan mermerlerle birlikte birinci hazne kayaya olanak verebilir. Yüzeye daha yakın olan monojenik çakıltası ise ikinci hazne kayayı oluşturabilir .

Örtü kaya, bir jeotermal alanda ısı iletkenliği düşük olan minimum gözenek ve geçirgenlikteki jeolojik birimlerdir. İnceleme alanında örtü kaya olabilecek litolojik birimler, birinci hazne kayayı örten şistler ve ikinci hazne kayayı örten Miyosen çökelleridir.

Bölgede çok kırıklı ve faylı bir yapının oluşu ve çalışma alanında sıcak su kaynaklarının bulunması, derinde bir ısıtıcının varlığını gösterir. Hazne kayadaki su bütünlemesi kırıklar ve faylar yardımıyla olmaktadır. Bölgenin aldığı yağış miktan jeotermal alanın beslenme olanakları için yeterlidir.

4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bilindiği gibi, elektrik akımını iyi ileten ortamların özdirenç değerlerinin büyük olacağı doğaldır. Genel olarak birçok arazide yapılan ölçü değerleri sonucu sıcak su ortamının özdirençinin soğuk su ortamına göre daha küçük olduğu gözlenmiştir. Sıcak su ve buhar içeren birimler ortamlarını iyi bir elektrolit haline getireceklerinden, etraflarındaki ortamlara göre genellikle küçük özdirençle sahip olarak farklılık gösterecektir. Eş özdirenç haritalarını ve kesitlerini jeotermal enerji açısından incelerken etrafına göre, bu küçük özdirenç değerlerine sahip ortam farklılaşmalarını baz olarak kabul etmek gerekir.

Ana yöntem elektrik özdirenç yöntemidir. Bunun yanında etkisel kutuplaşma (IP), faz farkı ölçüleri ve doğal gerilim (SP) ölçüleri kullanılır. Schlumberger dizilimiyle AB = 2000 m ye varan elektrod açıklığı ile alınan özdirenç ölçülerinde IP ve faz farkı da ölçülmüştür. Ayrıca jeotermal enerji açısından önemli olabilecek faylar iki doğrultuda 100 ile 300 m derinliklere karşı gelen Wenner sabit elektrot açılımıyla ve yine elektrik özdirenç ile birlikte IP ve faz farkı ölçüleri alınarak araştırılmıştır. Sıcak suların bulunduğu yerlerde piritleşmelerden ve fayların civarında alterasyondan dolayı IP değerleri ve faz farkı büyük olmaktadır.

Sıcak suların çıktığı yerleri saptamak amacıyla doğal gerilim (SP) ölçüleri alınmıştır (Şekil 2). Yöntemin gereği olarak sıcak suların çıktığı yerlerde SP ölçü değerleri artı ve soğuyarak aşağıya dönüş yapan yerlerde eksi değerlere ulaşacaktır. Ancak sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerde örtü katmanlarının kalın ve kıltaşı araldanması şeklinde oluşu kaynak sızıntılarını zayıflatmış ve bunun sonucunda SP küçük değerler almıştır. Hatta örtü tabakası olan alüvyon ortamında kimyasal özelliklerin heterojenitesi nedeniyle konsantrasyon farklılıkları küçük artı SP değerlerini eksileştirmiştir. Buna rağmen SP potansiyel ve gradiyent haritalarının her ikisi de sıcak su kaynaklarının etrafında dikkate değer kapanmalar vermişlerdir. Bu kapanmalar sıcak su haznesi üzerinde karakteristik belirtiler oluşturmuşlardır.

Jeoelektrik sondajlar, IP ve faz farkı ölçüleri Zonge Engineering and ReSearch Organization firmasının GDP-12 model alıcısı ve 6,6 kw Iık vericisi ile alınmıştır.

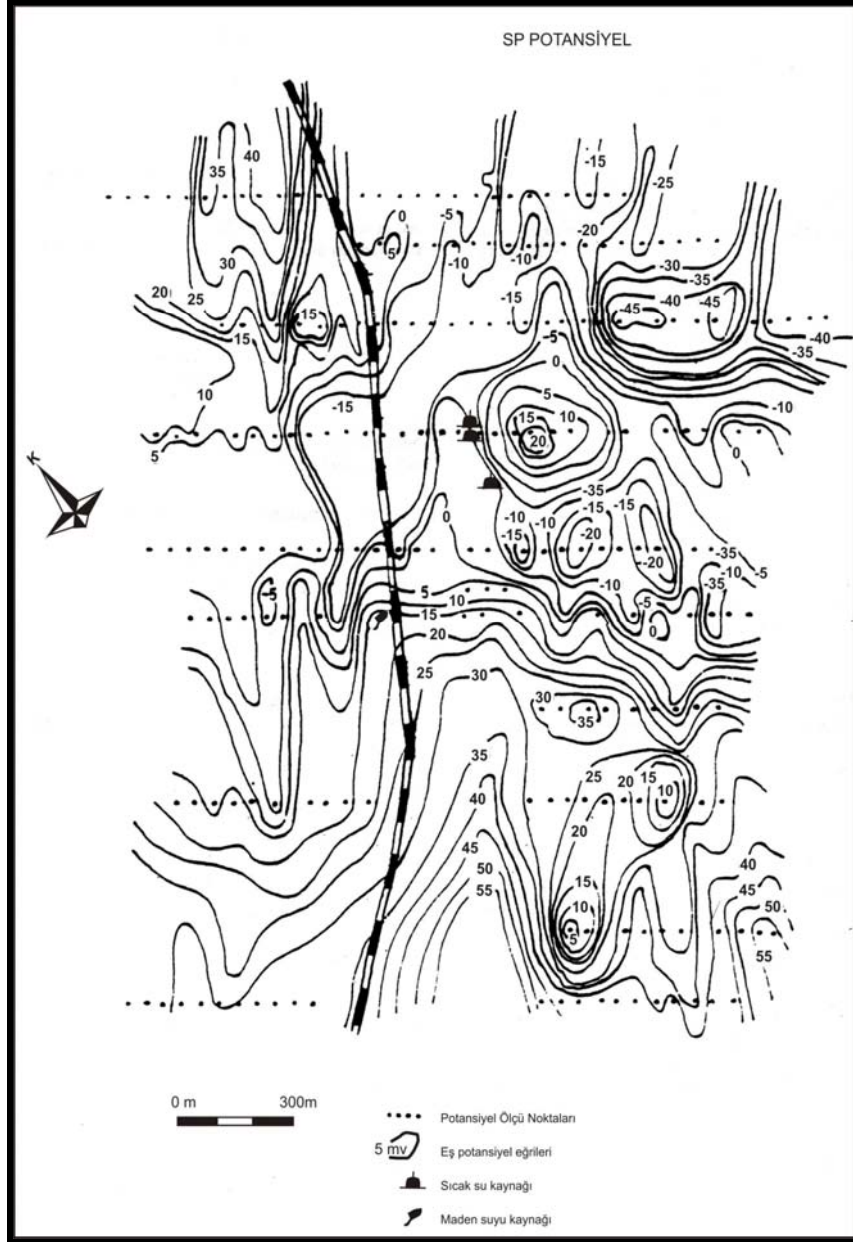
5. GÖRÜNÜR ÖZDİRENÇ VE JEOELEKTRİK YAPI KESİTLERİNİN YORUMU

Bulduru haritasında görülen jeoelektrik sondajlardan düzenlenen görünür özdirenç ve elektrik yapı kesitleri incelenirse 4 katman ile karşılaşılır.

En altta bir numara ile gösterilen yüksek özdirençli katman gnays, mermer veya dolomitik kireçtaşı olabilir. Şekil3'te bu duruma göre gösterilen düşük özdirençli katman büyük bir olasılıkla şisttir. Bunun üzerinde 3 numaralı, yüksek özdirençli çakıltaşı yer almaktadır. En üstte ise 4 numaralı katman içerisinde birçok katman ayrılabilir. Bu araldanmalı katmanlara işaret eder. 4 numaralı katman, çakıltaşı - kumtaşı - çamurtaşı - tüfit araldanmasıdır. Daha ince olan alüvyon ve travertenler 4 numaralı katmanın üzerinde bulunmaktadır.

1 numaralı katman birinci hazne kaya ve 3 numaralı katman ikinci hazne kaya olarak düşünülmektedir. 2 ve 4 numaralı katmanlar örtü kayalarıdır. Şekil 4'te çizilen görünür özdirenç ve elektrik yapı kesitleri incelendiğinde üstteki kesit yüzeyden derine doğru temel kayaya kadar görünür özdirenç dağılımını gösterir. Alttaki kesit (Şekil3b) ise düşey elektrik sondajlarının değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. Bu kesitlerden birinci ve ikinci hazne kaya ile örtü kayalar ve temel kayaya kadar inen faylar görülmektedir. Çatlak ve kırık sistemlerinin temel kaya ile ilişkide olması sonucu Hamamboğazı sıcak

su kaynakları yüzeye çıkabilmektedir. Bu durum ayrıca temel kayanın jeotermal akışkanı içeren hazne kaya olduğunun kanıtıdır.



Şekil 2. SP Potansiyel haritası.

5.1. Yapısal durum

Yüzeysel gözlemlere dayanarak, kuzeydoğu - güneybatı ve kuzeybatı - güneydoğu yönlü bazı fayların bulunabileceği kanısına varılmıştır. Wenner elektrot dizilimi ile 100 m ve 300 m derinliklerde görünür öz direnç ve IP profil ölçüleri alınarak fayların varlığı araştırılmıştır. Bu jeoelektrik araştırmaya göre:

- 1) Banaz-Afyon karayolu üzerinde kuzeydoğu - güneybatı yönlü bir fayın,
- 2) Hamamboğazı sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerde travertenlerin eteğinden geçen kuzeydoğu - güneybatı yönlü ana bir fayın,
- 3) Ana fayı 10° lik bir açı ile kesen ikincil bir fayın,
- 4) Yine kuzeydoğu - güneybatı yönlü ve ana faydan 150 m ötede diğer bir fayın,
- 5) Bu fayları kuzeybatı - güneydoğu yönünde kesen ayrıca iki fayın varlığı, hem öz direnç profil ölçülerinden ve hem de SP ölçülerinden ortaya çıkarılmıştır. Böylece Hamamboğazı yöresinin yapısal olarak graben niteliği taşımakta olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2. Görünür öz direnç haritalarının yorumu

Yer içindeki sular yer ısısının yüksek olduğu yerlerde doğal olarak ısınarak gözenek basıncını ve eriyik yoğunluğunu artırır. Bunun sonucunda çevreye göre basınç, sıcaklık ve iletkenlik farklılığı olan zonlar oluşur. Bu zonalardaki sıcak akışkanlar çatlak ve kırık sistemleri ile yeryüzüne taşınırlar. Öz direnç aynı birimler içinde çevreye göre oldukça düşük ölçülürse sıcak ve iletken birimleri, yüksek olarak ölçülen öz direnç ise soğuk ve iletken olmayan ya da az olan birimleri işaret eder.

Şekil 4 ve 5'te jeoelektrik verilerin sonucu çizilen görünür öz direnç haritaları incelenebilir. $AB/2 = (100 - 200 - 250 - 300 - 400 - 500 \text{ ve } 600 \text{ m})$ derinliklerdeki bu eş görünür öz direnç eğrilerinin dağılımına dikkat edilirse 3, 11 - 12, 17 - 18 numaralı jeoelektrik sondajlarını çevreleyen kısımlarda düşük öz dirençli eğrilere rastlanır. Alanın diğer bölümleri yüksek değerli eğrilerle sınırlanmaktadır. Bu yüksek değerler temel kaya yükseltilerine işaret etmektedir.

Düşük öz direnç değerleri taşıyan eğriler sıcak ve iletken yani sıcak su taşıyan zonların belirtileridir.

5.3. Doğal gerilim (SP) harita ve kesitlerin yorumu

Doğal gerilim haritasına bakılırsa Şekil 2'de eksi ve artı belirtilerinin varlığı dikkati çekmektedir. Artı SP değerleri sıcak suyun çıkışını ve eksi SP değerleri soğuyan sıcak suyun aşağıya doğru dönüşünü belirtmektedir. Ölçü değerlerindeki güneybatı-kuzeydoğu yönüne göre sırasıyla artı ve eksi değerlerin devam etmesi ölçü alanının vadi şeklinde oluşu nedeniyle civarda sağlıklı bir baz noktasının seçilemeyeşi ile ilgilidir. Ancak bu tür ölçülerde önemli olan, eksi veya eksiden artıya yön değiştiren noktaların bulunmasıdır. Bu özelliğin Hamamboğazı yöresine karşı geldiği gözlenmektedir.

5.4. Etkisel Kutuplaşma (IP) ve Faz Farkı Belirtilerinin Yorumu

Sıcak sulann çıktığı çatlak ve kırık sistemlerinin bulunduğu yerlerde IP (Şekil 6, 7) ve faz farkının büyük oluşu ve ayrıca bu yerlerin SP ölçüleri ile görünür özdirenç harita ve kesitlerine uygun düşmesi, sorunun çözülebildiği izlenimini vermektedir.

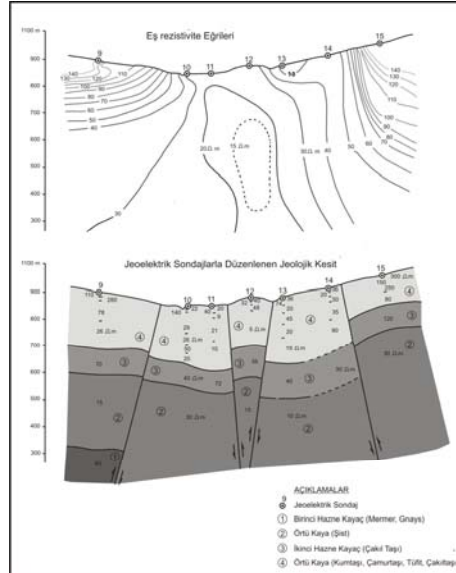
5.5. 9 ile 15 Numaralı Jeoelektrik Sondajları Arasında Görünür Özdirençin, SP, IP ve Faz Farkının Yanal Değişimi ve Yorumu

Şekil 8'de 9 ile 15 numaralı ölçü noktaları arasında görünür özdirenç, SP, IP ve faz farkının yanar değişimlerinin grafikleri düzenlenmiştir. Görünür özdirenç, IP ve faz farkı için $AB/2 = 100$ m ve $AB/2 = 200$ m elektrod aralığındaki ölçüler kullanılmıştır. IP ölçüleri (0,25) ve (4) Hz frekanslar için alınmış ve PFE değeri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

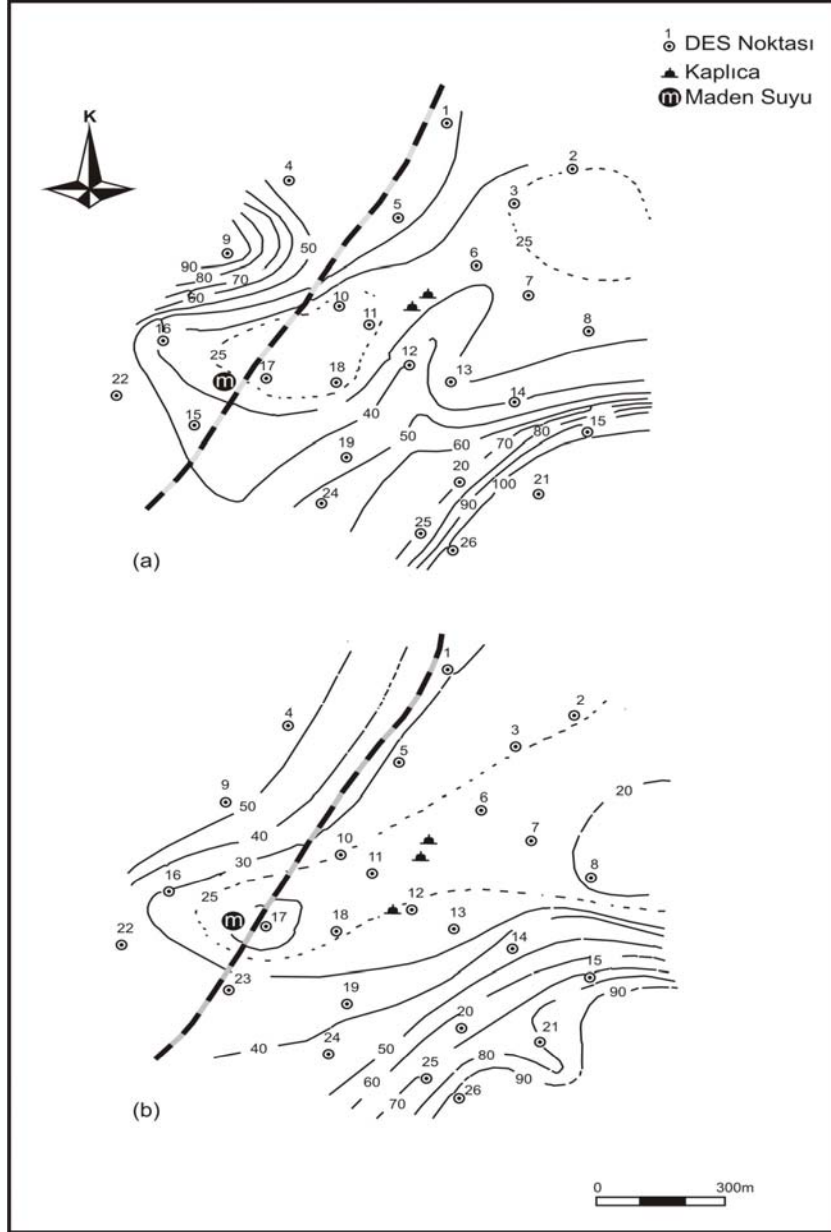
$$PFE = \frac{\rho_{0.25} - \rho_4}{\rho_{0.25}} \times 100$$

Görünür özdirençin yanar değişimindeki düşük değeler jeotermal alanın merkezi üzerinde ölçülmüştür. Jeotermal alanın kenarlarında görünür özdirenç değeri yüksektir. Düşük elektrik özdirençli zonlar yukarıya çıkan sıcak suların neden olduğu alterasyon zonlarını işaret eder.

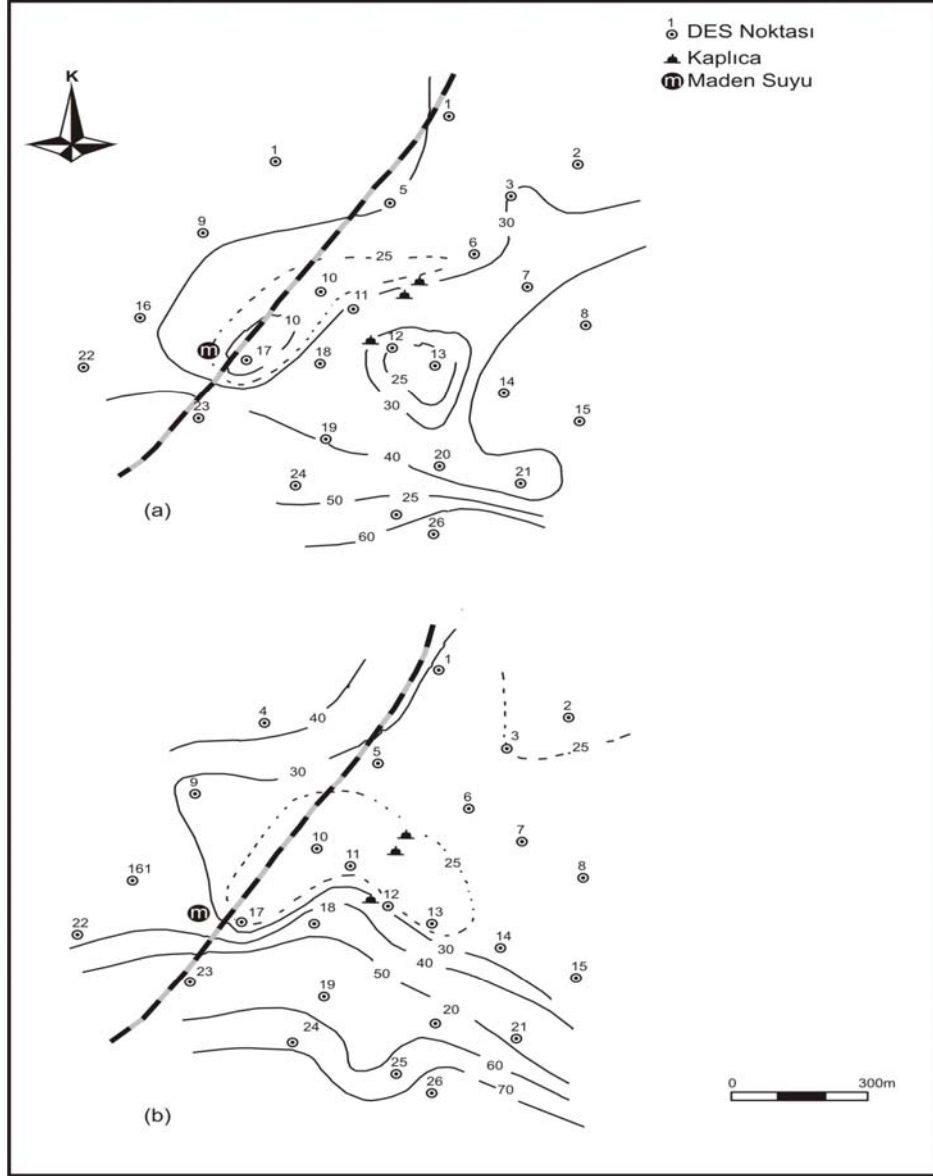
SP ölçüleri, jeotermal alanın üzerinde artı belirtiler verir. Belirtinin genliği küçüktür ve elektrik gerilimin değişiminden oluşur. SP belirtisi sıcak su zonunun üzerindedir ve suyun yukarıya doğru hareket ettiği yerlerde oluşmaktadır.



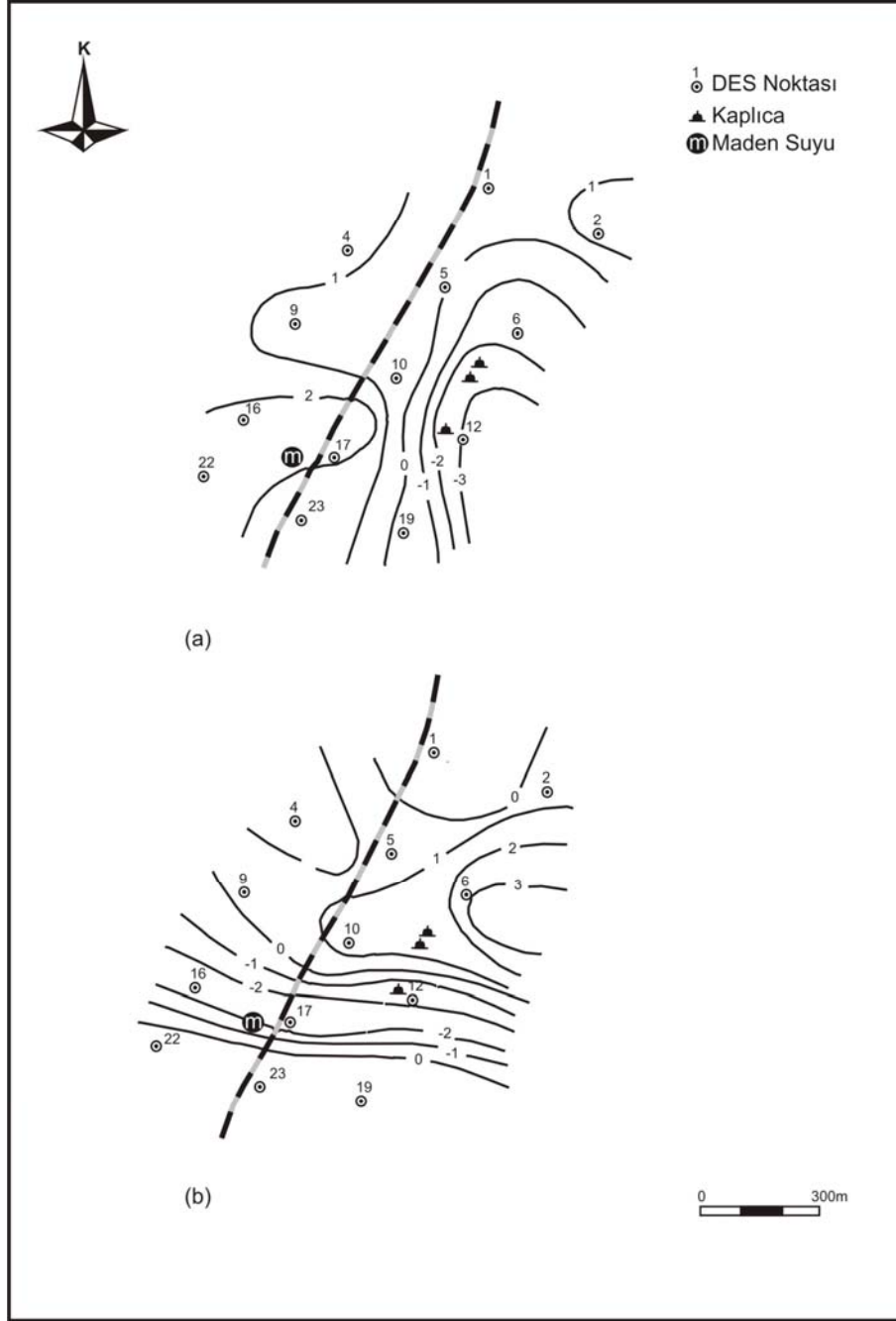
Şekil 3. Eş özdirenç eğrileri ve jeoelektrik ölçülerden düzenlenmiş jeolojik kesit.



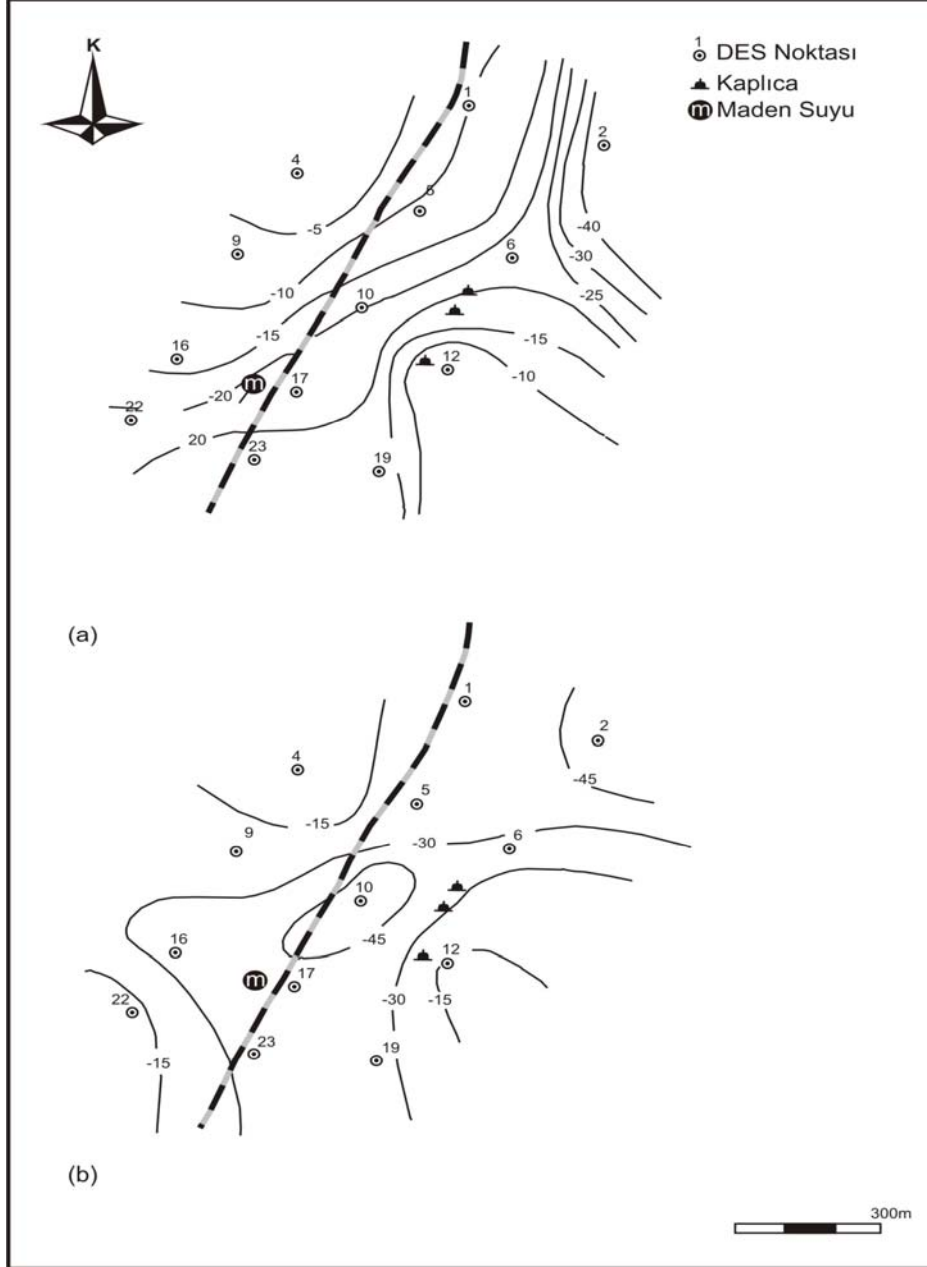
Şekil 4. (a) $AB/2=100$ m için görünür özdirenc haritası, (b) $AB/2=200$ m için görünür özdirenc haritası



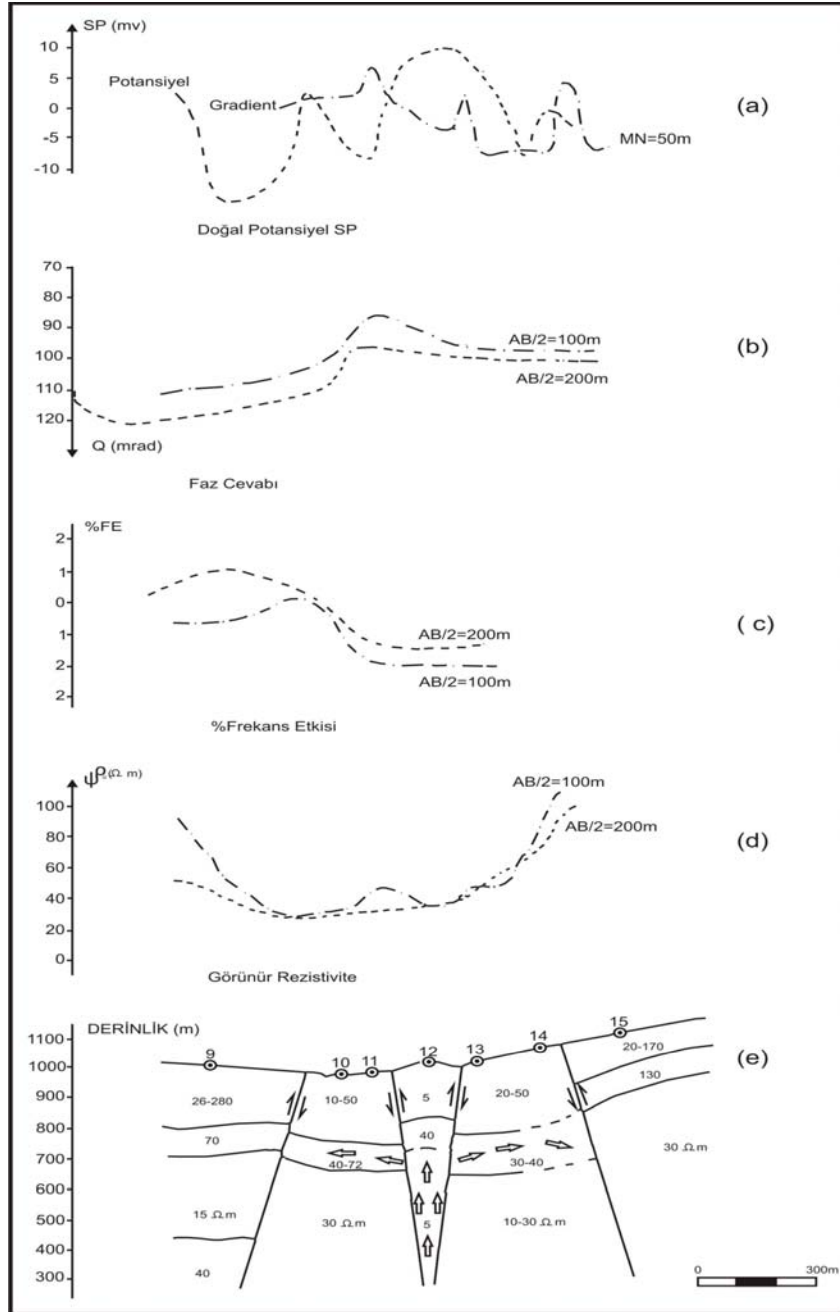
Şekil 5. (a) $AB/2=500$ m için görünür özdirenc haritası, (b) $AB/2=600$ m için görünür özdirenc haritası



Şekil 6. (a) $AB/2=100$ m için % FE eğrileri, (b) $AB/2=200$ m için % FE eğrileri



Şekil 7. (a) $AB/2=500$ m için % FE eğrileri, (b) $AB/2=600$ m için % FE eğrileri



Şekil 8. (a) SP, (b) faz farkı, (c) IP, (d) yanal görünür öz direnç ve (e) jeoelektrik ölçülerden düzenlenen jeolojik kesit

Düşük SP değerleri ise jeotermal alanın kenarlarında suyun aşağıya doğru hareket ettiği yerlere karşı gelmektedir. SP belirtisi izlenerek jeotermal alanın sınırları belirlenebilir. Sıcak sular büyük bir olasılıkla yüzeye yakın yerlerde yatay hareket eder ve öz direncin düşük olduğu yerler daha geçirgen alterasyon zonlarıdır. Düşük öz dirençli zonlarda düşük SP değerleri suyun aşağıya doğru hareketini belirtir.

IP profilinde yüksek IP değerleri kil ve pirit nedeniyle oluşabilir. Sıcak suların hareketi sonucunda depolanan saçılmış pirit büyük bir olasılıkla etkisel kutuplaşmayı artırmaktadır.

Faz farkı profiline baktığımızda jeotermal alanın merkezinde belirtiler görülmektedir.

Görünür öz direncin yanal değişimi, SP , IP ve faz farkı profilleri birlikte dikkate alınca verilebilecek mekanik sondajın yeri kolaylıkla belli olmaktadır.

6. GENEL YORUM

Tüm harita ve kesitlerle birlikte öz direnç, SP , IP ve faz farkı çalışmaları göz önüne alındığında, belirtilerin ve yörede görülen sıcak su kaynaklarının fayların kesim bölgelerinde olduğu görülmektedir. Bu kesimlerde artı SP değerlerinin düşük ve yüksek görünür öz dirençli eğrilerin arasında yer alışı sıcak suyun bulunduğu bölgeyi daha iyi belirlemektedir. Şekil 2, 4 ve 5 incelendiğinde iki seviyede sıcak su haznesi saptanmıştır. Birinci sıcak su haznesi 600 m derinde, ikinci sıcak su haznesi ise 200 m derinde yer almaktadır.

Bu durumda önem derecesine göre aşağıda sıralanan 3 noktada sondaj yapılabileceği anlaşılmaktadır.

1) Eş öz direnç haritalarında en düşük öz dirençli bölge 12 numaralı jeoelektrik sondajı civarındadır. Ayrıca AB/2 = 300 ve 400 m için eş öz direnç haritalarında 11 numaralı jeoelektrik sondajı da düşük öz dirençli zonu kapsamaktadır. 11 ve 12 numaralı jeoelektrik sondajları civarında SP değerleri geniş bir alanda sıfır civarında bir dönüm noktasına sahiptir. Dolayısıyla 11 ve 12 numaralı jeoelektrik sondajlarının arasında ve aradaki olası fayı kesecek biçimde bir mekanik sondajın uygun olacağı düşünülmüştür.

2) Görünür öz direnç haritalarında 17 numaralı jeoelektrik sondajı civarında düşük öz dirençli bir zon yer almaktadır. Ayrıca burada SP artı değerdedir. Diğer bölgelerden farklı olarak, özellikle bu bölgede, soğuyan sıcak suyun mineralce daha zengin olan sızıntılarının ortamda yarattıkları kimyasal özellik nedeniyle IP ve faz farkı değerleri büyüktür. Bu özellik sıcak su haznelerinin metalik mineral içeriği açısından en zengin olduğu kesimi belirtmektedir. 16 ve 17 numaralı jeoelektrik sondajları arasında olası fayı kesecek biçimde bir mekanik sondajın uygun olacağı düşünülmüştür.

3) 6 numaralı jeoelektrik sondajının civarında SP artı değerdedir. Görünür özdirenç değerleri de düşüktür. Burada açılacak mekanik sondajdan sıcak su alınabileceği düşünülmüştür.

Bu saptamalardan sonra birinci derecede önemli olan yerde açılan mekanik sondaj ile 140 m derinlikte 55°C de 15 lt/s'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

7. SONUÇLAR

Uşak ili Banaz ilçesi Harnamboğazı jeotermal alanında görünür özdirenç, SP, IP ve faz farkı yöntemleri ile yapılan incelemelere göre;

1) Şekil 3 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi yapısal durum ve faylanma özellikleri aydınlatılmıştır.

2) İki seviyede sıcak su haznesi saptanmış, bunlardan birincisi 600 m derinde ve ikincisi 200 m derinde yer almaktadır.

3) Daha sığ derinlikte bulunan sıcak su haznesini yakalayabilmek için öncelikle 12 numaralı jeoelektrik sondajının civarında mekanik sondaj yapılmıştır. Bu mekanik sondaj ile 140 m derinlikte 55°C de 15 lt/s'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

Bütün bu çalışmalar, görünür özdirenç, doğal gerilim (SP), etkisel kutuplaşma (IP) ve faz farkı karşılaştırılması ile sıcak su aramalarının daha sağlıklı, hızlı ve çok ucuza başarılı bir biçimde yapılabileceğini ve gereksiz yatırımlardan kaçınılabileceğini ortaya koymuştur.

8. KAYNAKLAR

- Demirören, M. 1971, Çanakkale - Ayvacık - Tuzla Jeotennik Enerji Sahası Resistivite Etüdü. 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu - Ankara.
- Fournier, O.R. 1977, The use of Mixing Models in the Prediction of Underground Conditions in Geothermal System, Symposium on Geothermal Energy in Ankara.
- Şahin, H. 1981, Jeotermal Sahalarda Jeoelektrik Yönteminin Uygulanması. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, EİE Yayını, Ankara
- Şimşek, Ş. 1981, Ömerbeyli - Germencik Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, EİE Yayını, Ankara.
- Taşdelen, S. 1987, Uşak - Banaz - Hamamboğazı Jeotermal Alanının ve Dolaylarının Jeolojik Araştırması. Y. Lisans Tezi - Isparta.
- Tezcan, A.K. 1971, Sarayköy - Kızıldere Jeotermal Enerji Sahasında Kuru Buhar Üretme İmkânı. Türkiye 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu, Ankara.
- Zohdy, A.A.R. 1978, Total - field resistivity mapping and sounding over horizontally layered media (bipole - dipole geothermal) Geophysics 43, 748 -766.

JEOTERMALDE AÇILIM: KIZGIN KURU KAYA ÇALIŞMALARI PROJESİ

HOT DRY ROCK PROJECT: A NEW CONCEPT IN GEOTHERMAL

DAĞISTAN, H.¹

¹MTA Genel Müdürlüğü Enerji Dairesi Başkanlığı ANKARA
hayrullah@mta.gov.tr

ÖZET

Dünyada ticari öneme sahip ve insanlığın enerji ihtiyacını önemli ölçüde gideren fosil yakıtların giderek azalması ve bu önemlerini yitirecek olması nedeniyle ülkeler, alternatif enerji kaynakları arayışı içerisine girmiştir. Bu kaynaklar içerisinde başlıcaları; güneş, rüzgar, jeotermal, vs gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Çünkü gelecek yüzyılda ülkelerin baş başa kalacakları tek enerji kaynakları olup, stratejik öneme sahip olacaktır. Bunlardan Jeotermal kaynaklar açısından ülkemiz magmatik faaliyetlerin bolluğu, aktif tektonik kırıkların yer alması gibi nedenlerle zengin konumdadır. Bilindiği üzere ısı, enerjinin bir formu olup, Jeotermal enerji ise kaynağını yer küremizin çekirdeğinden sağlamaktadır. Diğer bir deyişle ısı kabuk içerisine yer kürenin dış çekirdeğindeki manto katmanından kaynaklanmakta ve akışkan ve gazlar vasıtasıyla kabuk içerisine zayıf zonlardan taşınarak değişik formasyonlar içerisine depolanmasıyla oluşmaktadır. Bu taşınma işlemi ise ya konvektif yolla, ya da kondüktif olarak olmaktadır. Ülkemizde Jeotermal kaynak aramaları MTA tarafından 1962 yılında başlatılarak günümüze kadar devam ettirilmiş ve 186 adet Jeotermal alanın varlığı tespit edilmiştir. Bu alanlar, daha çok ülkemiz yerkabuğunun üst kotlarına taşıyıcı unsurlar vasıtasıyla taşınarak yeterli gözenek ve geçirgenlik içeren jeolojik formasyonlar içerisine depolanmış ısıya sahip Jeotermal sistemlerden oluşmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü, bilinen bu Jeotermal sistemler ile ilgili daha derin olanlarını araştırmaya devam ederken, bunun yanında gelecek on yıllarda ihtiyaç duyulabilecek ülkemiz yerkabuğunun daha derin kısımlarında yüksek sıcaklık içeren ancak yeterli gözenek ve geçirgenliğe sahip olmayan kızgın kayaların bulunduğu alanların tespitini yaparak, onların fiziksel ve kimyasal parametrelerini belirleyip, bunlarla ilgili haritalama ve envanter çalışmasını yapmayı 2009 yılından itibaren planlamaktadır. Bu tür çalışmalar, dünyada ABD, Japonya, Avustralya, Almanya, Fransa, İngiltere gibi ülkelerde yürütülmüştür. Bu tip çalışmalar incelendiğinde, ilk zamanlar 2000 metreler civarı derinliklerde yüksek sıcaklıklı alanlara yönelik kuyular açılmış ve bu kuyular vasıtasıyla derindeki kızgın kayada patlatma yapılarak çatlak sistemleri oluşturulmuş ve taşıyıcı unsur olarak su kullanılmaya çalışılmıştır. Açılan diğer bir kuyudan oluşturulan rezervuara belli bir debide basılan su üretilmeye çalışılmış ve

eşanjör sistemi vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Örneğin Bu konuda ABD'de Fenton Hill bölgesinde yapılan çalışmada başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ülkemiz yer kabuğunun jeolojik yapısı ve ısı akışı haritaları ile bugüne kadar yapılmış Jeotermal enerji çalışmaları incelendiğinde yüksek sıcaklıklı kızgın kayaların olabileceği potansiyel alanların varlığı görülmektedir. Bu çalışmalar için başlıca genç volkanik alanlar ile kabuğun incelendiği ve eski levha dokanalarının keşiştiği alanlar hedef alanlar olarak seçilebilir. Örneğin Nemrut volkanizması alanı, Alaşehir Kavaklıdere Bölgesi, Kızılcahamam Bölgesi, Nevşehir Acıgöl, Aksaray, Konya Ilgın ve Çanakkale gibi yerler ilk etapta ele alınacak yerlerdir. Bu çalışmalarda 2500-3000 metrelerin altındaki derinliklerde yer alan yüksek sıcaklık içeren provensler belirlenerek, bu derinlerdeki kızgın kayaların ısı iletkenliği, kayacın fiziksel ve kimyasal özelliği vs gibi parametreler de ortaya çıkarılarak ısının elde edilmesine yönelik fizibiliteye esas bilgiler üretilerek, rapor halinde yatırımcılara sunulacaktır. Günümüz teknolojileriyle taşıyıcı unsur olarak sadece su değil, gaz ve diğer akışkanların kullanımının da mümkün olması nedeniyle ticari anlamda enerji üretimi yapılacaktır. Bu çalışmanın diğer bir faydası ise, açılacak derin kuyular aracılığıyla o bölgenin jeolojik yapısını çözmeye yarayacak stratigrafi bilgileri, derinde yer alan metalik, endüstriyel hammaddeler ile diğer enerji hammaddelerine ilişkin bilgiler elde edilerek ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşarak, ülkemiz madenciliği ve yer bilimleri çalışmalarına büyük katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kızgın kuru kaya, jeotermal enerji

ABSTRACT

With the continued decrease in fossil fuels, which are of commercial importance and consist an important part of the energy demand of mankind, countries started to search for alternative energy resources. Within these resources, the major ones are the renewable energy resources such as sun, wind and geothermal. In the future century, these energy resources will be the only ones which the countries will face with, and they will gain strategic importance. Due to the abundance of magmatic activities and the existence of active tectonic fractures, our country is in a rich position in terms of geothermal resources. As it is known, heat is a form of energy, and geothermal energy gets the heat source from the core of the earth. In other words, heat diffuses into the crust via the mantle layer in the earth, and is transported via fluids and gases to the weak zones of crust where it is finally stored in different formations. This transport process, on the other hand, occurs either by convection or by conduction. In our country, geothermal resource prospection was initiated by MTA in 1962, and the existence of a total of 186 geothermal fields were determined. These fields represent geothermal systems that have heat which is transferred to the upper levels of the crust via transport agents and deposited into geologic formations which contain suitable porosity and permeability. MTA, while continuing to prospecting deeper geothermal fields, plans to identify sites in the future years where hot rocks having insufficient porosity and permeability with high temperatures exist, and by determining their physical and chemical parameters, plans to perform mapping and inventory studies beginning from the year 2009. Studies such as these have been undertaken in countries such as USA, Japan, Australia, Germany, France and England. When such studies are examined, wells penetrating to 2000 m depth were drilled in high temperature fields, and by means of these wells, fracture systems were generated in the deep hot rock where water was used as a transport agent. Water, injected at a specific flowrate into the reservoir was produced from another well and was then converted to electrical energy via heat exchanger systems. For example, regarding this concept, successful results were achieved in the studies performed in Fenton Hill (USA). When the geothermal energy studies performed until now and the geological structure and heat flow maps are

examined, the possibility of the existence of potential sites with high temperature hot dry docks can be seen. For these studies, young volcanic sites and sites where crust thins and plate boundaries intersect can be selected as target areas. For example, sites such as the Nemrut volcanism field, Alaşehir Kavaklıdere, Kızılcahamam, Nevşehir Acıgöl, Aksaray, Konya Ilgın and Çanakkale are the ones that will be considered the first in this respect. In these studies, provinces lying at depths of 2500-3000 m with high temperatures will be identified, and information related to the feasibility of heat gain will be generated by determining parameters such as heat conduction of hot rocks at depth and the physical and chemical properties of the rock. With nowadays technology, the usage of not only fluids but also gases as transport agents will be possible for energy production. By means of the drilled deep wells, stratigraphic information that will be used to investigate the geologic structure of the site and the information that will be generated related to the deep metallic industrial raw materials and other energy raw materials will be gained, and by sharing these with other institutions, a huge amount of contribution will be provided to the studies concerning our countries mining and earth science facilities.

Key words: Hot dry rock, geothermal energy

1. GİRİŞ - JEOTERMAL ENERJİ

Enerji günümüzde tüm dünya ülkelerinin en önemli konuları içerisinde yer almaktadır. Dünyada fosil yakıtlar enerji biçimi olarak günümüze kadar çok yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ancak, fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve çevreye yansıyan olumsuz etkileri, yeni ve yenilenebilir doğal kaynakların önemini daha da artırmaktadır. Jeotermal enerji fosil yakıtlara göre daha temiz ve sürdürülebilir enerji niteliğinde olmasından ötürü dünyada jeotermal kaynaklara sahip birçok ülkede yaygın kullanım sahaları bulmuştur. Türkiye, şu ana kadar ortaya çıkarılmış jeotermal sahalarının yoğun olması nedeniyle dünyada jeotermal potansiyel açısından çok önemli bir noktada bulunmaktadır.

Jeotermal kaynak, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineral ve gaz içerebilen, yüksek basınç altında yeraltının çeşitli seviyelerinden yüzeye taşınan sıcak akışkanlar (su ve buhar) şeklinde tanımlanmaktadır. Jeotermal enerji ise bu kaynaklardan doğrudan veya dolaylı olarak her türlü faydalanmayı kapsamaktadır.

Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökene sahip olduklarından, yerkabuğundaki hazneleri sürekli olarak beslenebilmekte ve jeotermal kaynak sürekli olarak yenilenebilmektedir (Craig, 1961).

Jeotermal sahalarda yerkabuğunun derinliklerinde yer alan ısı kaynağı, soğumasını tamamlamamış bir mağma kütlesi, genç bir volkanizma veya yeraltında gerçekleşen radyoaktif tepkimeler sonucu oluşmaktadır. Yerkabuğundaki kırık ve/veya çatlak hatları boyunca yerin derinliklerine süzülen meteorik sular, yeraltındaki büyük ısı kaynağı sayesinde ısınarak ve mineralce zenginleşerek yüzeye yine kırık ve/veya çatlak hatları boyunca ulaşırlar. Böylece ısı yerkabuğundaki kırık veya çatlaklarda dolaşan akışkan

vasıtasıyla yeryüzüne aktarılır. Yerkabuğunun geçirimli ve gözenekli seviyelerinde biriken jeotermal akışkanlar yapılan sondajlar vasıtasıyla ekomik kullanıma hazır hale getirilir. Doğal olarak yeryüzüne ulaşan veya uygun teknolojiler kullanılarak yeryüzüne çıkarılan buhar ve sıcak suyun içerdiği ısı enerjisinden ya doğrudan ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılmaktadır.

Günümüzde jeotermal enerji dünyada birçok ülkede özellikle kaplıçalarda, sera ve kent ısıtmacılığında uygulanmaktadır. Yeterli derecede yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sularda ise jeotermal enerjiden elektrik üretimi yaygındır. Jeotermalden elektrik üretimi dünyada ilk olarak İtalya'nın Larderello bölgesinde kurulan elektrik santrali ile başlamıştır. Daha sonra yeterli jeotermal kaynaklara ve uygun akışkan sıcaklıklarına sahip bölgelerde jeotermal enerji kullanılarak enerji üretimi giderek yaygınlaşmıştır.

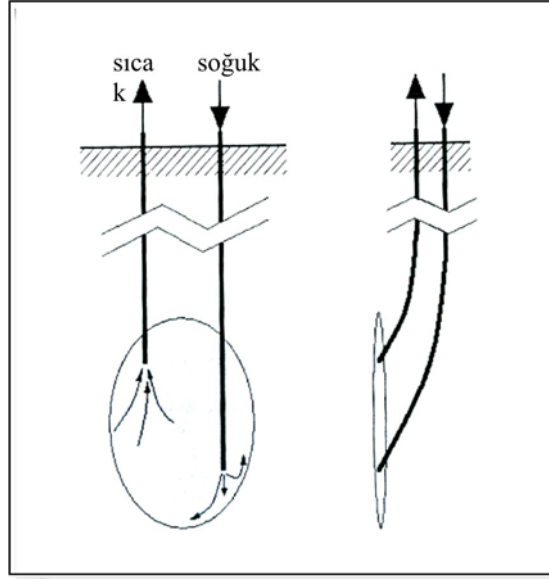
Günümüz teknolojisinin giderek gelişmesi ile jeotermalden elektrik üretim yolları çeşitlenmiştir. Bu gelişmelere en büyük örnek Kızgın Kuru Kaya Sistemlerinin geliştirilmesidir. Doğal yoldan akışkan içeren jeotermal sistemlere ek olarak, herhangi bir akışkan içermemesine rağmen gelişmiş teknik yöntemlerle çok derinlerdeki ısısından yararlanılan "Kızgın Kuru Kayalar" jeotermal enerji kaynağı olarak bazı ülkelerde son 20 yıldır kullanılabilir. Yerkabuğunda doğal su dolaşımını sağlayacak yeterli kırık sistemine sahip olmayan ve yüksek ısı birikim saptanan sahalarda oluşturulacak yapay kırıklardan dolaştırılacak suni akışkanlardan enerji elde edilmesi günümüz teknolojisi sayesinde mümkün olabilmektedir. Kızgın kuru kaya teknolojisinin kullanıldığı başlıca ülkeler ABD, Japonya, Avustralya, Almanya, Fransa ve İngiltere'dir.

2. KIZGIN KURU KAYA

Doğal yoldan akışkan içermeyen ve yerkabuğu içinde doğal akışkan dolaşımına izin verecek nitelikte kırık sistemi olmayan, ancak yüksek ve olağan dışı ısı birikimine sahip olan sahalarda, sonradan oluşturulacak yapay kırıklar içinde dolaştırılacak suni akışkanlarla enerji elde edilmesi mümkündür. Bu sistemlere Kızgın Kuru Kaya denmektedir (Edwards vd.1982; Armstead, 1983; Smith, 1983; Jessop, 1990, Baria vd. 1999).

Dünyada özellikle aktif volkanik kuşaklarda ve jeotermal gradyanın yüksek olduğu bölgelerde yüksek sıcaklığa sahip akışkan içermeyen veya üretim için gerekli geçirgenliğe sahip olmayan jeotermal sahalarda bulunmaktadır. Bu sistemlere ait rezervuarlar "hydraulic fracturing" yani hidrolik çatlatma adı verilen yöntem ile geliştirilebilmektedir (DiPippo, 2005). Bu yöntemde, üretim sağlanabilecek zonlarda yer alan sıcak formasyon içerisine enjeksiyon kuyusu açılmaktadır. Enjeksiyon kuyusu vasıtası ile basınçlı soğuk su yer altındaki olası rezervuara gönderilir ve böylece önceden var olan kırıkların açılmasına ve/veya yeni kırıkların oluşmasına yardımcı olur. Kuyudan aşağı verilen basınçlı su sıcak kayalar içinde ısınır ve üretim kuyusu tarafından emilerek tekrar yüzeye çıkar. Formasyon ne zamanki yeterli hacim ve geçirgenliğe ulaştıncaya, başka kuyu/lar yeni oluşmuş olan rezervuarı kesmek üzere açılır.

Böylece kapalı bir sistem oluşturulur, enjeksiyon kuyusundan basılan soğuk su yeraltında sonradan kırıklandırılmış kızgın kuru kayalar içerisinde geçerek üretim kuyusuna ve böylece yüzeye ulaşır. Çıkan sıcak akışkandan elde edilen buhar, klasik türbin sistemi ile enerji üretiminde kullanılır. Kızgın kuru kayalara ait ideal sistem Şekil 1’de başitçe gösterilmektedir.



Şekil 1. İdeal Kızgın kuru kaya sistemine ait şematik diyagram (DiPippo, 2005).

Kızgın kuru kaya sistemlerinin geliştirilmesine ilişkin şu ana kadar dünyada büyük çapta araştırmalar başlatılmıştır. Çizelge 1’ de dünya çapında yürütülmüş projelere ilişkin bilgiler özet olarak gösterilmektedir.

Çizelge 1. Dünya çapında Kızgın Kuru Kaya projeleri (DiPippo, 2005)

Ülke	Lokasyon	Tarih
Amerika Birleşik Devletleri	Fenton Hill, New Mexico	1973-1996
Birleşik Krallık	Rosemanowes	1977-1991
Almanya	Bad Urach	1977-1990
Japonya	Hijiori	1985-
	Ogachi	1986-
	Soultz	1987-
Fransa	Soultz	1987
İsviçre	Basel	1996-
Avustralya	Hunter Valley	2001-
	Cooper Basin	2002-

Kızgın kuru kaya sistemlerinin geliştirilmesinde birçok problemle karşılaşılabilir. Petrol endüstrisinde gelişen son sondaj teknikleri, sondaj yapılırken kuyuların 90° döndürülmesine olanak vermekte, ve böylece birçok düşük petrol yataklarının drene edilmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak, petrol kuyuları kızgın kuru kaya sistemleri için planlanan kuyulardan daha sığ olduğundan, karşılaşılan sıcaklıklar daha düşük ve kayalar da jeotermal sahalarda bulunanlar kadar sert yapıda değildir. Ayrıca, kızgın kuru kaya sistemlerinde kuyular kapalı akışkan sirkülasyonu oluşturulabilmesi için derinde bulunan hedefe tam olarak yönlendirilebilmelidir. Eğer rezervuarda oluşturulan yapay kırıklar üretim kuyusu ile tam olarak bağlantıda değil ise, enjeksiyon kuyusundan enjekte edilen soğuk suyun formasyona kaçması muhtemeldir. Bu durum, enerji santralinin düzgün bir şekilde çalıştırılabilmesi için sürekli yedek akışkan kaynağına olan ihtiyacı ortaya koyacaktır (DiPippo, 2005). Bu tür sorunlarla Japonya gibi bazı ülkelerde karşılaşılmış ve bazı çözümler üretilebilmiştir.

2.1. Dünyada Kızgın Kuru Kaya Çalışmaları

Şu ana kadar Kızgın kuru kaya sistemlerinin geliştirilmesi konusunda büyük çapta verim kaydetmiş iki ana program bulunmaktadır. Bunlar Fenton Hill (ABD) ve Hijiori (Japonya) Kızgın Kuru Kaya projeleridir.

2.1.1. Fenton hill kızgın kuru kaya projesi

Derin sıcak kristalize kayalardan jeotermal enerji elde edilmesi önerisi ilk olarak 1970 yılında Los Alamos Bilim laboratuvarlarında çalışan atom fizikçileri tarafından ortaya sürülmüştür. Bu düşünce ile birlikte, Amerikan Enerji Dairesi, Fenton Hill sahasında büyük çapta bir Kızgın Kuru Kaya projesine 1973 ile 1996 yılları arasında destek sağlamıştır. Bu proje dünyada ilk kez gerçekleştirilen Kızgın Kuru Kaya projesi olarak tanınmaktadır.

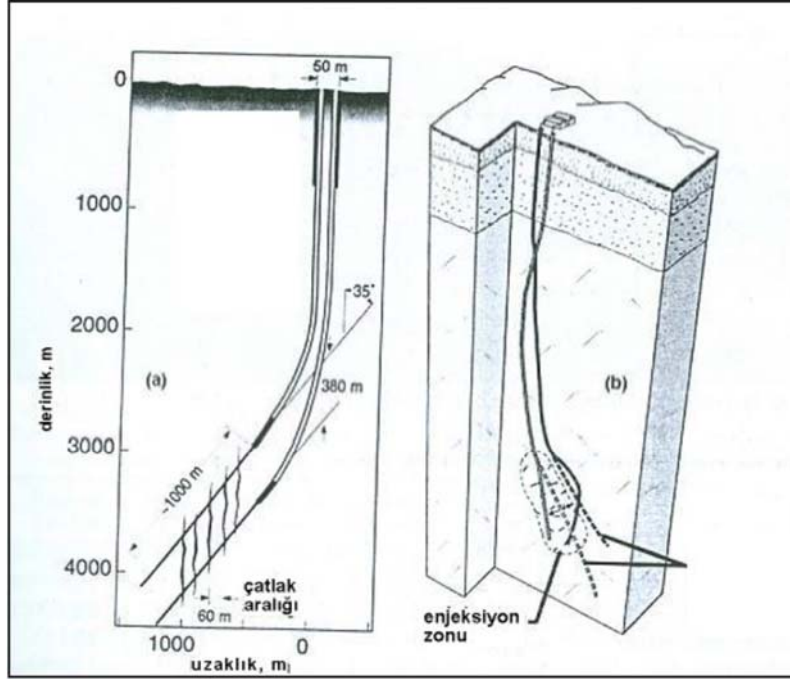
Fenton Hill sahası, New Mexico'da bulunan ve Rio Grande Grabeninde yer alan Los Alamos'un yaklaşık 40 km batısında bulunmaktadır. Bu sahada volkanizmaya bağlı olarak termal ısı akışı yaklaşık 250 milliwatt/m² civarında olup bu değer yeryüzeyindeki ısı akışının yaklaşık 3 katıdır (Tenzer, 2001).

Fenton Hill Kızgın kuru kaya projesi iki aşama halinde gerçekleştirilmiştir. Bu projenin ilk aşamasında, 1973 ile 1979 yılları arasında, yaklaşık 2600 m derinlikte 2 kuyu, biri enjeksiyon diğeri üretim amaçlı olmak üzere, sıcak kırıklı/çatlaklı krsitalize temel kaya içerisinde başarı ile açılmıştır. Bu kuyular 185 °C sıcaklığındaki yapay rezervuar içerisinde oluşturulan kırık/çatlak sistemi sayesinde bağlantılanmış ve sıcaklığı yaklaşık 135 °C ve akışkan hızı 7 ile 16 kg/s arasında değişen basınçlı akışkan üretimi sağlamıştır. Kapalı devre halinde sürekli sirküle eden sıcak sudan enerji elde etmek için sahada 60 kW'lık binary (ikili) enerji santrali kurulmuştur. (DiPippo, 2005).

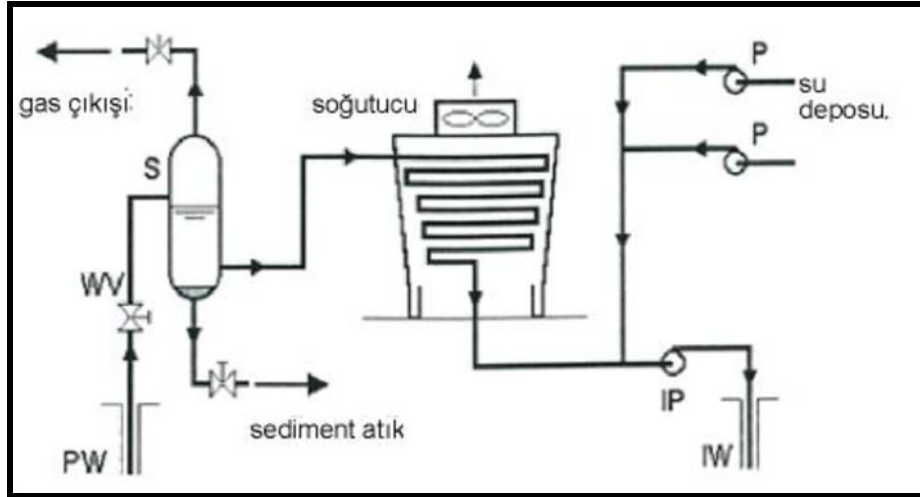
Projenin ikinci aşamasında, 1979 yılında başlayan, aralarında yaklaşık 50 m mesafe bulunan 2 yeni kuyu açılmıştır. Bu aşamanın temel amacı çoklu kırık sistemlerinin kızgın kuru kayalarda test edilmesi üzerine kurulmuştur. Şekil 2a' da açılan yeni iki kuyuya ilişkin dağılım gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, derin olan kuyu yaklaşık 4390 m derinliğe ve 327 °C sıcaklığındaki kayaya isabet ettirilmiştir. Sahada karşılaşılan yüksek sıcaklık sondaj ve kuyu ölçümleri sırasında birtakım sorunlar yaratmıştır. Bu kuyular arasında oluşturulan kırık sistemi, projenin ilk aşamasında test edilen gibi başarılı olamamıştır. Büyük çapta yapılan hidrolik çatlatma ve yeniden sondaj işlemleri sonucunda Şekil 2b' de görülen son konfigürasyon elde edilmiştir.

1986 yılında, projenin ikinci aşamasının başlangıcından yaklaşık 7 yıl sonra, Kızgın kuru kaya sirkülasyon deneyleri tamamlanmıştır. Yapılan 1 aylık sirkülasyon deneyleri sonucunda sistemin hidrolik özelliklerinin geliştiği görülmüştür. Sahadaki termal sistem kapasitesi yaklaşık 10MW değerinde ulaşmıştır (Tenzer, 2001; Duchane vd. 2002).

Projenin ikinci aşamasındaki deneylerde, su sirkülasyonu ile üretilen termal enerji hava ile soğutulmuş ısı eşanjörü tarafından harcanmış, projenin ilk aşamasında gerçekleştirilen enerji üretimine dair herhangi teşebbüsde bulunulmamıştır. İlk aşamadan farklı olarak, sahada çalışmalar sırasında belirgin su kaybına rastlanılmıştır. Bu durumda, yüksek miktarda yedek su depolarının, sabit işletim koşulları altında enerji santralinin sürekli çalışmasının sürdürülebilmesi için gerekliliği önem kazanmaktadır. Fenton Hill sahasında Kızgın kuru kaya yüzey testi aktivitelerini gösterir şematik diyagram Şekil 3' de basitleştirilmiş haliyle gösterilmektedir. Çalışmalar sırasında kaydedilen akış testlerine ait bazı sonuçlar ise Çizelge 2' de özet halinde verilmektedir. Fenton Hill'de yapılan çalışmalar 1996 yılında sona erdirilmiş ve tüm sistem sökülüştür. Bu proje sayesinde kazanılan temel bilgiler, Kızgın kuru kaya sistemlerinin geliştirilmesine öncü olmuştur.



Şekil 2. Fenton Hill Kızgın Kuru Kaya kuyu konfigürasyonu a) kavramsal model, b) gerçek model (DiPippo, 2005).



Şekil 3. Fenton Hill Kızgın kuru kaya test aktiviteleri gösterir şema (DiPippo, 2005).

Çizelge 2. Fenton Hill Kızgın Kuru Kaya projesi akış testi sonuçları (DiPippo, 2005).

	Faz I	Faz II	Faz II	Faz II	Faz II
	1977	1986	5/1993	5/1995	6/1995
Rezervuar derinliği, m	2700	3550	4204	4204	4204
Rezervuar sıcaklığı, °C	185	232	228	227	227
Enjeksiyon akış hızı, kg/s	-	-	8.14	7.98	7.82
Enjeksiyon basıncı, MPa			26.54	27.3	27.3
Enjeksiyon sıcaklığı, °C			22.3	22	22
Üretim akış hızı, kg/s	7-16	12-14	6.85	5.82	5.52
Üretim Basıncı, MPa			9.74	9.65	15.2
Üretim sıcaklığı, °C			190.3	185	183
Termal güç, MW	3	10	5.5	4.7	5.5
Su kaybı, kg/s			1.29	2.16	2.3
Su kaybı, %	7-1	35-19	16	27	29

2.1.2. Hijiori kızgın kuru kaya projesi

Japonya'da Kızgın Kuru Kaya sistemlerinin geliştirilmesi 1980'lerden itibaren başlatılmıştır. Yamagata' da yer alan Hijiori Kızgın Kuru Kaya projesi (Şekil 4) Japonya'nın Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknolojik Gelişim Organizasyonu (NEDO) tarafından desteklenmiştir.

NEDO'nun Kızgın Kuru Kaya sistemlerine olan yaklaşımı Fenton Hill projesinden birçok yönden farklılıklar sergilemektedir (Şekil 5). İlk olarak, bu sahada derinliği sadece 1800 ile 2200 m arasında bulunan daha sığ bir rezervuar bulunmaktadır. Sonradan oluşturulan kırıklar genelde yatay yönde geliştirilmiş ve yaklaşık 400 m aralıktır. Bu projede 2 enjeksiyon kuyusu ve 2 üretim kuyusu olmak üzere toplam 4 kuyu bulunmaktadır. Her bir enjeksiyon kuyusu kırık zonlarından birine ayrılmıştır. Bu saha yakınlarında ayrıca enjeksiyon için su sağlayan bir nehir ve buna ek olarak 450,000 kg kapasiteli yedek su havuzu bulunmaktadır. Son olarak, 130 kW'lık ikili enerji santrali sahada termal enerjinin bir kısmının elektrik enerjisine dönüştürülmesi için kurulmuştur (DiPippo, 2005).

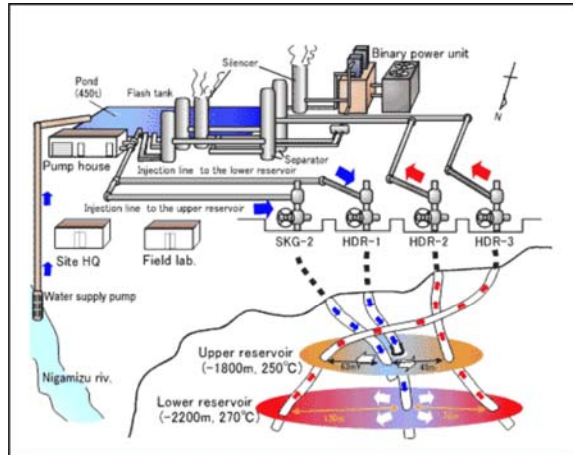
Hijiori projesinin temel amacı kuyu loglama, hidrolik çatlatma, kırık haritalama ve rezervuar değerlendirilmesi gibi Kızgın kuru kaya enerji santralinin geliştirilmesine yönelik teknolojilerin test edilmesi ve geliştirilmesini kapsamaktadır. 1991'de 1800 m derinlikteki sığ rezervuardan 3 aylık dönem boyunca ısı başarı ile üretilmiş, bu aşamada bir enjeksiyon kuyusu (SKG-2) ve 3 üretim kuyusu ((HDR-1, HDR-2 ve HDR-3) kullanılmıştır (Şekil 5). Enjekte edilen suyun yaklaşık % 80'i üretim kuyularından elde edilmiştir. Elde edilen sıcak akışkanın ve buharın termal üretim kapasitesi 8 MW' a ulaşmıştır. Daha sonraları, 1992 yılında, 2200 m derinlikteki derin rezervuar

oluşturulmuştur (Kuriyagawa vd. 1999). Sahada 2000 yılı sonlarında, derin rezervuarda uzun süreli (2 yıllık) sirkülasyon testi başlatılmıştır. Bu testin ilk aşamasında sadece derin rezervuarın değerlendirilmiş, son aşamalarında ise her iki sıg ve derin rezervuara enjeksiyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin son 3 ayında ise ikili enerji santrali sisteme alınmıştır. Bu çalışmalar sonucunda suni rezervuarların ömrü test edilmiştir.

Hijiori sahasında yapılan çalışmalar, Kızgın Kuru Kaya sistemlerinin teknik açıdan ekonomik olarak verimli olabileceğini, özellikle de Kuzey Japonya için ispatlamıştır. Japonya, kendi çalışmalarına ek olarak, Los Alamos Fenton Hill Kızgın kuru kaya projesinde 1980 ile 1986 yılları arasında katılımda bulunmuştur. Ayrıca, Avrupa'da gerçekleştirilen Kızgın kuru kaya projeleri ile bilimsel açıdan işbirliğinin geliştirilmesine yönelik çalışmalara da katılmaktadır.



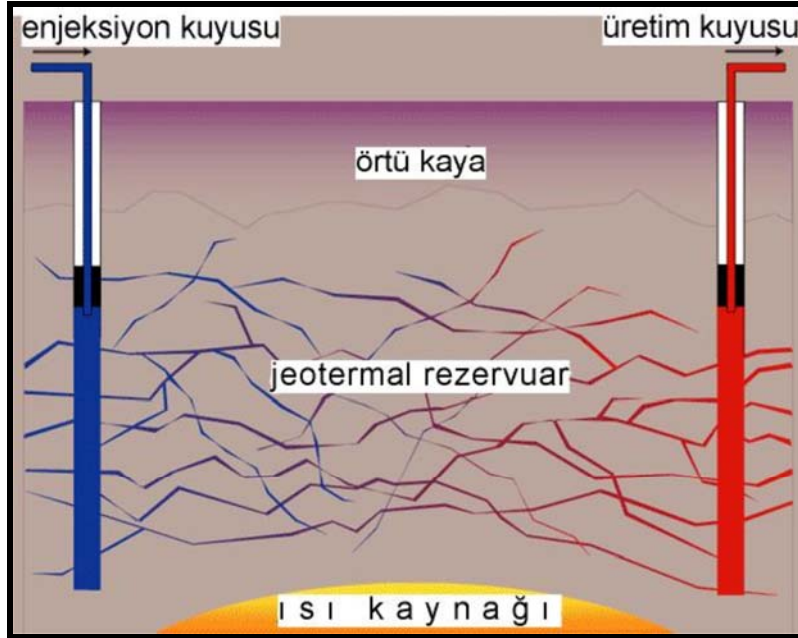
Şekil 4. a) Hijiori-Japonya'da kızgın kuru kaya araştırma aktiviteleri, b) Hijiori'deki deneysel ikili çevrim enerji santrali.



Şekil 5. Hijiori Kızgın Kuru Kaya rezervuarı, test aktiviteleri ve enerji santralini gösterir şematik diyagram (<http://www.nedo.go.jp/chinetsu/hdr/indexe.html>).

3. GELİŞTİRİLMİŞ JEOTERMAL SİSTEMLER (ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS, EGS)

EGS sistemlerinde sıcak, tektonik açıdan stres altında ve çatlaklı rezervuarlar hedef alınmaktadır. İkincil mineralizasyona bağlı olarak zaman içinde tıkanan kırıklar rezervuarın geçirgenliğinin zamanla azalmasına neden olur. Hidrolik, termal ve kimyasal işlemler sonucunda hedefteki EGS rezervuarı uyarılabilmekte ve böylece var olan tıkanmış çatlak hatları açılmakta, genişletilmekte ve birleştirilebilmektedir. Böylece, jeotermal sistem, bir kondüktif çatlak ağının oluşması ile doğal akışkan içeren jeotermal rezervuarlardan ayırt edilemez hale gelmektedir. Bu yöntem, var olan jeotermal rezervuarların boyutunu artırabilmekte ya da yeni rezervuarların oluşmasını sağlayabilmektedir. Şekil 6'da EGS sistemi gösterilmektedir.



Şekil 6. EGS (<http://egs.egi.utah.edu/>).

4. JEOTERMAL ENERJİDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde farklı tipte enerji santralleri kullanılmaktadır. Bunlar flaş-buhar santralleri, kuru-buhar santralleri, ve ikili çevrim santralleridir.

4.1. Flaş Buhar Santralleri

Flaş buhar santralleri "single flash cycle" ve "double flash cycle" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. "Single flash cycle" (tek buharlaşmalı) sistemlerinde buhar minimum

basınç kaybı altında separatörde ayrılarak doğrudan türbine gönderilir. Bu tür buhar santralleri jeotermal enerji endüstrisinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu tip santraller tüm jeotermal santrallerin % 29' u temsil etmekte ve dünyadaki toplam kurulu jeotermal enerji kapasitesinin %40 ' ını oluşturmaktadır (DiPippo, 2005). "Double flash cycle" (Çift Buharlaşmalı) sistemlerinde ise akışkan, iki aşamada iki ayrı seperatörde buharlaştırılarak türbine gönderilir ve "single flash cycle" sistemlerine göre %15 ile %25 arasında, aynı jeotermal akışkan koşullarında, daha fazla enerji üretimi sağlamaktadır. Bu yöntemle jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm verimi artırılmaktadır. Bu santraller daha pahalı ve karışık yapıdadır. Enerji kapasiteleri 4.7 ile 110 MW aralığında değişim sergilemekte olup, ortalama enerji kapasiteleri 30MW civarındadır.

4.2. Kuru Buhar Santralleri

Tüm jeotermal santral türleri arasında en basit olanı kuru buhar santralleridir. Dünyada bu tür santrallere örnek iki ana kuru buhar santrali İtalya'da bulunan Larderello ve ABD' de bulunan Geyselerdir. Dünyada bu santrallerden toplam 63 adet bulunmakta ve tüm jeotermal santrallerin % 13.5' ini temsil etmektedir. Bu enerji santralleri, toplam jeotermal kapasitenin %28' ine denk gelmekte ve 2,640 MW kurulu kapasiteye eş değerdir.

4.3. İkili Çevrim Santralleri

İkili çevrim (binary cycle) sistemleri, jeotermal akışkanın ayrıştırılmadan direkt olarak elektrik üretimi amaçlı olarak ısı eşanjörüne verilip, enerjisinin ikincil akışkana aktarılmasından sonra, doğrudan reenjeksiyona gönderildiği sistemlerdir. İkili çevrim tipi santrallerde verim daha yüksek olmaktadır. Bu tür enerji santrallerinin kullanılmasıyla, 80°C-170°C sıcaklıktaki jeotermal akışkandan elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

5. SONUÇLAR

Ülkemizin jeotermal enerji potansiyeli 31500MWt olup, bu miktarın 500MWt'lık bölümü elektrik enerjisi üretimi için uygundur. Jeotermal kaynaklarımızın öncelikle elektrik üretiminde değerlendirilmesine yönelik fizibilite ve proje çalışmaları MTA tarafından yürütülmektedir. Yerli ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve desteklenmesi için gerekli yasal temellerin oluşturulması, enerjinin verimli kullanılmasının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminin doğal yoldan akışkan içeren jeotermal sistemlere ek olarak akışkan içermeyen, ama yüksek miktarda ısı potansiyeline sahip Kızgın kuru kaya sistemlerinden elde edilmesi teknoloji geliştikçe daha mümkün hale gelecektir. Özellikle Türkiye jeotermal potansiyel açısından avantajlı bir ülke olması ve olası Kızgın kuru kaya sistemlerinin ileride geliştirilmesi ile dünyada jeotermal enerjiden faydalanma konusunda sayılı ülkeler arasında yer alabilecektir. Bu sistemlerin geliştirilmesinde öncelikle uygun sahaların tespiti büyük önem teşkil etmektedir. Kızgın

kuru kaya sistemlerinin geliştirilmesi ile geçmişten gelen fosil yakıtlara olan bağımlılık yerini yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına bırakacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Armstead, H.C.H., 1983, Geothermal Energy, Spon Ltd., London.
- Baria, R., Baumgärtner, J., Rummel, F., Pine, R.J., Sato, Y., 1999. HDR/HWR reservoirs: concepts, understanding and creation. *Geothermics*, 28, 533-552.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- DiPippo, R., 2005. Geothermal Power Plants, Principles, Applications and Case Studies. Elsevier Advanced Technology, Oxford, 447p.
- Duchane, D. ve Brown, D., 2002. Hot Dry Rock (HDR) Geothermal Energy Research and Development at Fenton Hill, New Mexico, *GHC Bulletin*.
- Edwards, L.M., Chilingar, V.G., Rieke, H.H., Fertl, W.H., 1982. Handbook of Geothermal Energy, Gulf Publishing Company, USA.
- Jessop, A.M., 1990, Thermal Geophysics, Elsevier, Amsterdam.
- Kuriyagawa, M. ve Tenma, N., 1999. Development of hot dry rock technology at the Hijiori test site. *Geothermics*, 28, 627-636.
- Smith, M.C., 1983. The Hot Dry Rock Program, Los Alamos Science, Winter/Spring. 86-87.
- Tenzer, H., 2001. Development of Hot Dry Rock Technology. *GHC Bulletin*, 14-22.
- <http://www.Dhm.ch/imaH00hijiori.html>.
- <http://www.nedo.go.jp/chinetsu/hdr/indexe.html>
- <http://egs.egi.utah.edu/>

URGANLI JEOTERMAL ALANININ (TURGUTLU-MANİSA) JEOLJİSİ VE SONDAJ VERİLERİ IŞIĞINDA YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Re-EVALUATION OF URGANLI GEOTERMAL FIELD (TURGUTLU-- MANİSA) IN THE LIGHT OF ITS GEOLOGY AND DRILLING RESULTS

¹YILMAZER, S, ²PASVANOĞLU, S., ³YAKABAĞ, A., ⁴VURAL, S.

^{1,3}Gayzer Yer Bilimleri Ltd. Şti., Bornova-İzmir.
servetyilmazer@ttmail.com, aliyakabag@hotmail.com

^{2,4}Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.
suzan@kou.edu.tr, vuralsirkan30@hotmail.com

ÖZET

Urganlı jeotermal alanı Manisa İli Turgutlu ilçesine bağlı Urganlı beldesinin yaklaşık 5 km. kuzeyinde yer alır. Alanın yakın çevresinde temeli Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur. Menderes masifi örtü şistleri olarak ta adlandırılan bu temel kayalar üzerine yine Paleozoyik yaşlı mermerler gelmektedir. Urganlı Jeotermal alanı kuzeybatısında Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve ofiyolitik kayalar mostra vermektedir. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerinde açılmal uyumsuzlukla Pliyosen yaşlı çökeller yer alır. Bu alanda Kuvaterner yaşlı travertenler de dikkat çekicidir. Yine Kuvaterner yaşlı oluşuklardan alüvyonlar Gediz ovasında geniş yayılım gösterirler. Urganlı jeotermal alanında yaklaşık doğu batı uzanımlı olan ve sıcaksu getirimini sağlayan Cambazlı fayı önemli bir tektonik hatır. Urganlı jeotermal alanında doğal boşalımlı birçok sıcaksu kaynağı vardır. Fakat bölgede açılan sıcaksu kuyuları nedeniyle bu kaynakların sayıları ve debilerinde eskiye göre önemli azalmalar olmuştur. Burada işaret edilen 9 kuyudan birisi kaplıcalarda kullanılmakta, iki tanesinin debisi az olduğundan dolayı kullanım dışıdır. Geri kalan 6 kuyu Göncüoğlu ve Eskihisar seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Bugünkü üretim debilerine göre toplam ısı potansiyeli seraların ısıtılmasına yetmektedir. Ancak, reenjeksiyon yapılmadığından kuyulardan gerektiği gibi istifade edilememektedir

Anahtar Kelimeler: Urganlı, jeotermal, kaplıca, inhibitör, reenjeksiyon.

ABSTRACT

Urganli geothermal field is located approximately 5 km North of Urganli Town in the district of Turgutlu, province of Manisa. Paleozoic aged metamorphic rocks forms the basement of the nearby area. Paleozoic aged marbles comes on the top of the base rocks that are also called as Menderes massive covering schists. Mesozoic aged limestones, dolomitic limestones and ophiolitic rocks shows exposure in the north west of Urganli geothermal field. Pliocene aged deposits with angular unconformity takes place on the top of Paleozoic and Mesozoic aged units. Quaternary aged Travertines are noticeable in Urganli geothermal area. Again Alluviums that are Quaternary aged formations shows a wide distribution in Gediz plane. Approximately E-W trending Cambazli fault providing discharge of thermal waters in Urganli geothermal field is an important tectonic line. There are many naturally discharged thermal water resources in Urganli geothermal area. But because of hotwater wells drilled in the area there are significant decreases in the numbers of these resources and their outputs. There are in total 9 thermalwater wells built in Urganli geothermal area. One of the mentioned wells is used in the thermal water resort . Two of them are out of usage because their outputs is low. The rest 6 wells are used in the Goncuoglu and Eskihisar greenhouse heating. According to today's current production output .The total heat potential is sufficient for greenhouse heating. But, the required benefits are not obtained from these wells because re-injection is not done.

Key Words: Urganlı, geothermal, spa, inhibitor, reinjection.

1. GİRİŞ

Manisa İl'i Turgutlu ilçesi sınırlarında kalan Urganlı jeotermal alanında (Şekil 1, Şekil 2;3) M.T.A. tarafından yapılan ilk etüt ve araştırma sondaj çalışmalarından sonra uzun süre kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır (Ürgün, 1966, Karamandere, 1972). Dünyada ve ülkemizde enerji fiyatlarının artması üzerine yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yöneliş olmuştur. Bunun sonucu olarak jeotermal ısıtmalı seracılık çok fazla rağbet görmektedir. Oldukça sevindirici olan bu gelişime bağlı olarak Urganlı jeotermal alanında Eskihisar Tarım A.Ş.'nin talebi üzerine önce etüt, daha sonra da sondaj çalışmalarına başlanılmıştır (Gayzer Yer Bilimleri, 2005). EU serili sondajlardan ilk ikisi (EU-1 ve EU-2) hariç geri kalan altı adet sondajın lokasyon seçimleri ve sondaj teknik takiplerini Gayzer firması üstlenmiştir. Bu alanda sondajlı çalışmalar halen devam etmektedir. Sondajlı çalışmaların tamamlanmasından sonra sürdürülebilir bir işletmecilik açısından, üretim ve reenjeksiyon kuyuları için seçim yapılarak uygulamalara geçilecektir. Bu çalışmada, yapılan yeni sondajlar ışığında tektonik veriler yeniden değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. STRATİGRAFİ

Urganlı Jeotermal alanı ve yakın çevresinde Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır.

2.1. Paleozoyik

Urganlı Jeotermal alanı ve yakın çevresinde temeli Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşur (Şekil 4). Menderes masifi örtü şistleri olarak nitelendirilen bu kayalar; kalk

şist, kuvars-muskovitşist, kuvars-muskovit-biyotit şist, muskovit-biyotit-albit şist ve granatlı biyotit şist gibi değişik şistlerden meydana gelmiştir (Karamanderesi, 1972). Jeotermal alanın hemen kuzeyinde yüzlek verip doğuya, haritalama alanının dışında kalan Kargın köyüne doğru yayılım gösteren bu metamorfitlelerin üzerine Paleozoyik yaşlı mermerler gelmektedir (Şekil 5). Alt seviyeleri koyu gri, üste doğru daha açık gri renklenme sunan bu mermerler yer yer dolomitik olup, orta-iri kristallidir. Ayrıca Jeotermal alanın kuzeyinde Sarnıç tepe ile Kule tepe arasında ve Sarnıç tepe'nin doğu kesiminde, yukarıda sözü edilen muhtelif şistler arasında bej, kahverengimsi renkte mermer düzeylerine de rastlanmaktadır.

2.2. Mesozoyik

Paleozoyik yaşlı temel kayalar üzerinde allokon olarak yer alan Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve ofiyolitik kayalar Urganlı Jeotermal alanın (haritalama alanı dışında) kuzey batısında yüzlek verirler. Kireçtaşlarının alt seviyeleri genellikle dolomitiktir. İkincil kalsit dolgular içeren ve tabakalanması pek belirgin olmayan dolomitler üste doğru kireçtaşlarına geçiş gösterirler. Çeşitli volkanik ve sedimanter kayalardan oluşan ofiyolitik karmaşa veya ofiyolitik melanj adı verilen birim Çaldağ ve yakın çevresinde yaygındır. Serpantin ve peridotitler ofiyolitik melanj bünyesindeki sedimanter kayalar üzerinde veya içinde bloklar halinde bulunurlar (Akdeniz, 1986, Karamanderesi, 1972).

2.3. Senozoyik

Senozoyik yaşlı kayalar Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerinde aşıl uyumsuzlukla yer alan Pliyosen yaşlı çökeller ile Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 3). Pliyosen'i; tabanda çakıltı, kumtaşı, silttaşı ve kilttaşları (P₁) ile bunların üzerine uyumlu olarak gelen killi kireçtaşları ve kilttaşları (P₂) oluşturmaktadır (Yanık). Çakıltı, kumtaşı, silttaşı ve kilttaşı gibi detritik çökeller jeotermal alan çevresinde oldukça yaygındır. Çakıllar genellikle orta-iyi derecede yuvarlaklaşmış, karbonat veya kil çimentoyla gevşek tutturulmuştur. Kumtaşlarında genel olarak gri, yeşilimsi gri renklenmeler hakimdir. Bunlar yer yer ince tabakalanmalı kilttaşı ve silttaşlarıyla ardalanmalıdır.

Yine Pliyosen'in üst düzeylerine ait killi kireçtaşları ve kireçtaşları jeotermal alanın kuzeydoğusundaki Aktepe ile batıdaki Abdal tepe ve güneyinde yayılım gösterir (Şekil 3). Bu birim kirli beyaz, sarımsı beyaz, grimsi beyaz ve krem renklerde olup, yatay ve yataya yakın eğimlidir. Urganlı Jeotermal alanındaki en genç oluşuklar Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlardır. Sıcaksuların bıraktığı çökeltilerin oluşturduğu travertenler konumları ve yayılımları yönünden oldukça dikkat çekicidir. Travertenlerin büyük bölümü yatay konumludur. Kirli beyaz, sarımsı kirli beyaz veya gri renkli ve düşük sertlikteki bu oluşuklar eski travertenlerdir. Daha sonraki aşamada oluşan genç travertenler daha rijit bir morfoloji oluşturmuşlardır. Bu genç travertenler jeotermal alanda duvarı görünümindedir (Foto 2). Bazı sıcak su çıkışları çevresinde yeni traverten oluşukları halen devam etmektedir. Kuvaterner yaşlı genç oluşuklardan

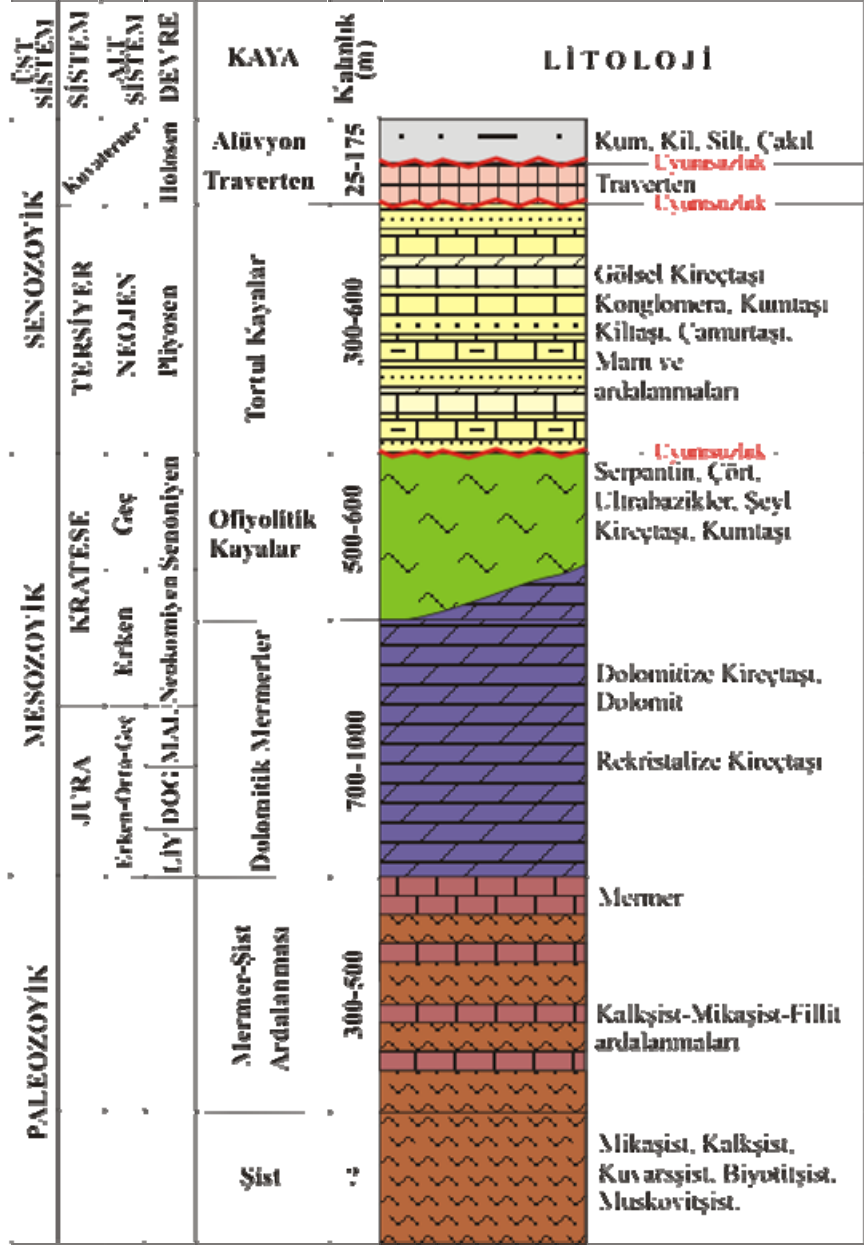
yamaç molozları etüt alanının kuzey batısında mostra vermektedir. Kendisinden daha yaşlı birimlere ait elemanlardan oluşan alüvyon örtü inceleme alanının güneyinde Gediz ovasında geniş yayılım gösterir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.



Şekil 2. (a) Urganlı bölgesindeki sera ve kaplıca alanlarının genel görünümü (b). Çalışma alanında duvarımsı görünümdeki genç travertenler

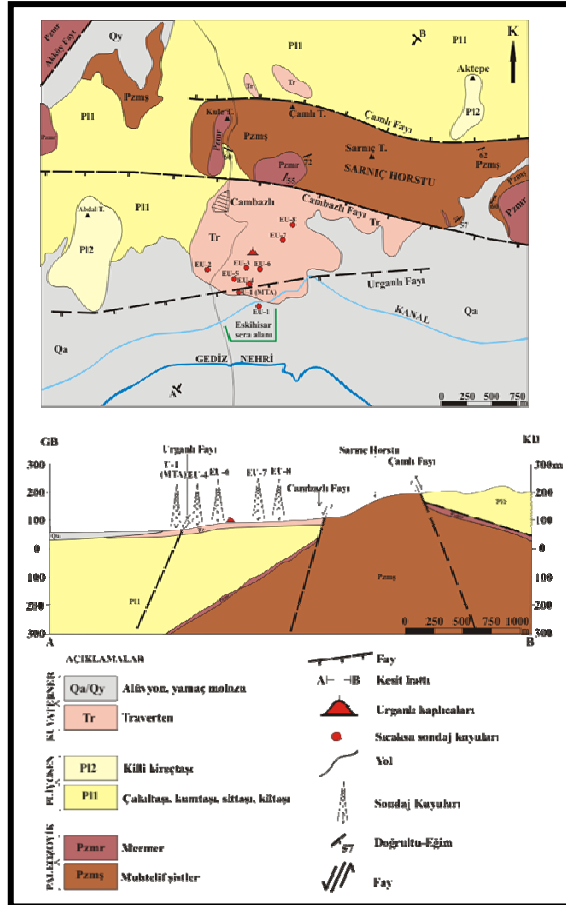


ÖLÇEKSİZ

Şekil 4. Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti.

3. TEKTONİK

Urganlı Jeotermal alanındaki en önemli süreksizlik Cambazlı faydır. Eğim atımlı normal bir fay olan Cambazlı fayı inceleme alanını yaklaşık D-B yönde kateder (Şekil 5). Batı yönünde, inceleme alanı dışında Akköy'e doğru uzanır. Doğu yönündeki uzanımı da yine araştırma alanı dışında Bintepe bölgesinin güneyine doğru devam eder. Yukarıda belirtildiği gibi yaklaşık D-B uzanımlı olan bu tektonik hat, Urganlı jeotermal alanına batıdan girer ve yeni Cambazlı köyünün hemen kuzeyinden geçerek doğuya Kargın köyüne doğru mikaşist-traverten dokanağını oluşturur. Cambazlı fayının yükselen kuzey bloğu Paleozoyik yaşlı muhtelif şist ve mermerlerin yüzeylenmesini sağlamıştır. Burada, D-B uzanımlı bir horst oluşturan bu temel kayaçların yükselimine Cambazlı fayı etken olmuştur. Aynı yükselimi kuzeyden yine yaklaşık D-B veya B-KB/D-GD uzanımlı bir tektonik hat sınırlamaktadır. Bu kuzey fayı da eğim atımlı normal bir fay olup "Çamlı fayı" olarak adlandırılmıştır.



Şekil 5. Çalışma alanının jeoloji haritası ve jeolojik kesiti

İnceleme alanına doğu yönünden Aktepe güneyinden girer, Sarnıç Tepe, Kule Tepe ve Çamlı Tepe'nin hemen kuzeyinden batıya doğru devam eder. Cambazlı fayı ile kuzeyindeki Çamlı fayının oluşturduğu; genişliği 750-1000 m. arasında değişen ve D-B uzanımı yaklaşık 5 km. olan bu yükselim "Sarnıç horstu" olarak isimlendirilmiştir (Şekil 5). İnceleme alanındaki diğer bir tektonik hat ise daha güneyden geçen yaklaşık D-B uzanımlı, eğim atımlı normal bir fay olan Urganlı fayıdır. Burada güney blok düşmüş kuzey blok yükselmiştir. Diğer faylara göre daha gençtir. Cambazlı fayından itibaren güneye doğru bir basamaklanma söz konusudur. İnceleme alanının kuzeybatısındaki Akköy fayı da çevredeki önemli tektonik hatlardan biridir. Akköy kuzeyinden başlayan bu fay, KD istikametine doğru yaklaşık 3-3,5 km. uzanımlıdır. İnceleme alanındaki Paleozoyik yaşlı kayaçlarda eklem ve çatlak sistemleri iyi gelişmiş olup, tektonik etkilerle değişik yönlerde kıvrımlanmalar oluşmuştur. Pliyosen yaşlı tortullar yatay ve yataya yakın konumludur. Aynı şekilde eski travertenler de yataya yakın tabakalanmalıdır. Daha sonra oluşan genç travertenler ise eski travertenler üzerinde adeta duvar gibi dikey konumludurlar (Şekil 5).

4. JEOTERMAL ENERJİ ÇALIŞMALARI

İnceleme alanında küçük-büyük sıcaksu çıkış noktaları vardır. Bunlar genellikle mevsimsel olarak değişim gösterirler. Pek çoğu yaz döneminde kurur. Bu nedenle doğal kaynaklar istikrarlı bir şekilde akışkan vermediklerinden sondajlı çalışmalar gündeme gelmiştir.

4.1. Sondaj Çalışmaları

Urganlı jeotermal alanında biri M.T.A. diğer sekizi özel sektör tarafından yapılmış toplam 9 adet sıcaksu kuyusu bulunmaktadır. Kuyuların derinlikleri 208-605 m. arasında değişmektedir. En düşük debi EU-2 kuyusunda 1,5- 2 lt/s., en yüksek debi ise EU-7 kuyusunda 40 lt/s. olarak ölçülmüştür. Kuyular artezyenik olup, kuyu başı üretim sıcaklıkları 62-83 °C arasındadır. Sondajlar jeotermal üretime uygun olacak şekilde dizayn edilmiştir (Şekil-4). İnceleme alanında yer alan sondaj kuyularının panel diyagram Şekil-6'te verilmiştir. Burada görüleceği gibi kuyuların temel kayaya giriş seviyeleri işaretlenmiştir. Sadece EU-3 nolu kuyu Neojen tortulları içinde kalmıştır. Neojen tortullar EU-8 nolu kuyunun bulunduğu kuzey noktasından güneye doğru giderek kalınlaşmaktadır. Bu durum Şekil 7'de işaret edilen Sarnıç yükselimi sonucu gelişmiştir. Bu nedenledir ki, sondaj kırıntılarında Neojen taban seviyelerinde yer yer kayma izlerine rastlanmıştır.

4.2. Kuyuların Mevcut Durumu

Urganlı bölgesinde jeotermal enerji araştırmalarına yönelik ilk çalışmalar, derinliği 440 m. olan U-1 nolu sondaj kuyusu ile 2001 yılında M.T.A. tarafından gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1). Artezyenik üretimi ortalama 35 lt/s., sıcaklığı 62 °C olan U-1 kuyusu yine bu bölgede ilk kez kurulan Göncüoğlu seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Urganlı jeotermal alanında geniş kapsamlı etüt ve sondaj çalışmalarına 2005 yılında

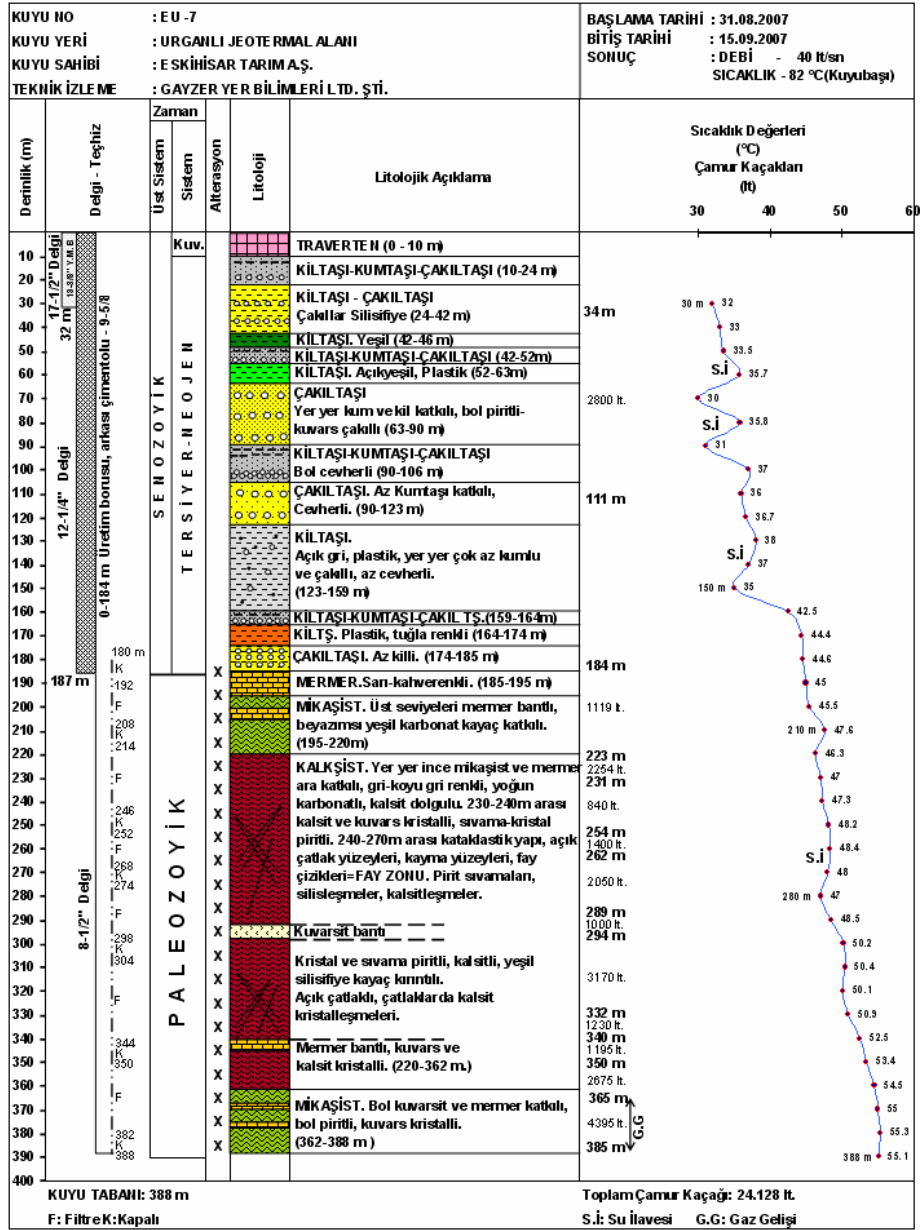
başlanılmıştır (Torbali Meslek Yüksek Okulu, Gayzer Yer Bilimleri, 2005). Bu dönemde 8 adet kuyu açılmış, dokuzuncusu halen devam etmektedir. Tablo 1'den görüleceği gibi kuyu derinlikleri 280-605 m. arasında, sıcaklıklar 62-83 °C arasında değişmektedir. Burada işaret edilen EU seri numaralı kuyular Eskişehir Tarım A.Ş. adına yapılmış olup, bu kuyulardan EU-4,5,6,7,8 nolu kuyular Eskişehir seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Geri kalan kuyulardan EU-3 nolu kuyu kaplıcalarda kullanılmakta, EU-1,2 nolu kuyular şimdilik kullanım dışıdır. EU-4,5,6, nolu kuyuların toplam debisi 50 lt/s., toplam ortalama sıcaklık değeri 80 °C'dir. EU-7,8 nolu kuyuların toplam debisi ve sıcaklığı sırasıyla 77 lt/s. ve 86 °C olup, kuyu sıcaklık değerleri güneyden kuzeye sıcağı getirimini sağlayan Cambazlı fayına doğru artış göstermektedir.

4.3. Kuyuların Isı Potansiyelleri

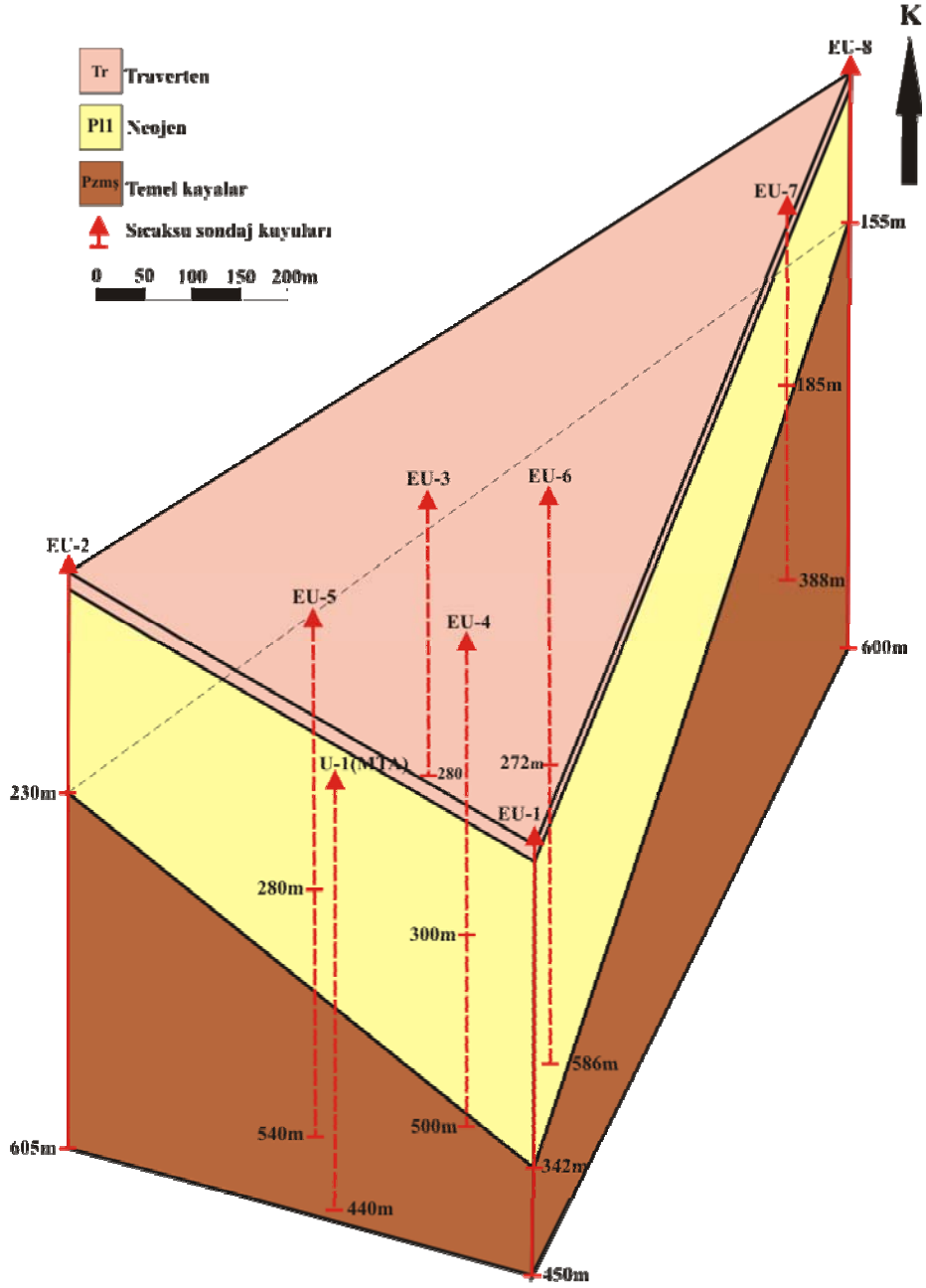
Sera ısıtılmasında kullanılan kuyuların ısı hesaplamaları yapılırken kuyuların alt kullanım sıcaklık değerleri 50 °C olarak kabul edilmiştir. Buna göre Göncüoğlu seralarının ısıtılmasında kullanılan U-1 kuyusu 1 512 000 kcal/h ısı enerjisi vermektedir. Eskişehir Tarım A.Ş. tarafından kullanılan kuyuların suları üretimden sonra taşıma borularında karışımlar olduğu için EU-4,5,6 kuyularının ısı verimi toplam 5 400 000 kcal/h olarak hesaplanmıştır (Şekil 8). Diğer taraftan ayrı bir hatta gelen EU-7,8 kuyularının toplam ısı verimi 9 979 200 kcal/h olarak hesaplanmıştır. EU-4,5,6,7,8 nolu kuyularından gelen suların toplandığı karışım noktasında toplam debi 127 lt/sn, sıcaklık ise 83 °C'dir. Buna göre Eskişehir seralarına ait kuyu verilerinden hesaplanan toplam ısı miktarı 15087 600 kcal/h'tir (17,5 MW_t). Bu enerji ile 105 dönüm sera ısıtması sağlanmaktadır.

4.4. İşletim Problemleri

İnceleme alanında mevcut olan Göncüoğlu ve Eskişehir seraları için toplam 6 kuyudan istifade edilmektedir. Ancak bu kuyular faaliyete geçmeden önce ve üretimleri esnasında herhangi bir test çalışması yapılmamıştır. Ayrıca bu kuyuların hepsi artezyeniktir. Oysa aynı kuyulardan pompalı üretim gerçekleştirilmiş olsa, belki de daha az sayıda kuyudan daha fazla ısı enerjisi elde etmek mümkün olabilecekti. Bunun yanında işletmede diğer bir problem, üretilen sıcağın eşanjör çıkışından sonra reenjeksiyonun yapılmamış olmasıdır. Bilindiği gibi reenjeksiyon haznenin basınç ve üretim dengesini sağlamaktadır. Reenjeksiyonun yapılmamış olması nedeniyle kanaanatimince, kuyulardan kapasiteleri doğrultusunda ısı elde edilememektedir.



Şekil 6. EU-7 Kuyu bitirme logu.



Şekil 7. Urganlı bölgesinde yapılan sıcaksu kuyularının panel diyagramı.

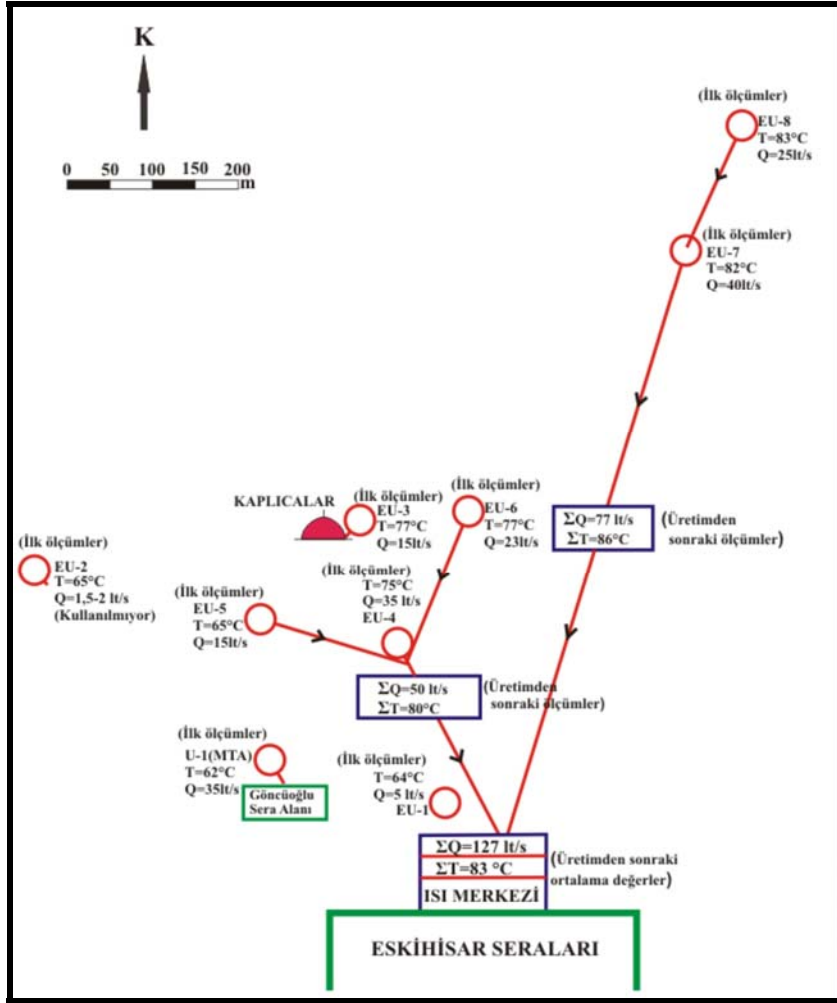
Çizelge 1. İnceleme alanında yapılan sıcaksu sondaj kuyularına ait bilgiler.

Kuyu No	Derinlik (m)	Debi (lt/sn)	Sıcaklık (°C)	Üretim Şekli	Açılış Yılı	Kullanım Yerleri
U-1	440	35	62	Artezyen	2001	Göncüoğlu serası
EU-1	450	10	64	Kuyu içi Pompası	2005	Kullanılmıyor
EU-2	605	1.5-2	65	Artezyen	2005	Kullanılmıyor
EU-3	280	15	77	Artezyen	2006	Kaplıca
EU-4	500	35	75	Artezyen	2006	Eskihisar Tarım
EU-5	540	15	65	Artezyen	2006	Eskihisar Tarım
EU-6	586	23	77	Artezyen	2006	Eskihisar Tarım
EU-7	388	40	82	Artezyen	2007	Eskihisar Tarım
EU-8	600	25	83	Artezyen	2007	Eskihisar Tarım



Urganlı bölgesi sıcaksuları sodyum bikarbonatlı ve gazlı sulardır (Tarcan, Filiz, 1998). Kabuklaşma özelliği gösteren bu sular üretilirken mutlaka inhibitörler kullanılmalıdır. Mevcut kuyularda inhibitörler kullanılmadığından kuyulara nasıl zarar verdiği

bilinmediği gibi kuyu başlarında (Şekil 8) ve eşanjörlerde kabuklaşmaya (Şekil 9), (Şekil 10) neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak eşanjörlerden gerektiği gibi ısı transferi sağlanamamakta ve üretilen termal sudan yeterli ısı enerjisi alınamadığından büyük maddi kayıplar olmaktadır.



Şekil 10. Urganlı bölgesindeki sıcaksu kuyuları taşıma hatları şematik görünümü.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Manisa - Turgutlu, Urganlı jeotermal sahasında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

1. İnceleme alanı, sondaj verilerinden yararlanarak jeolojik, tektonik ve jeotermal enerji açısından yeniden değerlendirilmiştir.
2. Sondajlar arasında geçen jeolojik kesitte, Neojen-Paleozoyik dokanağının hem diskordan hem de düşük eğimli bir fay olduğu tahmin edilmektedir.
3. İnceleme alanında toplam 9 adet sondaj verisinden akışkanın Cambazlı fayından çıktığı, kuzeyden güneye doğru aktığı ve bu akışta bir miktar soğuduğu anlaşılmıştır.
4. Hazne kaya ikincil porozite ve permabilitesi iyi gelişmiş kalkıştiller ve mermerlerdir.
5. Bölgede yapılan ve yapılması planlanan seralar nedeni ile yıllardır atıl kalan Urganlı jeotermal alanı oldukça cazip bir hale gelmiştir.
6. Urganlı jeotermal alanında alt kullanım sıcaklığının 50 °C olarak kabul edilmesi ile görünür toplam ısı potansiyeli 21 MW_t olarak hesaplanmıştır.
7. Jeotermal alanda işletmeden kaynaklanan problemler de bulunmaktadır.
8. En önemli problem, bu alandan üretilen ortalama yaklaşık 150 lt/s. sıcak akışkanın eşanjörlerde ısıyı alındıktan sonra reenjeksiyon yerine dışarı atılmasıdır.
9. Reenjeksiyonun yapılmamış olması kuyu basınçlarının ve sürdürülebilir üretimin azalmasına neden olmaktadır. Bu istenmeyen ve çevreye olumsuz etki yapan bir durumdur.
10. Burada yeni kuyular açılırken, kuyular arası mesafe yeterli uzunlukta olmamaktadır. Bu durum Eskişehir Tarım A.Ş'nin kendisine ait büyük arazilerin olmayışından kaynaklanmaktadır.
11. Mevcut kuyularda üretim testlerinin yapılmamış olması sebebiyle kuyuların birbirlerini etkileyip etkilemediği de kesin bir şekilde bilinmemektedir.
12. Acilen reenjeksiyon çalışmaları ve kuyularda inhibitör uygulamaları başlatılmalıdır.
13. Ayrıca Urganlı jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk suların numuneler alınarak kimyasal yorumlamalar yapılacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., vd., Mayıs 1986, İzmir-Manisa Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Jeoloji Dairesi, ANKARA.
- Demirkıran, Z., Aksoy N., 2005, EU-1 ve EU-2 nolu kuyu bitirme raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksek Okulu, Torbalı, İzmir.
- Gayzer Yer Bilimleri Ltd. Şti., Nisan 2006, Urganlı-Turgutlu (Manisa) Sıcaksu Araştırma Raporu, Bornova, İzmir.
- Karamanderesi, İ.H., 1972 Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) Civarının Detay Jeolojisi ve Jeotermal Olanakları Hakkında Rapor, M.T.A. Derleme rapor no: 5462.
- Ürgün, S., 1966, Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) Civarının Detay Jeolojisi ve Termal Suların Hidrojeolojik Etüdü, M.T.A. Derleme rapor no: 4679.
- Tarcan, G., Filiz, Ş., Mayıs 1998, Turgutlu (Manisa) Kaplıcaları Sıcak ve Mineralli Sularındaki Sodyum Bikarbonat zenginleşmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 3510e, Bornova, İzmir.
- Yanık, G., Uz, B., Esenli, F., Nisan 2006, Turgutlu (Manisa) Yöresi Neojen Çökellerinin Jeolojisi, Cilt:5, Sayı:2, Kısım:2, İstanbulitüdergisi s. 49-58.

NEVŞEHİR-KOZAKLI JEOTERMAL SAHASINDA YENİ BULGULAR

NEW FINDINGS IN NEVŞEHİR-KOZAKLI GEOTHERMAL FIELD

DAĞISTAN H.¹, KARA İ.² ve DURDU M.²

* MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara
e-mail: hayrullah@mta.gov.tr

** MTA Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya,
e-mail: ikara@mta.gov.tr
e-mail: mudurdu@yahoo.com

ÖZET

Orta Anadolu'da Kapadokya Bölgesinin kuzey kesiminde bulunan Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahası, bölgenin sıcaklığı en yüksek (96 °C) olan sahasıdır. Kozaklı jeotermal alanında, eskiden pek çok doğal sıcak su çıkışlarının varlığı bilinmekle birlikte şu an herhangi bir kaynak bulunmamaktadır. Kozaklı jeotermal sahasında, sıcak su elde etmek için şu ana kadar, toplam yirmi üç adet kuyu açılmıştır.

İnceleme alanı ve çevresinde jeolojik olarak, temelde Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik birimler bulunmaktadır. Sahadaki fayların genel uzanımları KB-GD, KD-GB ve KKB-GGD doğrultularındadır.

Kozaklı jeotermal sahasında açılan tüm kuyuların derinlikleri 60-215 m arasında olup rezervuarları Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait fosilli kireçtaşı birimi ve/veya kırık zonlarıdır. Kuyuların debileri 1.5-95 l/s ve sıcaklıkları 45 -96 °C arasındadır.

Sahada yapılan jeoloji ve jeofizik çalışmaların sonucuna göre elde edilen anomalilerin araştırılması ve derindeki rezervuarı belirlemek amacıyla, Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında MTA-K4 jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır. 173.50 m de sahadaki diğer kuyuların rezervuar kayası olan Orta-Üst Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait fosilli kireçtaşı birimi kesilen kuyuda tam kaçak olmuştur. Çimento enjeksiyonu ile kaçağın kapatılmasından sonra ilerlemeye devam edilmiş olup 824 m de ana rezervuar olduğu düşünülen Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifine ait metamorfik birimlere (mermer, kalkışit, mikaşit ve kuvarsit) girilmiştir. Metamorfik birimler içersinde kısmi kaçaklı olarak ilerlemeye devam edilen kuyuda 1262 m de tuz (halit) kesilmiştir. İlerleme Halit (NaCl) birimi içinde devam etmiş olup 1300 m de de Anhidrite (CaSO₄) girilmiştir. 1376 m den

itibaren de masif Anhidrit kesilen kuyuda 1458 m de aynı birim devam etmiştir. Kuyu 1493 m’de Eosen birimleri içinde bitirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kozaklı, halit, anhidrit, jeotermal akışkan, rezervuar.

ABSTRACT

Nevşehir-Kozaklı geothermal field, located to north of Cappadocia region in Central Anatolia, is the hottest (96 °C) geothermal field of the region. The hot springs which are known as active previously in the field, has disappeared later. 23 well have been drilled previously to obtain hot water.

Paleozoic-Mesozoic aged metamorphics form the base rocks of the study area. NW-SE, NE-SW and NNW-SSE trending faults are commonly seen fault directions.

Drillhole depths range from 60 to 215 m in the field. Middle Eocene aged Fossiliferous limestone of Çevirme formation, comprising fracture zones forms the reservoir. Temperature and flow rates of drillholes are 45-96 °C and 1.5-95 l/s respectively.

In order to search the anomalies obtained from the measurements and to discover a possible deeper reservoir, a well with code number MTA-K4 was drilled. During drilling, in depth of 173,50 m fossiliferous limestone of Çevirme formation, the known shallow reservoir met and the drill mud circulation has lost at this level. After injecting cement to the thief zone, drilling has been proceeded and at 824 m metamorphic units (marble, calc-schist, micaschist and quartzite) belonging to Kırşehir Massif of Paleozoic age have been encountered, which is thought to be main reservoir in the field. Halite (NaCl) and anhydrite (CaSO₄) is at 1262 and 1300 m respectively. Between 1376 and 1458 m is massive anhydrite and drilling is still going on. The well was finished at 1493 meters in Eocene formation.

Key Words: Kozaklı, halite, anhydrite, geothermal fluid, reservoir.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı olan Kozaklı jeotermal alanı, Orta Anadolu Bölgesi’nde Nevşehir İlinin yaklaşık 90 km kuzeyinde yer alır (Şekil 1). Yöre, Nevşehir-Kayseri-Yozgat-Kırşehir dörtgeninin ortasında bulunmaktadır. Sondaj yapılan yer, kozaklı ilçesi kaplıcalar mevkiinde Yozgat J33-c1 paftasında bulunmaktadır.

Değişik araştırmacılar tarafından saha ile ilgili ayrıntılı çalışmalar (jeoloji, jeofizik ve sondajlı) yapılmıştır.

Kozaklı jeotermal sahasında açılan tüm kuyuların derinlikleri 60-215 m arasında olup rezervuarları Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait fosilli kireçtaşı birimi ve/veya kırık zonlarıdır. Kuyuların debileri 1.5-95 l/s ve sıcaklıkları 45 -96 °C arasındadır.

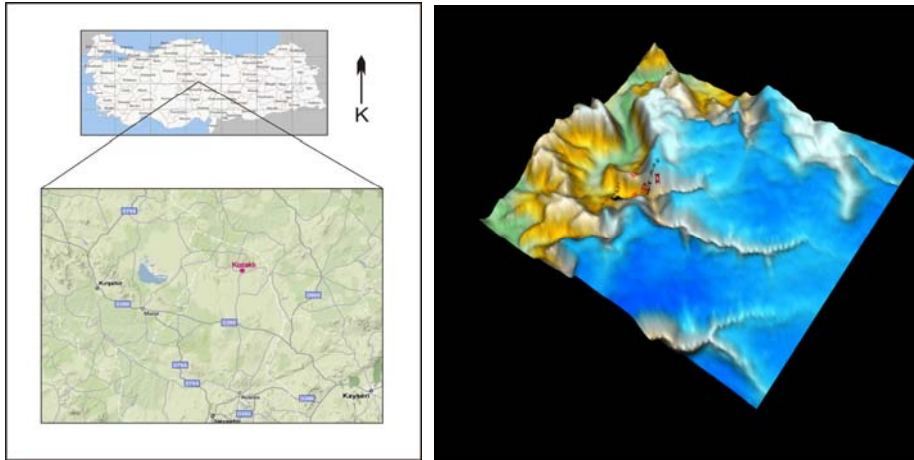
Bu çalışmada, Orta Anadolu Bölgesi Sahaları Geliştirme ve Isı Kaynağı Araştırmaları Projesi kapsamında, Kozaklı jeotermal sahasında, MTA Genel Müdürlüğü tarafından önceki yıllarda yapılan jeofizik-Rezistivite çalışmalarına ilave jeoloji ve jeofizik çalışmalar yapılarak elde edilen anomalilerin araştırılması ve derindeki rezervuarın belirlenmesi amacıyla, MTA-K4 jeotermal araştırma sondajı yapılması amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Kozaklı MTA-K4 kuyusunda delme işlemine 24.08.2007 tarihinde başlanmıştır. Kuyuda 157 m'ye kadar 17 ½ inçlik matkapla ilerleme yapılmış ve 150.00 m'ye 13 3/8 inçlik kapalı boru inilmiştir. Sonra 12 ¼ matkapla 850 m'ye kadar ilerlenmiş ve 840 m'ye 8 5/8 inçlik kapalı muhafaza borusu indirilmiş olup boru arkası çimentolanmıştır. Daha sonra 7 ½ matkapla 1427 m ve 7 3/8 matkapla da 11488.80 m ye kadar ilerleme yapılmıştır. 1488.80 m den 1493. 00 m ye kadar da 4 9/16 lık karotiyerle ilerleme yapıp 4.2 m karot alınmıştır.

Kozaklı MTA-K4 kuyusu, 18.02.2008 tarihinde, 820.00-1222.00 metreler arasına 5 7/8" kapalı ve filtreli kaynaklı üretim boruları ilinerek 1493.00 metrede tamamlanmıştır. Sondaj bitiminde kuyu teçhiz edilip, gerekli ölçüler ve testler yapıldıktan sonra kuyu başı kör flanşla kapatılıp emniyete alınmıştır.

İnceleme alanının ayrıntılı jeolojik haritası yapılmış, sıcak ve soğuk su kaynak ve kuyularından su kimyası, XRD, paleontoloji ve mineraloji-petrografi numuneleri alınmıştır. Sıcaklık, pH, EC değerleri çıkış yerlerinde ölçülmüştür. Kimyasal analizler, MTA genel Müdürlüğü laboratuarlarında, paleontoloji ve mineraloji-petrografi analizleri ise TPAO laboratuarlarında yapılmıştır.

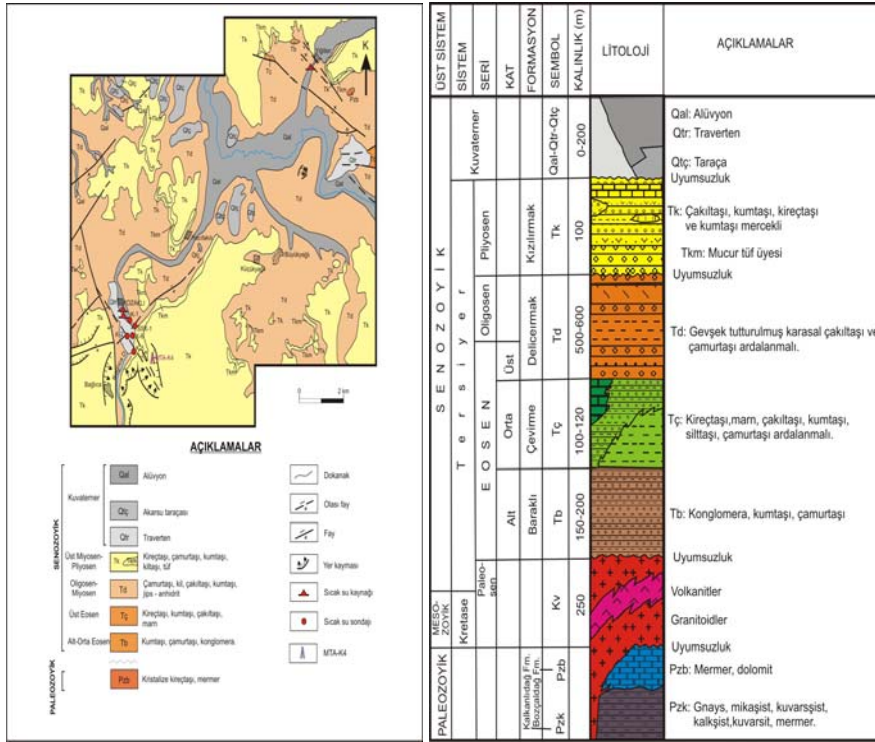


Şekil 1. Nevşehir-Kozaklı jeotermal alanının yer bulduru haritası ve uydu görünümü

3. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı ve çevresinde jeolojik olarak, temelde Paleozoyik yaşlı metamorfikler bulunmaktadır. Bunlar Kırşehir Masifi'nin doğu uzantılarıdır. Masifin genel olarak en altta değişik türde gnays ve şistlerle başladığı bilinmektedir. Daha üst seviyelerine doğru mermer bant ve mercikleri ile şistlerin ardışımı egemen olur. En üstte ise şeker dokulu kristalize kireçtaşı ve mermerler ile bunlarla uyumlu olarak kuvarsitler bulunur.

Kozaklı jeotermal alanı yakın çevresinde, masife ait kristalize kireçtaşı-mermer birimi Yiğitler köyü civarında yüzeylenir (Şekil 2). Birim beyaz, kirli beyaz, gri renkli, orta - iri kalsit kristalli, orta – kalın katmanlı, bazen masif ve yoğun kırıklı- çatlaklı kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşur. Bu temel birimi üzerine uyumsuz olarak Tersiyer çökelleri gelir. Tersiyer birimleri, Eosen yaşlı konglomera, kireçtaşı, kumtaşı ve marnlar, Oligosen yaşlı marn, kil , konglomera, kumtaşı ve jipsler ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı kireçtaşı, marnlı kireçtaşı ve tüflerle temsil olunur. Alanda en genç birimler olarak traverten ve alüvyon yüzeylenir. Traverten bölgeyi denetleyen tektonik hareketlerin etkisiyle oluşan kırılmalar sonucunda sıcak su çıkışlarına bağlı olarak oluşmuştur (Erişen ve Özgür, 1999).



Şekil 2 . Nevşehir-Kozaklı jeotermal alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Erişen ve Özgür,1999’ dan revize edilmiştir) ve dikme kesiti kesiti (Kahraman vd., 2001’ den revize edilmiştir).

3.1. Paleozoyik

Orta Anadolu da genelde Kırşehir masifi olarak bilinen metamorfik birimler, bölgenin en yaşlı kaya topluluğudur. Niğde Grubu (Göncüoğlu, 1977), Kaman Grubu ve Akdağ Masifi gibi isimlerle de tanımlanmış olan Kırşehir Metamorfikleri, magmatik katkılı platform çökellerinin metamorfizmaya uğramış olmasıyla meydana gelmiştir (Kara,

1997). Şekil 2’de çok az bir alanda görülmesine karşın bölgesel olarak izlenen metamorfik birimler, genelde yeşilşist, almandin-amfibolit ve yer yer granülit fasiyesi özellikleri göstermekte olup çeşitli renklerde gnays, şist, mermer, amfibolit, kuvarsit vb. kaya türlerinden oluşur. Litostratigrafik özellikleri göz önüne alınarak iki birime (Kalkanlıdağ Formasyonu ve Bozçaldağ Formasyonu) ayrılmıştır (Şekil 2). Birbirleriyle yanal ve düşey olarak geçişli olan bu kaya birimleri, düzenli bir dizilim göstermezler. Köken kayaç ve çökelim koşullarına bağlı olarak yer yer eksiklidirler (Kara, 1997).

Çalışma alanında metamorfiklerin tabanı görülmez. Tersiyer yaşlı birimler tarafından uyumsuzlukla örtülürler. Masifin kalınlığı ölçülememektedir. Ancak kalınlığının 1000-2000 m arasında olabileceği sanılmaktadır. Şimdiye değin metamorfiklerin yaşı kesin olarak saptanamamıştır. Bolkar Birliği’nin bir bölümü ile olan litostratigrafik benzerliği, Liyas-Kretase yaşlı kayalarla farklı oluşum özellikleri sunması birimin Paleozoyik (Üst Paleozoyik) yaşlı olduğunu düşündürmektedir (Kara, 1997).

3.2. Mesozoyik

Haritalama alanı dışında sahanın güney kesimlerinde, Avanos çevresinde, Kırşehir-Çiçekdağı ve Yozgat çevrelerinde yüzeyleyen asit-nötr bileşimli alkalen-kalkalkalen intrüzif kayalar, Granitoyit ve siyenitoyid şeklinde tanımlanmıştır. Bunlar sığ yerleşmiş plüton ve stoklar ile onların kenar zonlarında gelişen damar ve yüzey kayalarıdır. Bu birimde, Siyenit-Monzonit-Diyorit grubu (Kırşehir granitoidleri) ve Siyenit-Diyorit-Monzonit-Granit grubu (Yozgat Batolitleri) ve Dasitler bulunmaktadır.

Birim, Yukarı Kırşehir-Çiçekdağı çevresinde sokulum şeklinde gözlenir. İri potasyum feldispat kristalli Monzonit veya Monzogranit şeklinde ve altere olmuştur. Yozgat Batolitlerini kesen Andezit bileşimli daykları Yozgat-Yerköy-Delice köyünden Cakcak köyüne giderken görmek mümkündür. Bu daykların Eosen veya daha genç olabileceği düşünülmektedir. Batolit, plüton, stok, damar vb. şekillerde yüzeyleyen derinlik-yarı derinlik kayalardan oluşan kalkalen bileşimli Yozgat Granitoyidi, Orta Anadolu Ofiyolitleri’nin Kırşehir Metamorfikleri’ni üzerlemesi ile gelişen kabuk kalınlaşması sonucu kısmi ergimesiyle oluşmuştur. Harita alanı dışındaki bu birimler, Eosen-Kuvaterner yaşlı kayalar tarafından uyumsuzlukla örtülürler.

Kırşehir-Kaman yöresinde daha önce eşdeğer birimlerde yapılmış olan radyometrik yaş tayinlerine göre Alt-Senoniyen yaşlı olduğu tespit edilmiştir.(Kara ve Dönmez, 1990). Kıta altına doğru gelişen, bir dalma sonucu, alkalen-kalkalkalen kıta kenarı kıta içi mağmatizmasıyla oluşmuşlardır (Kara, 1997). Alt Eosen-kuvaterner sedimentleri tarafından uyumsuzlukla örtülen intrüzifler, Kırşehir Masifi’ni sıcak bir dokanak ile keserler.

3.3. Senozoyik

Çalışma alanı ve civarında Alt Eosen’de karasal, Orta-Üst Eosen’de denizel ve Üst Eosen-Miyosen’ de ise karasal ortamların hakim olduğu gözlenmektedir.

3.3.1. Baraklı formasyonu (Tb)

Harita alanı içinde, sahanın kuzeydoğu kesimlerinde yaygın mostralara sahiptir. Formasyon, kırmızı-kahve, şarabi ve gri renkli katmansız, orta-kalın katmanlı, yer yer ise çapraz katmanlı, linyitli, mağmatik-metamorfik taneli/bloklu (1 metreye kadar) gevşek veya tutturulmuş karasal çakıltaşı, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır.

Baraklı Formasyonu Tersiyer öncesi temel üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Üste doğru Çevirme Formasyonu'na yanıl ve düşey yönde geçişlidir. 100-700 m arasında kalınlık gösterir. Birimin yaşı, yanıl ve düşey yönde geçişli olduğu Orta-Üst Eosen yaşlı Çevirme Formasyonu ile olan ilişkisi göz önüne alındığında Alt-Orta Eosen olarak düşünülmektedir.

3.3.2. Çevirme formasyonu (Tç)

Harita alanı içinde, Yiğitler Köyü nün batı ve güneydoğusunda ve Topaklı dolaylarında gözlenmektedir.

Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı, kireçtaşı ve marnlardan oluşan formasyon, Kara (1997) tarafından Çevirme formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, gri, yeşilimsi gri ve kahvemsi sarı renktedir. Alt düzeyleri çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Üst seviyelere doğru ise, beyaz, gri, bej renkli, kalın tabakalı veya masif fosilli kireçtaşına geçiş gösterir. Topaklı dolaylarında yeşil, koyu yeşil, siyahımsı renkli iri elemanlı ve bloklu konglomeralarla Paleozoyik temel üzerine transgresif olarak oturan birimde, üste doğru kumtaşı egemen olur. Bunlar yanıl ve düşey geçişle nummulitli kireçtaşı, silttaşı ve marnlardan oluşan sığ kıyı-şelf fasiyesine geçer.

Birim, kıyı-şelf koşullarında gelişmiştir. Kumtaşı, silttaşı, düzeyleri genellikle iyi tutturulmuştur. Çamurtaşları yer yer gevşek yer yer de tutturulmuş ve midye kabuğu kırılmalıdır ve formasyonun egemen kayaç türünü oluştururlar. Ortamın giderek karasallaşması ile üste doğru regresif özellikli Deliceirmak Formasyonu'na geçiş gösterir. Birimin kalınlığı 100-200 m kadar olup yaşı Alt-Orta-Üst-Eosen olarak tespit edilmiştir (Kara, 1997).

3.3.3. Deliceirmak formasyonu (Td)

Çalışma alanı ve civarında geniş yayılım gösteren Delice Irmak formasyonu sahanın kuzeyinde Karasenir-Kanlıca-Yiğitler dolaylarından başlar. Bir yandan güneybatıya doğru Doyduk-Ayılı güneyine, diğer yandan güneydoğuya doğru Fakılı istasyonu çevresine kadar uzanır. Kozaklı-Kaşkışla-Büyük Yağlı-Küçük Yağlı dolaylarında da geniş bir yayılım gösterirler (Şekil 2). Evaporitli, kırmızı, kahve, gri renkli gevşek tutturulmuş karasal çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan formasyon regresif özelliktedir. Göl ve akarsu fasiyeslerinde gelişmiştir. Kumtaşları, genelde kaba

taneli, iyi boylanmamış, çapraz ve orta kalın tabakalanma gösterir. Açık renkte olanları kolay kırılır, kızıl renkli olanlar ise serttir. Çakıltaşları köşeli mermer, lav ve kireçtaşı çakıllarından oluşur. Kumtaşlarına göre daha kalın tabakalanma gösterir. Birimin alt düzeylerinde orta-iyi tutturulmuş, ince-orta-kalın paralel katmanlı kumtaşları ile ardalanmalı jips-anhidrit ara bantlı çamurtaşları; orta ve üst düzeylerinde ise çamurtaşları ile ardışıklı ve daha üste doğru artan oranda, alt yüzeyleri erozyonal çapraz katmanlı çakıltaşı ve kumtaşları bulunur.

Birimin alt dokanağı çevirme formasyonu ile uyumluluk gösterirken üst dokanağı Kızılırmak formasyonu ile uyumsuzdur. Birimin yaşı, Çevirme formasyonu ile uyumlu olması ve Kızılırmak formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmesi nedeniyle Üst Eosen-Oligosen olarak düşünülmektedir (Kara, 1997).

3.3.4. Kızılırmak formasyonu (Tk)

Kırmızı kahve, kahve ve gri renkli, gevşek, çakıllı, kumlu, yer yer tüf, kireçtaşı ve kumtaşı mercekleri içeren çamurtaşlarından oluşmuş olan formasyon, çok geniş yayımlı olarak çalışma alanını kuşatır vaziyettedir. Birim, genelde yatay olarak gözlenmekte fakat yer yer paleotopografyaya bağlı olarak 5-10 derecelik bir eğim kazanmaktadır. Genellikle yatay duruşlu olan birim, sığ göl-playa ortamında gelişmiştir.

Birim, alt dokanağındaki marn-kil-konglomera-kumtaşı ve jips birimi üzerine uyumsuzlukla gelir. Üst dokanağında yine uyumsuz olarak Kuvaterner birimleri bulunur. Fosil bulunamadığı için yaş verilememiştir. Ancak çevre sahalardaki yayılımının yanı sıra alt ve üst dokanaklarındaki birimler dikkate alındığında birimin Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı olduğu söylenebilir. Kızılırmak formasyonunun kalınlığı 150 m kadardır (Kara, 1997).

3.3.5. Mucur tüf üyesi (Tkm)

Kızılırmak Formasyonu içerisinde ayırtlanabilen tüfler, Kara, 1997 tarafından Mucur Tüf üyesi olarak adlandırılmıştır. Formasyon içerisinde yatay konumlu bant ve mercekler şeklinde yüzeylenen beyaz, pembe renkli volkanik cam parçalı yumuşak masif volkaniklerdir.

Birim içindeki beyaz, pembe renkli volkanik cam ve süngertaşı parçalı tüfler, cam tüf, dasitik tüf, ignimbirit özelliği taşır. Küçükyağlı dolaylarında, kuvars, oligoklas, biyotit parçaları içeren, kil mineralleşmesi gösteren ve camsı malzeme ile birbirine bağlanmış olan dasitik cam tüfler egemendir. Kaşıkışla köyü batısındaki tüflerde süngertaşı parçaları cam matriks içinde yer alır. Topaklı kuzeydoğusundaki tüflerde ise ignimbiritik tekstür gösteren ve oligoklas, kuvars, az biyotit parçaları içeren tüf yüzlekleri izlenir. Kalınlığı 1-5 m arasında değişen birim, yer yer killeşmiştir.

3.4. Kuvaterner

3.4.1 Traverten (Qt)

Travertenler, Bağlıca vadisi sol yamacında Taşlıbayır sırtında, eski sıcak su kaynaklarının çıkış noktalarında, Yiğitler Köyü'nün güneydoğusunda Kozanözü vadisinin sağ yamacında yayılım gösterir. Travertenler ayrıca, özellikle sıcak suların ve bazen de soğuk suların yüzeyden akarken içerdikleri CO₂'in uçması ve kirecin çökmesi ile oluşmuşlardır. Kalınlıkları en fazla 50 m dir.

3.4.2 Taraça (Qç)

Tersiyer havzasını dolduran Pliyosen gölünün Kuvaterner döneminde yarma vadilerin dış drenaja açılması sonucunda, havza dolguları üzerinde Kuvaterner vadi şebekesi oluşmuştur. Ana akarsuların ve yan derelerin açtığı vadiler, pliyosen dolgu yüzeylerine, üç evreli bir süreç içinde, gömülmüş ve bu gelişme yöre morfolojisine akarsu taraçaları olarak yansımıştır (Erişen ve Özgür. 1999).

3.4.2 Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında, Bağlıca ile Eşe deresi boyunca ve sahanın kuzeydoğu kesimlerinde vadiler boyunca gözlenmektedir. Genç alüvyonlar, akarsu ve vadi tabanlarındaki ve ova düzlüklerindeki pekişmemiş çakıl, kum, kul ve silt'ten oluşmuştur. Harita alanı kuzeydoğu köşesinde geniş bir alanda haritalanmıştır. Bu alüvyonların kalınlığının 25-30 m' ye kadar ulaşabileceği düşünülmektedir.

4. TEKTONİK

Hersiniyen ve Alp orojenezleri etkisinde kalan inceleme sahası ve çevresinde sıkışma ve gerilme rejimli tektonik hareketler sonucunda, gerek Paleotektonik gerekse Neotektonik dönemde faylar, kıvrımlar, bindirmeler ve açılma çatlakları oluşmuştur. Sahadaki fayların genel uzanımları KB-GD, KD-GB ve KKB-GGD doğrultularındadır. Ayrıca jeofizik etütler sonucu belirlenen yaklaşık D-B yönlü yapılar da bulunur.

Kozaklı jeotermal sahasında, yaygın bir örtü oluşturan Oligosen yaşlı Deliceirmak formasyonuna (çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı) ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonuna ait birimlerin (çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, kireçtaşı, tuf) tektonik etkinin izlerini önemli ölçüde gizlemesi nedeniyle, sahada tektonik etkinliğinin göstergesi olan fay çizgileri (kertik) ve fay düzlemleri gibi yapısal unsurlar görülmemektedir. Bu nedenle bölgede, akarsu drenaj sistemlerinin doğrusal uzanımları olası tektonik yapılarla işaret eden unsurlar olarak düşünülmektedir. Bu da sahada KKB-GGD yönlü uzanım gösteren akarsuların (bağlıca ve eşe deresi) ve vadilerin morfolojik özelliklerinin, neotektonik dönemle birlikte şekillenmeye başladığını ve genç tektonik yapılarla denetlendiğini ortaya koymaktadır.

5. HİDROJEOLOJİ

5.1. Formasyonların Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma sahasında temeli oluşturan ve gri, beyaz renkli kırıklı ve çatlaklı yapıda mermerlerden oluşan Bozçaldağ formasyonu yüksek permeabilite ve poroziteye sahip olduklarından geçirimli birimler olup ana rezervuar özelliğindedir.

Temel birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelen çökel birimlerinden Alt-Orta Eosen yaşlı sıkı tutturulmuş konglomera ve kumtaşından oluşan Baraklı Formasyonu yarı geçirimli, Orta-Üst Eosen yaşlı ve Kozaklı jeotermal sahasındaki mevcut kuyuların rezervuar kayasını oluşturan Çevirme Formasyonu'nun numulitli kireçtaşı seviyeleri, permeabilite ve poroziteleri yüksek olduğunda geçirimli birimler olup rezervuar kaya özelliğindedir. Oligosen yaşlı Deliceirmak, Formasyonu ile Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı, karasal klastik, volkanik ve karbonat kayalarından oluşan Kızılırmak Formasyonu'na ait birimlerden gevşek tutturulmuş çakıltası, kumtaşı ve killi kireçtaşı seviyeleri geçirimli, siltli seviyeleri yarı geçirimli, killi seviyeler ise geçirimsizdir. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonlar da geçirimlidir. Kozaklı MTA-K4 kuyusunda bu birimlerin tümü kesilmiştir.

5.2. Sıcak Su Kaynakları ve Kuyular

Kozaklı jeotermal alanında, eskiden pek çok sıcak su kaynağının varlığı bilinmekle birlikte şu an herhangi bir kaynak bulunmamaktadır. Alanda 1974 yılında yapılan etütlerde, sahadaki akarsular olan Eşe deresi ve Bağlıca deresinin kesiştiği yerde, gruplar halinde toplanmış, sıcaklıkları 42 - 92 °C arasında değişen ve toplam debileri yaklaşık 94,2 l/s olarak hesaplanmış yaklaşık 100 adet sıcak su kaynağından söz edilmektedir (Özbek, 1975). Alanda son olarak 1992 yılında gerçekleştirilen etütlerde, yapılan sondajlar sonrasında belediye hamamındaki kaynaklar dışındaki kaynakların tamamen kurduğu tespit edilmiştir (Erişen ve Özgür, 1999).

Kozaklı jeotermal alanında jeolojik ve jeofizik etütler sonucu belirlenen lokasyonlarda MTA Genel Müdürlüğü tarafından sondajlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Alanda, 1965 yılında on iki ve 1967 yılında üç adet olmak üzere toplam on beş adet gradyan sondajı yapılmış, bu kuyulardan üç tanesinde (G-2, G-5 ve G-6) sıcak su üretimi olmuştur. Sahada daha sonra yine MTA Genel Müdürlüğü tarafından üç adet sıcak su kuyusu (SSK-1, K-1 ve K-3) açılmıştır (Durgun, 1998; Hamut vd., 1992; Özgür vd., 1997).

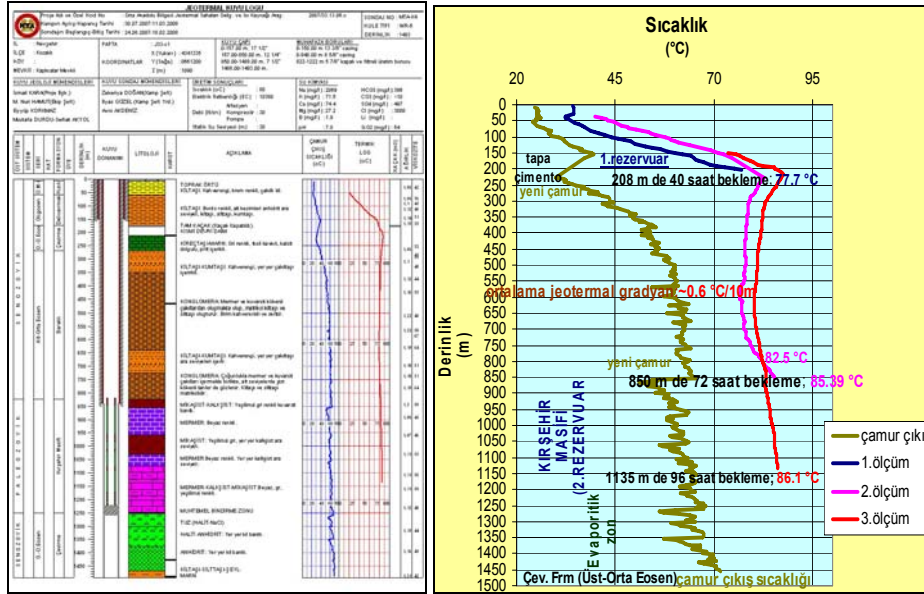
Yerinde yapılan incelemelerle Kozaklı jeotermal alanında, Özel İdare Müdürlüğü tarafından üç ve özel şahıslarca yirmi adet olmak üzere toplam yirmi üç adet sıcak su kuyusunun değişik tarihlerde açıldığı belirlenmiştir.

6. KOZAKLI MTA-K4 JEOTERMAL SONDAJI

Kozaklı jeotermal sahasında, sahanın geliştirilmesi amacıyla daha derinlerdeki jeotermal potansiyelin ortaya çıkarılması için MTA Genel Müdürlüğü, 2007 yılı iş programında yer alan 2007/33.13.06c – 2008/33.13.05a proje kod nolu Orta Anadolu sahaları geliştirme ve ısı kaynağı araştırmaları-Konya ve çevresi jeotermal enerji aramaları projesi kapsamında Nevşehir ili Kozaklı ilçesinde Kozaklı MTA-K4 jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır (Şekil 3).

Kozaklı MTA-K4 kuyusunda delme işlemine 24.08.2007 tarihinde başlanmıştır. Kuyuda 157 m'ye kadar 17 ½ inçlik matkapla ilerleme yapılmış ve 150.00 m'ye 13 3/8 inçlik kapalı boru inilmiştir. Sonra 12 ¼ matkapla 850 m'ye kadar ilerlenmiş ve 840 m'ye 8 5/8 inçlik kapalı muhafaza borusu indirilmiş olup boru arkası çimentolanmıştır. Daha sonra 7 ½ matkapla 1427 m ve 7 3/8 matkapla da 11488.80 m ye kadar ilerleme yapılmıştır. 1488.80 m den 1493. 00 m ye kadar da 4 9/16 lık karotiyerle ilerleme yapıp 4.2 m karot alınmıştır.

Kozaklı MTA-K4 kuyusu, 18.02.2008 tarihinde, 820.00-1222.00 metreler arasında 5 7/8" kapalı ve filtreli kaynaklı üretim boruları ilinerek 1493.00 metrede tamamlanmıştır.



Şekil 3. Kozaklı MTA-K4 jeotermal sondajı litoloji logu ve sıcaklık dağılımı.

Kozaklı MTA-K4 Kuyusunda jeolojik olarak 824 metreye kadar Tersiyer çökel birimleri (Kızıllırmak Formasyonu, Deliceirmak Formasyonu, Çevirme Formasyonu ve Baraklı Formasyonu), 824 m'den 1250 m'ye kadar Kırşehir Masifine ait Kalkanlıdağ ve Bozçaldağ Formasyonu birimleri (mermer, mikaşist, kalkşist, kuvarsit), 1250 m den

1469 m ye kadar Tuz birimleri (üstte Halit-NaCl, aşağıya doğru Anhidrit-CaSO₄) (muhtemel bindirme zonu) ve 1469 m den 1493 m ye kadar ise Çevirme Formasyonu birimleri (fosilli dolomit, kıltaşı, silttaşı, şeyl ve marn) kesilmiştir (Şekil 3). Kozaklı sahasındaki diğer tüm kuyuların rezervuar kayasını oluşturan Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait fosilli kireçtaşı birimi MTA-K4 Kuyusunda kapalı geçilmiştir.

6.1. Kuyuda Alınan Jeofizik Log Ölçüleri

Kozaklı MTA-K4 kuyusunda jeotermal anlamda ilk değerlendirmelerin yapılması için 214. metrede ve 850.m de Termik,Gama-Ray-Nötron, Density, Sonic ve Caliper jeofizik well-logging ölçüleri alınmıştır. Genel değerlendirmelerin yapılması amacıyla 1390 m de Termik log ölçüsü ile 1426 m de Termik ve Gama-Ray-Neutron jeofizik log ölçüleri alınmıştır. Kozaklı MTA-K4 kuyusunda kuyunun bitirilmesi ile ilgili olarak son jeotermal değerlendirmelerin yapılması için 1493. m de TPAO tarafından permeabilite-porozite zonları belirlenmesi ve sıcaklık dağılımının görülmesi amacıyla Termik,Gama-Ray-Neutron, Sonic, Density ve Caliper jeofizik well-logging ölçüleri alınmıştır.

Kuyuda sıcaklık olarak 210 m ye kadar normal jeotermal gradyanın üzerinde bir artış, 210 m den 600 m lere kadar hemen hemen sabit gradyan değerleri ve 600 m den sonrada normal jeotermal gradyanın üzerinde bir artış izlenmiştir. 1134 m'de kuyu taban sıcaklığı 87 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4).

6.2. MTA-K4 Kuyusunda Yapılan Kuyu Geliştirme ve Üretim Test Çalışmaları

Orta Anadolu Bölgesi Sahaları Geliştirme ve Isı Kaynağı Araştırmaları Projesi kapsamında yapılan Nevşehir-kozaklı jeotermal araştırma sondajında (MTA-K4), 18.02.2008 tarihinde, 820.00-1222.00 metreler arasında 5 7/8" kapalı ve filtreli kaynaklı üretim boruları ilinerek 1493.00 metrede kuyunun tamamlanmasından sonra, 24.02.2008-01.03.2008 tarihleri arasında 7 gün süreyle kompresörle kuyu geliştirme ve üretim test çalışmaları yapılmıştır. Kuyuda 32 saat süreyle yapılan üretim test çalışmaları sonucunda (kompresörle 270 m den 22 atm. basınçla) 30 l/sn debide ve 80 °C sıcaklığında akışkan elde edilmiştir . Kuyuda statik seviye ise 30 m dir. Kuyudan pompa ile daha yüksek sıcaklıkta ve debide akışkan elde etmek mümkündür.

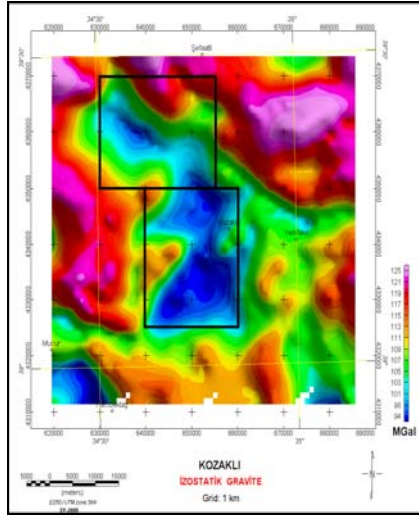
7. JEOTERMAL POTANSİYEL

Jeotermal akışkanın depolanmasını sağlayan rezervuar kaya, depolanan akışkanın ısı kaybını önleyen örtü kaya ve jeotermal enerjinin oluşumunda ısı kaynağının olumluluk göstermesi hidrotermal sistemlerin oluşmasında ve entalpinin yükselmesinde büyük önem taşır.

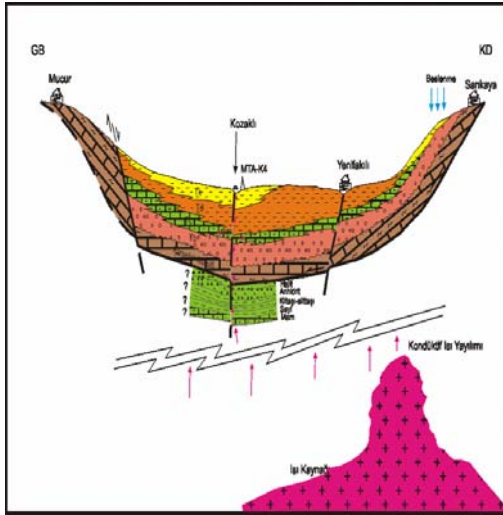
Kozaklı jeotermal sahasında Kırşehir Masifine ait metamorfik birimler olan kristalize kireçtaşı, mermer (Bozçaldağ Formasyonu) ve kuvarsitlerin (Kankanlıdağ Formasyonu), yoğun kırıklı ve çatlaklı olması nedeniyle ana rezervuar kayayı oluşturduğu düşünülmektedir. Kozaklı MTA-K4 kuyusunda 824 m de bu birimlere girilmiştir. Yine

Kırşehir Masifi üzerine uyumsuzlukla gelen fosilli kireçtaşı, marn, kumtaşı ve konglomeralardan oluşan Orta-Üst Eosen yaşlı Çevirme Formasyonu da rezervuar kaya özelliğindedir. Özellikle, tektonik hareketlerle oluşan kırık-çatlaklar ve erime boşlukları sonucunda, ikincil permeabilite kazanmış fosilli kireçtaşları Kozaklı jeotermal sahasında önemli üretim zonu durumundadır. Nitekim sahada açılan tüm sığ derinlikli kuyularda sıcak akışkan üretimi, bu fosilli kireçtaşı birimlerinden yapılmaktadır. Bu birime vadi içersinde yaklaşık 100 m derinliklerde girilmekte olup Kozaklı MTA-K4 kuyusunda 173.50 m de kesilmiştir.

Sahada düşünülen jeotermal sistemin örtü birimlerini ise ana rezervuar olduğu düşünülen temel kaya birimleri üzerinde yer alan ve sahada yapılan MTA-K4 kuyusunda da oldukça kalın kesilen (268-824 m arası) Alt-Orta Eosen yaşlı Baraklı Formasyonunun sıkı tutturulmuş kumtaşı ve konglomera birimleri, Orta-Üst Eosen yaşlı Çevirme Formasyonunun kırıntılı birimleri (kıltaşı, kumtaşı), konglomera, kıltaşı, çamurtaşı ve jipslerden oluşan Oligosen yaşlı Deliceirmak Formasyonu ve kumtaşı, konglomera, kıltaşı ve tüflerden oluşan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızıllırmak Formasyonu oluşturmaktadır. Kozaklı ve çevresinin TPAO dan alınan İzostatik Gravite haritası verilerine göre sahadaki jeotermal sistemin örtü kalınlığının yaklaşık 4000 m ler olduğu gözükmemektedir (Şekil 4). Kozaklı MTA-K4 kuyusunda da 1250 m deki muhtemel bindirme zonundan sonra 1493 m ye kadar kesilen birimlerin Tersiyer örtü birimleri olması (kıltaşı, siltaşı, şeyl ve marn) yukardaki veriye destek olmaktadır.



Şekil 4. Kozaklı ve çevresinin izostatik gravite haritası (TPAO dan alınmıştır)



Şekil 5- Kozaklı jeotermal sahasının jeotermal modeli.

Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında, ısı kaynağı olarak yorumlanabilecek genç volkanik oluşumlara rastlanmamaktadır. Bölgenin Rejyonel Havadan Manyetik haritasına bakıldığında Kozaklı'nın KKD kesiminde bir anomalinin olduğu ve bu anomalinin de yeraltında mağmatik bir sokulum veya endojen bir dome karşılık gelebileceği, bundan dolayı da ısıtıcı kayaç olarak düşünülebileceği kabul edilebilir. TPAO tarafından yapılan çalışmalarda da Kozaklı ve çevresinde bu anomali görülmektedir.

Kozaklı sahasının jeotermal modeli olarak, derinlerde yerleşmiş olan soğumamış mağmatik intrüzyon kütlelerinden kabukta yayılan ısı enerjisinin, fay düzlemleri boyunca derinlere inen ve rezervuar kayalarda depolanmış olan meteorik kökenli suların ısınmasını, mineral ve erimiş gazlarla zenginleşmesini sağladığı düşünülmektedir. Isınan ve mineralce zengin olan bu sular da basıncında etkisiyle fay zonları, kırık ve çatlaklar boyunca yeryüzüne çıkıp, mineralize sıcak su kaynaklarını oluşturmaktadırlar (Şekil 5).

8. SONUÇLAR

Orta Anadolu'da Kapadokya Bölgesinin kuzey kesiminde bulunan Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahası, bölgenin sıcaklığı en yüksek (96 °C) olan sahasıdır. Kozaklı jeotermal alanında, eskiden pek çok doğal sıcak su çıkışlarının varlığı bilinmekle birlikte şu an herhangi bir kaynak bulunmamaktadır. Kozaklı jeotermal sahasında, sıcak su elde etmek için şu ana kadar, toplam yirmi üç adet kuyu açılmıştır. Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında derindeki rezervuarı belirlemek amacıyla, MTA-K4 jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır.

Kozaklı MTA-K4 kuyusunda delme işlemine 24.08.2007 tarihinde başlanmıştır. MTA-K4 kuyusu, 18.02.2008 tarihinde, 820.00-1222.00 metreler arasına 5 ^{7/8}" kapalı ve filtreli kaynaklı üretim boruları ilinerek 1493.00 metrede tamamlanmıştır. 1134 m'de kuyu taban sıcaklığı 87 °C olarak ölçülmüştür.

Nevşehir-Kozaklı MTA-K4 jeotermal araştırma sondajında, kompresörle 32 saat süreyle yapılan üretim test çalışmaları sonucunda (kompresörle 270 m den 22 atm. basınçla) 30 l/sn debide ve 80 °C sıcaklığında akışkan elde edilmiştir. Kuyuda pompa ile daha yüksek debide ve sıcaklıkta akışkan elde etmek mümkündür.

Ortalama jeotermal gradyan ~0,6 °C/10 m olarak bulunmuştur. Kozaklı MTA-K4 kuyusundan 5.65 MWt enerji elde edilmiştir.

Kozaklı MTA-K4 kuyusunda jeolojik olarak 824 m de girilen Kırşehir Masifi birimleri içerisinde (mermer, kalkışist, mikaşist kuvarsit) ilerlemeye devam edilirken 1250. m de tuza (Halit;NaCl ve Anhidrit; CaSO₄) girilmiştir (muhtemel bindirme zonu). Bu birim içerisinde kısmi kaçaklı olarak (2m/0.7 m³) ilerlemeye devam edilmiş olup 1469. m de de Tuzların altında muhtemel Orta-Üst Eosen yaşlı Çevirme Formasyonuna ait fosilli kireçtaşları, kilttaşları, silttaşları ve marn birimleri kesilmiştir.

Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında, yapılan ilk derin araştırma sondajı olan MTA-K4 kuyusu verilerine göre, sahadaki jeotermal sistemin bir parametresi olan rezervuar kayanın (Kırşehir Masifi) daha derinlerde olduğu (1500 m nin altı) anlaşılmıştır. Bu durum sahadaki jeofizik Gravite ve Manyetik verileri ile de çakışmaktadır. Tahmini örtü kalınlığı 4000 m dir.

Rezervuar sıcaklığı (Jeotermometre) hesaplamalarında, elektrik üretimine uygun olabilecek sıcaklık değerleri elde edilen Kozaklı jeotermal sahasında, daha ayrıntılı jeoloji ve jeofizik (sismik v.b.) çalışmaların yapılarak derin bir araştırma kuyusu açılması ve sahanın gerçek jeotermal potansiyeli ile diğer enerji kaynaklarının (kömür, doğalgaz vb.) araştırılması uygun olacaktır.

9. KAYNAKLAR

- Durgun, H., 1998, Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahası K-3 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu (hazırlanmakta)
- Erişen, B., ve Özgür, R., 1999, Kozaklı (Nevşehir) alanının jeotermal enerji olanaklarına ilişkin değerlendirme raporu: MTA Derleme Rapor No:10376, 26 s. (yayımlanmamış) .
- Göncüoğlu, M. C., 1977, Geologic des westhichen Niğde Massivs. Bonn Univ.: Doktora tezi, 181 s, (yayımlanmamış).
- Hamut, M. N., Erzenoğlu, Z. ve Gökmenoğlu, O., 1992, Nevşehir-Kozaklı SSK-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu: MTA Derleme Rapor No: 9420, 10 s. (yayımlanmamış)
- Kahraman, S., Yücel, B., Dağıstan, H. ve Yıldırım, N., 2001, Orta Anadolu (Kırşehir-Çiçekdağı-Yerköy) jeotermal enerji aramaları etüt raporu: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No:10462, (yayımlanmamış).
- Kara, H., 1997, M.T.A. 1:100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No:54, Yozgat-G19 Paftası, Ankara.
- Kara, H. ve Dönmez, M., 1990, 1/100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırşehir-G17 paftası: MTA yayını.
- Özbek, T., 1975, Nevşehir -Kozaklı Kaplıcası Hidrojeoloji Etüt Raporu: : MTA Derleme Rapor No: 5451, 25 s. (yayımlanmamış)
- Özgür, R., Uygur, N., Güdücü, A. ve Önder, M., 1997, Nevşehir-Kozaklı K-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu: MTA Derleme Rapor No:10275, (yayımlanmamış)

ÜLKEMİZDE JEOTERMAL SONDAJCILIK

GEOHERMAL WELL DRILLING IN TURKEY

Adil ÖZDEMİR

Sondajcılar Birliği Bilimsel ve Teknik Danışma Kurulu Üyesi,
Adil Özdemir Sondaj ve Mühendislik, Ankara
adil@adilozdemir.com

ÖZET

Jeotermal sondajların 40 yıl civarında bir tarihi vardır. Jeotermal sondaj teknikleri, petrol ve doğalgaz sondaj tekniklerinin devamı şeklindedir. Fakat, edinilen tecrübeler sonucunda jeotermal sondajlar için bazı farklı uygulamalar geliştirilmiştir. Mühendislik, genel anlatımla gerekli işi en güvenli ve en düşük maliyetle yapabilme sanatı olarak tanımlanabilir. Mühendislik tabanlı bir çalışma olan jeotermal sondaj çalışmalarının da, bu tanıma uygun olarak gerçekleştirilmesi esastır. O halde, jeotermal akışkanlardan değişik şekillerde yararlanmak amacıyla yapılacak olan sondaj çalışmalarının da gerekli güvenlik ve yeterlilik sınırları içerisinde en kısa sürede, en düşük maliyetli olarak uygun sondaj tekniği ile yapılması gereklidir. Bu sunumda, ülkemiz jeotermal sondaj sektörünün yapılanması, eğitim durumu ve sektörel uygulamalar irdelenmiş ve bazı öneriler getirilmiştir.

Anahtar Terimler; Jeotermal Enerji, Sondaj

ABSTRACT

Geothermal drillings has an approximately 40 years of history and it is like continuation of oil-gas drilling technique. Geothermal drilling techniques are the same techniques on the basis with oil and gas drilling techniques, but some different applications are improved for geothermal drillings as a result of experiences obtained. The engineering may shortly be defined in general meaning as the art of executing the work safely and with the lowest costs. Geothermal drillings which are based on engineering must be executed in compliance with this definition. The drilling works which will be made with a purpose of benefiting from geothermal solutions in various forms, must be executed in the limits of necessary safety and capability in shortest time and with least costs and appropriate drilling technique.

In this presentation, organization of geothermal drilling sector, situation of education and sectoral applications are being examined and some recommendations are made.

Keywords: Geothermal Energy, Drilling

1. GİRİŞ

Jeotermal sondajların 40 yıl civarında bir tarihi vardır. Jeotermal sondaj teknikleri, petrol ve doğalgaz sondaj tekniklerinin devamı şeklindedir. Fakat edinilen tecrübeler sonucunda jeotermal sondajlar için bazı farklı uygulamalar geliştirilmiştir (Tan, 2002).

Mühendislik, genel anlatımla gerekli işi en güvenli ve en düşük maliyetle yapabilme sanatı olarak tanımlanabilir. Mühendislik tabanlı bir çalışma olan jeotermal sondaj çalışmalarının da, bu tanıma uygun olarak gerçekleştirilmesi esastır. O halde, jeotermal akışkanlardan değişik şekillerde yararlanmak amacıyla yapılacak olan sondaj çalışmalarının da gerekli güvenlik ve yeterlilik sınırları içerisinde en kısa sürede, en düşük maliyetli olarak uygun sondaj tekniği ile yapılması gereklidir.

Jeotermal sondaj çalışmaları, bir program ekseninde yapılmalıdır. Jeotermal sondaj çalışmalarında program hazırlamanın amacı, zaman faktörünü iyi kullanarak, sondaj makina ve ekipmanları ile sondaj personelinin en uygun şekilde kullanılmasını sağlamaktır.

Jeotermal sondajlar yapılırken, ekonomik unsurlar da dikkate alınmalıdır. Sondaj maliyetleri de zamanın bir unsuru olacağından, yapılacak sondajlarının süratle ikmali gereklidir. Bununla birlikte, insan hayatının değeri, diğer yandan malzemenin en uygun şekilde kullanılması için gerekli emniyet tedbirleri ve teknik tedbirler sondaj programları yapılırken en ince ayrıntısına kadar düşünülmelidir (Özdemir,2006a).

Jeotermal ve petrol/doğalgaz sondaj çalışmalarının yapıldığı sahalarda jeolojik yapı farklılıkları bulunmaktadır. Jeotermal sistemler volkanik ve/veya tektonik, petrol ve doğalgaz oluşumları ise hemen hemen tümüyle sedimanter alanlarda bulunmaktadır. Petrol/doğalgaz sondajlarının yapılacağı sahalardaki formasyonlar sıkışmış olup genelde pozitif basınca sahiptirler. Bu sebeple dolaşım sıvısı ve çimento kayıpları minimum seviyededir. Aynı zamanda yersel ısı değeri normal seviyededir. Ayrıca, doğalgaz ve diğer akışkanların yıpratıcı etkilerinin jeotermal alanlarda olduğu gibi ısı ile artması problemi de yoktur. Jeotermal sondajlarının yapılacağı sahalardaki formasyonlar ise, yüksek bozuşma ve kırılmalar gerekse volkanik yığılmalar içermektedir. Bu formasyonlar yüksek sıcaklığa ve içerdikleri gaz miktarına bağlı olarak bazen pozitif, genellikle de negatif hidrostatik basınca ve yüksek yıpratıcı (korozif) etkiye sahiptirler. Yüksek sıcaklık nedeniyle her derinlikte ve her dereceden bozuşmaya uğramışlardır. Tektonizma etkisiyle de her dereceden oldukça düzensiz kırılmalara ve çatlak sistemlerine sahiptirler. Jeotermal sahaların yüzey kesimlerinde genellikle araları yumuşak madde dolgululu sert volkanik kaya bloklarından oluşan gevşek tabakalar mevcuttur. Sonuç olarak, jeotermal sahalardaki formasyonlar çok değişik sertliklere sahip, aşırı çatlaklı, kırılmalı, yerine göre hareketli, kolay çöken, dolaşım sıvısı ile temas ettiklerinde kolay dağılılabilen litolojiler olup sondajı zor, daha özel planlama ve dikkat istemektedir. Öyle ki, aynı jeotermal saha içerisinde yer alan kuyularda bile oldukça farklı litolojiler gözlemek mümkündür (Tan,2002).

Sondaj tekniği ve sondajcılık, mühendisler tarafından seçilen ve icra edilen bir uzmanlık dalıdır. Sondaj tekniği ve uygulamalarının da, arama, üretim ve yatırım konuları kadar önemli olduğunun benimsenmesi jeotermal enerji sektörünün gelişimini olumlu yönde etkileyecektir (Özdemir,2006b).

2. SEKTÖREL DURUM

Ülkemiz jeotermal sondaj sektörünün MTA, İLLER BANKASI ve özel sektör sondaj firmaları olmak üzere üç şekilde yapılandığı görülmektedir. MTA ve İLLER BANKASI'nın kısmen modern sondaj makine-ekipman ve deneyimli personel ile çalıştığı, özel sektör firmalarımız için ise durumun biraz farklı olduğu söylenebilir. Özel sektör firmalarımız tarafından yapılan jeotermal sondaj çalışmaları, teknik yetersizlik ve denetim eksikliği nedeniyle başarısız olabilmekte veya istenilen sonuçlara ulaşılabilmesini engelleyebilmektedir.

3. EĞİTİM DURUMU

1. Jeotermal sondaj çalışmalarında görev alan jeoloji mühendislerinin konuya ilişkin deneyim ve bilgi birikimlerini artırmaları önem taşımaktadır.

2. Jeotermal sondaj çalışmalarında görev alan mühendislerin yabancı dil problemleri vardır ve uluslararası yayın ve çalışmaları takip edememektedirler. Ayrıca, jeotermal sondaj tekniği hakkında Türkçe yayın eksikliği vardır. Bu durum büyük bir eksiklikler. Bu açığın kapatılması gerekmektedir. Bu hususta, deneyimli meslektaşlarımıza önemli görevler düştüğü de açıktır.

3. Türkiye'de gelişme evresinde olan jeotermal sondaj sektöründeki sorunlardan bir tanesi de sondör eğitimi ve sayısının azlığıdır. Jeotermal sondajlarda çalışan sondörlerin çoğunluğunun bilgi düzeyi yetersizdir. Sondörlerin milyon dolarlık proje, makine veya kulelerde çalıştığı göz önünde bulundurulursa, sondörlerin eğitim seviyesi yükseltilmesinin gerekliliği şart olmaktadır. Sondörler teorik ve pratik bilgi ile donatılmalıdır. Türkiye'de sondör eğitimi problemi çözülmüş değildir ve sondaj sektörünün kanayan yarası durumundadır. Kuruluşlar, yetişmiş sondör bulmakta ve eğitim konusunda zorluklarla karşılaşmaktadırlar.

Ülkemizde sondörlük mesleği, ustadan çırağa geçer bir sistemle devam etmektedir. Ülkemizde sondaj eğitimi veren 5 meslek yüksek okulu bulunmaktadır. Bunların dördü sondajcılık, diğeri petrol sondajı ve üretimi adı altında eğitim yapmaktadır. Bu bölümlerden mezun olan kişiler, ünvan ve konum problemi yaşamaktadırlar. Sondör olamamaktadırlar. Çünkü, kendilerine tekniker ünvanı verilmektedir ve aldıkları eğitim teorik ağırlıklıdır. Ayrıca, istihdam problemi vardır. Kamu kuruluşlarımızda bu şekilde bir tekniker kadrosu bulunmamaktadır. Eğitim uygulama ile desteklenmelidir ve kadro/konum problemi çözülmelidir. Uluslar arası ölçekte bu tip eğitim alan okullardan tekniker değil, sondör yetiştirilmektedir (Özdemir,2006c).

4. Jeotermal sondaj çalışmalarında görev alan mühendislere, başsondör ve sondörlere mutlaka uygulamalı kuyu kontrol teknikleri eğitimi verilmelidir. Bu konuda, TPAO'nun deneyiminden ve eğitim imkanlarından yararlanılabilir. Bu eğitim programlarının ücretlerinin düşük olması ve bireysel katılımlara olanak sağlaması durumunda, eğitim programlarına katılımı artıracaktır.

5. Bütün sondaj personeline çamur bileşenleri, özellikleri ve bu özelliklerin ifade ettiği anlamlar üzerine detaylı bir eğitimin verilmesi yararlı olacaktır. Bu konuda yine TPAO'nun bilgi birikiminden ve eğitim imkanlarından yararlanmak amacıyla modeller oluşturulabilir.

4. UYGULAMALAR

1. Ülkemizde yapılan jeotermal sondaj çalışmalarında, sondaj çamurunun öneminin ve çamur-kuyu-formasyon etkileşiminin yeterince algılandığını söyleyebilmek maalesef mümkün değildir. Bu durum, jeotermal sondaj çalışmaları sırasında yaşanan sondaj güçlüklerinden anlaşılmaktadır. Şöyle ki, killi formasyonlarda yaşanan şişme, kırıklı-mağaralı formasyonlarda oluşan dolaşım kayıplarını vb. dünya sondaj kimyasalları veya havalı sondaj teknikleri ile çözmüşken, ülkemizde bu tekniklerin kullanılmasında yeterli düzeye erişilememiştir (Özdemir,2006d). Türkiye'deki jeotermal sahalar genellikle tektonik alanlarda yayılmış olup fazla çatlaklı (yüksek ikincil geçirgenlikli) fakat içerdikleri yüksek miktardaki gazlar nedeniyle pozitif hidrostatik basınca sahiptirler. Bu durum hem sondaj esnasında delinen üst seviyelerde hem de rezervuar seviyelerinde kendiliğinden gelişe (blow-out) eğilimlidir ve ağır çamur kullanılarak kontrol edilmektedir. Dünyadaki diğer jeotermal sahalar ise, genellikle volkanik alanlardadır ve negatif basınca sahiptir. Bu alanlar hem daha çok dolaşım sıvısı kaybı ve çimentolama güçlüklerine sebep olmakta hem de üretim ikincil yöntemlerle başlatılabilmektedir (Tan,2002). Bu sebeplerden dolayı, sondaj çamuru özellikleri ve katkı maddelerinin iyi bilinmesi ve özelliklerinin sondaj çalışmaları sırasında dikkatli bir şekilde takip edilmesi gereklidir.

2. Jeotermal sondaj çalışmalarının jeotermal sondaj teknolojisine hakim olmayan mühendisler tarafından yönetildiği veya mühendissiz yapıldığı da bilinmektedir. Kanuni düzenlemelerde bu durumun düzeltilmesi ve jeotermal sondaj tekniği konusunda yeterli düzeyde olan mühendisler denetiminde yapılması şartı getirilmelidir. Bu deneyimden kastedilen, mühendisin/mühendislerin üniversiteden mezun olduğu sene olmamalıdır. Mühendis/mühendislerin bilgi birikimi ve sondaj deneyimi esas alınmalıdır.

3. Jeotermal sondaj ihalelerinde, diğer ihalelerde olduğu gibi sadece fiyat olgusu üzerinde durulmaktadır. Talip olan firmaların teknik ve donanımsal yeterliliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Ön yeterlilik işlemi uygulanmalıdır.

4. İhaleyi yapan kuruluşlarımız ilgili işin tarifini tam ve açık olarak yapmalıdır. İhale belgelerinde yapılacak iş tekniği net bir şekilde, yoruma açık olmaksızın ve yükleniciyi keyfi uygulamalar yapmasını engelleyici nitelikte olmalıdır.

5. İhale edilen jeotermal sondaj işlerinin denetiminde önemli problemler vardır. Bu konuda il özel idareleri; Üniversitelerimiz, MTA ve İLLER BANKASI'nın bilgi birikimlerinden faydalanmalıdır.

6. Özel idareler tarafından ihale edilen sondajlar denetimsizdir. İlgili sondajın başarısı, ihaleyi alan firmanın yeterliliği ile sınırlıdır. Ayrıca, ihaleyi alan kuruluşların teknik muhatap bulmakta zorluk çektiği, bulduğu teknik muhatapların da yeterli bilgi birikimine sahip olmadığı her kesim tarafından bilinmektedir

7. Yapılan ihalelerde, teknik eleman bulundurma zorunluluğu çoğunlukla yer almaktadır ve tanımlanmıştır. Fakat, kontrolü yoktur. Gerçekten o teknik elemanlar sahada mıdır? Ve çalışmalar gerçekten o teknik elemanlar nezaretinde mi yapılmaktadır? vb. gibi konular da yapılan kontrollük görevinin bir bileşeni olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Özdemir, A., 2006a; Su ve Jeotermal Sondaj Çalışmalarında Formasyon Kaynaklı Bazı İlerleme Güçlükleri ve Çözümlerine Yönelik Yaklaşımlar. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı. s. 429
- Özdemir, A., 2006b; Ülkemiz Jeotermal Sondaj Sektörünün Yapısı, Eğitim Durumu ve Uygulamalar Üzerine Bazı Değerlendirmeler. Jeoloji Mühendisleri Odası Jeotermal Enerji ve Yasal Düzenlemeler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 1-4
- Özdemir, A., 2006c; Ülkemizde Sondaj Eğitimi ve Sondaj Sektörü Üzerine Bazı Değerlendirmeler. Jeoloji Mühendisleri Odası, Haber Bülteni, Sayı: 2006/3, s. 97-101
- Özdemir, A., 2005; Sondaj Çalışmalarında Jeoloji Mühendisinin Konumu. Jeoloji Mühendisleri Odası, Haber Bülteni, Sayı: 2005/2, s. 125-126
- Tan, E., 2002; Jeotermal Sondajlarda Pratik Uygulama Teknikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı, s 186-197

HİSARALAN (SINDIRGI-BALIKESİR) JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ'NİN BÖLGE JEOTURİZMİ AÇISINDAN ÖNEMİ

SIGNIFICANCE OF HİSARALAN (SINDIRGI-BALIKESİR) GEOTHERMAL ENERGY POTENTIAL FROM THE VIEW POINT OF REGIONAL GEOTOURISM

ÇOBAN, F¹., BÜYÜKKAHRAMAN, G¹., AYDOĞAN, M.S¹., KOCABAŞ, C².

¹ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TR-10165, Balıkesir

fcoban@balikesir.edu.tr, gokhanb@balikesir.edu.tr, aydogan@balikesir.edu.tr

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir
cumhurkocabas@hotmail.com

ÖZET

Sındırgı (Balıkesir) bölgesi jeotermal enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir bölgedir. Yörede en önemli sıcak su kaynağı Hisaralan Mevkii'nde yer almaktadır. Bölgedeki su; 98°C sıcaklığa ve 172 lt/sn akış hızına sahip olup, açıkta akmaktadır. Bu yönüyle Denizli- Pamukkale travertenlerini aratmayan bir görünüme sahiptir. Yörede toplam 200 yatak kapasiteli özel sektöre ait turistik tesisler bulunmakta ve kaplıca suları sodyum bikarbonatlı maden suları özelliğindedir. Bu özelliğiyle kaplıca suları siyatik, romatizma, kadın hastalıkları ve cilt hastalıkları gibi birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır. Kaplıca suyunun sıcaklığının yüksek olması ilçe merkezinin ısıtılması, turistik tesisler ve seracılık açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Sındırgı civarında bulunan diğer bir önemli sıcak su kaynağı ise ilçe merkezine yaklaşık 8 km. uzaklıkta bulunan Emendere Mevkii'nde bulunmaktadır. 32°C sıcaklığa ve 120 lt/sn debiye sahiptir. Bu kaynak da başlıca sedef, cilt, yanık, yara ve tüm deri hastalıklarında etkilidir. Emendere su kaynağı Dünyada mevcut olan radyoaktivitesi en yüksek iki kaplıcadan biridir. Bu özelliklerinden dolayı, yöredeki sıcak su kaynakları Türkiye'nin en sıcak ve en verimli kaynakları arasında yer almakta olup, jeoturizm açısından önemli bir yere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: jeotermal, jeoturizm, Hisaralan, Sındırgı, Balıkesir, Türkiye.

ABSTRACT

Sındırgı (Balıkesir) is a very reach region in terms of geothermal energy sources. The most important spring water source in the region is located in Hisaralan site. Water flows at surface and has 98°C heat and 172 lt/sc flow rate. With this aspect, it resembles Denizli-Pamukkale Travertines. There are touristic foundations having totaly 200 bed-capacity in the region. Hot spring waters have a feature of sodiumbicarbonated mineral water and ,therefore, they have been used in the treatment of sciatica, rheumatism, woman and skin diseases. Due to the fact that hot spring water's heat is quite high, it obtains an advantage from the view point of heating city center, touristic foundations and selling greenhouses. Other considerable hot spring source is placed in Emendere site where is at 8 km. distance to the centrum. It has also 32°C heat and 120 lt/sc. flow rate. This source is mainly effective in psoriasis, burn, injury and all skin diseases. Emendere hot spring source is one of the two highest radioactivity including hot spring sources in the world. Because of all these characteristics, hot spring sources in Hisaralan (Sındırgı-Balıkesir) region take part within the hottest and most productive sources of Turkey and they constitute a very important geotourism potential.

Key Words: geothermal, geotourism, Hisaralan, Sındırgı, Balıkesir, Turkey.

1. GİRİŞ

Dünyadaki jeotermal sıcak su kaynakları, deprem ve volkanik faaliyetlerin yaygın olarak görüldüğü tektonik levhaların sınırlarında yer almaktadır. Türkiye’de bilindiği gibi Alp-Himalaya orojenik dağ kuşağı üzerinde bulunmaktadır ve jeotermal enerji açısından önemli potansiyele sahip bir ülke konumundadır (Şimşek, 1997; Şimşek ve Yıldırım, 2000; Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye’de Genç Tektonik Hatlar, Sıcak Su Kaynaklarının Dağılımı (Şimşek, 1997).

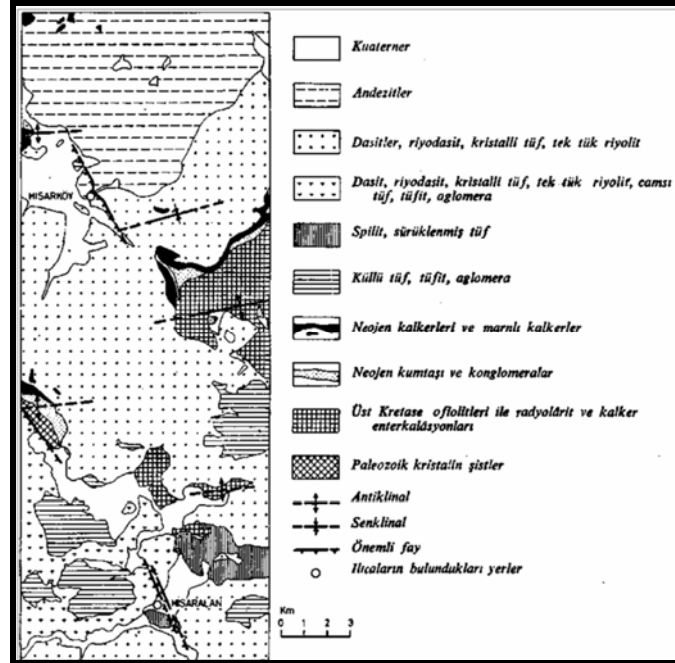
Ülkemizde petrol ve doğal gaz gibi birincil öneme sahip olan fosil yakıtların sınırlı düzeyde olması, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana

çıkmasına neden olmuştur. Türkiye, jeotermal enerji kaynakları bakımından dünyada 7. büyük öneme sahip bir ülkedir. Jeotermal enerji ile ilgili ilk çalışmalar Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü tarafından 1960'lı yıllarda başlamış olup, bu çalışma ile 170 jeotermal alan saptanmıştır (Batik vd., 2000).

Balıkesir'deki jeotermal sıcak su kaynakları Sındırgı, Bigadiç, Edremit, Burhaniye, Gönen ilçelerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Bunlardan Sındırgı bölgesi, sıcak su kaynakları açısından önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın ana konusu, Sındırgı bölgesinde bulunan sıcak su kaynaklarının potansiyeli ve bölge jeoturizminin önemi ile ilgilidir.

2. BÖLGENİN JEOLJİSİ

Yörede jeolojik olarak temeli Paleozoyik yaşlı düşük dereceli metamorfik şistler oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı birimlerin üzerinde Üst Kretase yaşlı yer yer serpantin, radyolarit, çört ve kireçtaşı bloklarından meydana gelen ofiyolitik melanj tektonik olarak bulunmaktadır. Melanj üzerinde kalker, marn, kumtaşından meydana gelen Neojen sedimanları uyumsuz olarak bulunmaktadır. Bölgede geniş bir yayılım sunan ve genel olarak andezit, dasit, riyodasit, kristalin tüf, aglomera birimlerinden oluşan volkanikler Neojen birimlerini kesmektedir. Bölgede traverten oluşumları daha çok dere yamaçlarında ve bunlara bağlı olarak oluşmuş molozlar içinde bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Hisaralan (Sındırgı, Balıkesir) bölgesinin jeoloji haritası (Hafeli, 1966)

3. TRAVERTEN OLUŞUMLARI

Bölgedeki traverten oluşumlarına neden olan kaynak sularının büyük çoğunluğu Ulaş tepe ile Kulaz tepe arasında yer almaktadır. Gündüz tepe dolaylarında da bazı oluşumların varlığı izlenebilmektedir. Travertenlerle ilişkili diğer sıcak su kaynakları ise Ulaş tepenin güneydoğu kesiminde ve Gündüz tepe ile Gümele tepenin batı eteğinde bulunmaktadır.

Hafeli (1966)'ye göre bölgedeki travertenler rölyef ve su basıncına bağlı olarak 4 farklı morfolojide görünmektedir:

- 1) *Traverten terasları.*
- 2) *Traverten konileri.*
- 3) *Traverten duvarları.*
- 4) *Traverten setleri.*

Düşük basınçta, morfolojiye göre traverten terasları veya setleri ortaya çıkarken, yüksek su basıncında ise traverten konileri ve traverten duvarları meydana gelmektedir (Hafeli, 1966). Bunların oluşumunu çok sayıda kaynağın tek bir hat boyunca sıralanması, veya tek bir kaynağın çıkış kanalının kalker çökeliyle tıkanması nedeniyle yerinden kaymış olması ile açıklamak mümkündür.

4. SICAK SU KAYNAKLARININ KÖKENİ

Bölgedeki birçok kaynağın akıntı miktarı dakikada 3430 litredir. Diğer bir deyişle, saniyede yaklaşık olarak 57 litre'dir. Hisaralan bölgesinde deniz seviyesinden 250-350 m yükseklikte bulunan sıcak su kaynaklarının sıcaklık değerleri 48-98°C arasında değişmektedir. Ortalama ısı derecesi 82.2°C'dir. Verimli olan kaynaklar genellikle daha yüksek ısı derecesini gösteren kaynaklar, daha çok potansiyel verimi olan kaynaklardır (Hafeli, 1966).

Hafeli (1966)'ya göre, Hisaralan bölgesinde yüksek ısı (> 90°C) en az üç kaynak çıkışı bulunmaktadır. Bölgedeki sıcak su kaynaklarının geliş yolları, kayaçların çatlak sistemleri ile doğru orantılı olarak görülmektedir. Çatlak ve traverten sistemlerinde yapılan gül diyagramlarına göre, kaynak yolları çatlak sistemleri ile temsil edilmektedir. Özellikle, Serin dere mevkiinde sıcak su kaynaklarının bir çatlak sisteminden çıktıkları görülebilir.

Hisaralan sıcak su Kaynaklarında su, metrelerce kalınlıkta kayaçlardan geçerek yüzeye ulaşmaktadır. Eğer sıcak sular alüvyonlar içinden geçerse, suyun yüzeye ulaşma yolu artar ve de soğuk kaynaklar şeklinde dağılım gösterir. Sıcak su nispeten daha sert karakterli Kuvaterner yaşlı sedimanlardan geçerse soğuma oranı o derece azalır ve sıcak su kaynakları fay hatlarını izlemektedir. Hafeli (1966)'ye göre, Hisaralan bölgesindeki 90°'lik kaynak izotermi KD-GB yönünde uzanım göstermektedir ve bu izoterm çatlak ve travertenler üzerinde yapılan gül diyagramlarına da uygunluk göstermektedir.

5. BÖLGENİN JEOTURİZM POTANSİYELİ

Sındırgı-Hisaralan KB Anadolu'da yayılım sunan jeotermal enerji açısından önemli bir yere sahiptir. Jeotermal enerji daha önce de bahsedildiği gibi birçok önemli hastalığın tedavisinde önemli rol oynaması nedeniyle ve kaynak sularının meydana getirdiği yer yüzü şekillerinin görsel turizm açısından önemi ile içinde bulunduğu bölgeye gerek tanıtım açısından, gerekse ekonomik açıdan büyük yararlar sağlamaktadır. Sındırgı-Hisaralan yöresinin bu anlamda sahip olduğu jeoturizm potansiyeli ilçeyi hatta Balıkesir ilini turistik anlamda önemli bir cazibe merkezi haline getirecektir. Sındırgı Belediyesi'nin 5 Mart 2008 tarihinde yaptığı toplantı sonucunda ilçeye Hisaralan Jeotermal Enerjisi'nin getirilmesi ve ısınma ücretlerinin belirlenmesi karara bağlanmış, böylece ilk resmi adım atılmıştır.

Sonuç olarak, dünyada sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesi, artan nüfus ve aşırı hammadde tüketimi doğal çevreyi hızla tehdit etmekte, doğal kaynaklarımız ve yaşam alanlarımız daralmaktadır. Birçok canlı türü yok olmuş, bir kısmı ise yok olma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Tıpkı canlı türleri gibi dünyamızın bugüne kadar geçirmiş olduğu evrelerin sınırlarını içerisinde barındıran jeolojik yapılarda yok olma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, bu mirasın yeni nesillere aktarılması, korunması ve faydalanılması gerekmektedir. Hisaralan kaplıcaları ve Sındırgı bölgesi de ayrıcalıklı ve yararlanılması gerekli olan jeotermal potansiyeline sahip nadir bölgelerden biridir. Bu bağlamda, bölgedeki traverten oluşumlarının Pamukkale'de olduğu gibi basamaklar ve setler halinde doğal bir görünüme kavuşturulabilmesi ve jeoturizm potansiyelinin ekonomik girdiye çevrilebilmesi Sındırgı ve Balıkesir için ivedilikle hayata geçirilmesi gereken projeler arasında yer almalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Hafeli, Ch.J (1966). Hisaralan (Batı Anadolu) Ilıcaları Bölgesinde Yapılan Jeolojik ve Hidrolojik Etüdü. MTA Dergisi, 110-117.
- Şimşek, Ş. (1997). Geothermal Potential of Northwestern Turkey, Active Tectonics of Northwestern Anatolia, The Marmara Poly-Project, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich. ISBN 3-7281-2425-7, p. 111-124, Switzerland.
- Batik, H., Koçak, A., Akkuş, I., Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Dokuz, I., Bakir., N. (2000). Geothermal energy utilisation development in Turkey. Proceedings World Geothermal Congress, 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, p.85-91.
- Şimşek, Ş., Yıldırım, N. (2000). Geothermal Activity at 17 August and 12 November 1999 Eastern Marmara Earthquake Region, Turkey. IGA Meeting 6-7 March 2000 p.1-9 Antalya.

Bölüm 2

**TERMAL SULARIN KULLANIM
ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ**

HEYBELİ (KIZILKİLİSE) JEOTERMAL SAHASI KUYULARI SICAKLIK, BASINÇ VE TEST VERİLERİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

*AN EVALUATION ON TEMPERATURE, PRESSURE AND TEST DATA
IN THE HEYBELİ (KIZILKİLİSE) GEOTHERMAL AREA WELLS*

Ö. ERSİN GİRBALAR

İller Bankası Genel Müdürlüğü
girbalar@ilbank.gov.tr

ÖZET

Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahasında Bolvadin (Afyon) belediyesine ait termal tesislerin gereksinimini karşılamak amacıyla açılmış bulunan H-1/A, H-3 ve H-4 numaralı jeotermal kuyular ile Çobanlar (Afyon) belediyesinin beldenin jeotermal merkezi sistem ısıtılması ve entegre balneolojik ve sera ısıtmacılığı projesi kapsamında açılmış bulunan AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı jeotermal kuyular bulunmaktadır.

Çobanlar (Afyon) belediyesinin beldenin jeotermal enerji ile merkezi sistem ısıtılması ile buna entegre balneolojik kullanım ve sera ısıtmacılığı projesine yönelik etüt çalışmaları kapsamında AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı jeotermal kuyularda 2002 yılında statik ve dinamik sıcaklık ve basınç profilleri alınmış, çok debili basınç düşüm ve yükselim ve girişim testleri yapılmıştır.

AÇ-1 numaralı kuyu açıldığı tarihte artezyen üretim yapmaz iken 3 Şubat 2002 tarihli Sultandağı depreminden sonra 15 lt/sn debide ve 52°C sıcaklıkta artezyen üretim yapmaya başlamıştır. AÇ-2 numaralı kuyu test için üretime açıldığında 57 lt/sn debide üretim yaparken, bir aylık üretim sonunda debi 46 lt/sn'ye düşmüştür. Kuyu başı üretim sıcaklığı 55.7°C olarak ölçülmüştür.

AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı kuyularda yapılan sıcaklık, basınç ve üretim test ve ölçümlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda AÇ-1 numaralı kuyudan 9 lt/sn, AÇ-2 numaralı kuyudan ise 20 lt/sn debide emniyetli üretim yapılabileceği anlaşılmaktadır.

Çobanlar ilçe merkezinde yapılması düşünülen 1000 konut kapasiteli bir merkezi ısıtma sistemi için yıllık 1.772.733 m³ 56°C sıcaklıkta akışkana gereksinim duyulacaktır. En yüksek debi gereksinimi Ocak ayında 112 lt/sn, en düşük debi gereksinimi ise 13.8 lt/sn olarak hesaplanmıştır. Gereksinim duyulan yaklaşık 112 lt/sn debide ve 56°C sıcaklıkta akışkanın üretilmesi için en az 3 adet kuyu daha açılması gerekmektedir.

Bolvadin (Afyon) belediyesine ait Heybeli termal tesislerinin balneolojik kullanım, tesislerdeki konut ve mekanlar ile bölgede yer alan termal devre mülk konutlarının jeotermal enerji ile merkezi sistem ısıtılması ve buna entegre balneolojik kullanım için yapılan etüt çalışmaları kapsamında H-1/A, H-3 ve H-4 numaralı jeotermal kuyularda 2007 yılında statik ve dinamik sıcaklık ve basınç profilleri alınmış, çok debili basınç düşüm ve yükselim ve girişim testleri yapılmıştır. H-1/A, H-3 ve H-4 numaralı kuyular CO₂ içerikleri nedeniyle hava basılarak tahrik edildikten sonra kendiliğinden üretim yapabilmektedirler.

H-1/A numaralı kuyuda yapılan basınç düşüm testinde kuyudan vana tam açık durumda iken 0.42 bar kuyu başı basıncı ile 56.62°C sıcaklıkta 38 lt/sn debide üretim ölçülmüştür. H-4 numaralı kuyuda yapılan basınç düşüm testinde kuyudan vana tam açık durumda iken 0.15 bar kuyu başı basıncı ile 55.5°C sıcaklıkta 30 lt/sn debide üretim ölçülmüştür.

H-1/A kuyusunda 164 saat, H-4 kuyusunda 238 saat süre ile basınç ve sıcaklıklar ölçülerek Girişim Testi yapılmıştır. H-1/A kuyusunda yaklaşık 137 saatlik bir üretim süresi sonunda basınçta 0.5 psi'lık, sıcaklıkta ise 0.02°C'lik bir düşüş ölçülmüştür. H-4 numaralı kuyunun da üretime geçirilmesinden yaklaşık 20 saat sonra H-1/A kuyusunda basınç değeri 0.5 psi'lık bir artış göstermiştir. Sıcaklık değerinde ise 0.035°C'lik bir düşüş görülmüştür. H-4 kuyusu H-1/A kuyusundan yapılan üretimden 192 saatlik sürede etkilenmemiştir.

Anahtar kelimeler: Jeotermal kuyu, Heybeli (Kızılkilise), statik sıcaklık ve basınç profili, dinamik sıcaklık ve basınç profili, çok debili basınç düşüm ve yükselim testi, girişim testi.

ABSTRACT

The geothermal wells of H-1/A, H-3 and H-4 were drilled for the purpose of meeting the requirement of Bolvadin (Afyon) municipality's thermal plant in Heybeli (Kızılkilise) geothermal area. AÇ-1 and AÇ-2 wells were drilled for the project of geothermal central heating system and integrated balneological usage and greenhouse heating of Çobanlar (Afyon) municipality.

Within the context of the study in the project of central heating system with geothermal energy and integrated balneological usage and greenhouse heating of Çobanlar (Afyon) municipality, static and dynamic temperature and pressure profiles were taken, multi flow pressure drawdown and build up tests and interference tests were done in the wells of AÇ-1 and AÇ-2 in Heybeli (Kızılkilise) geothermal area in 2002.

While AÇ-1 did not make artesian production when it drilled, it started to make artesian production in 15 l/sec flow and in 52°C temperature after Sultandağı earthquake in 03.February.2002. When AÇ-2 well has been drilled to the production for the test, it

produced in 57 l/sec flow but at the end of 1 month production the flow has dropped to 46 l/sec. The temperature of wellhead production was 55.7 °C.

As a result of the evaluation of the data for the measurements and tests of temperature, pressure and production in the wells of AÇ-1 and AÇ-2, it is understood that safety production can be made in 9 l/sec flow from AÇ-1 and 20 l/sec flow from AÇ-2.

The fluid for 1.772.733 m³ yearly, in 56°C temperature will be required for a central heating system have 1000 house capability which is thought to build in the central of Çobanlar district. The highest flow requirement has been calculated as 112 l/sec in January and the lowest flow requirement has been calculated as 13.8 l/sec. At least 3 wells should be opened in order to produce required fluid approximately in 112 l/sec flow and in 56°C temperature.

Within the context of the study in the project of balneological usage and central heating system with geothermal energy of the residences in Heybeli thermal plant of Bolvadin (Afyon) municipality, static and dynamic temperature and pressure profiles were taken, multi flow pressure drawdown and build-up tests and interference tests were done in the geothermal wells of H-1/A, H-3 and H-4 in 2007. The wells of H-1/A, H-3 and H-4 can produce unprompted after pumping the air to the hole because of CO₂ contents.

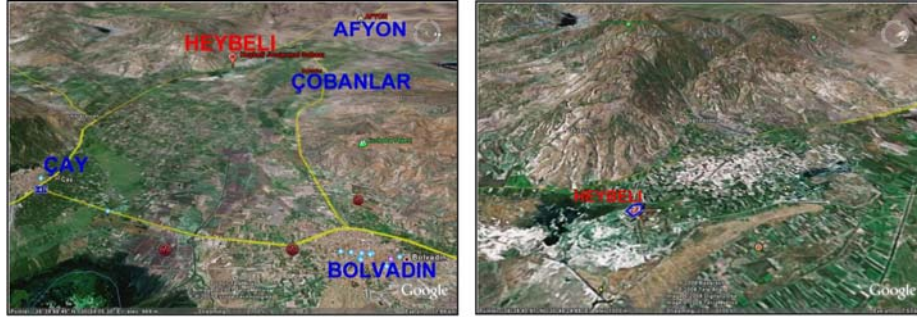
The production, with 0.42 bar wellhead pressure, at 56.62°C temperature and in 38 l/sec flow was measured at the pressure drawdown test in H-1/A well when the valve was full open. The production with 0.15 bar wellhead pressure, in 55.5°C temperature and in 30 l/sec flow was measured at the pressure drawdown test in the well of H-1/A when the valve was full open. The interference test has been made by measuring the temperatures and pressures for 238 hours in H-4 and for 164 hours in H-1/A wells. The drops for 0.5 psi on the pressure and 0.02 °C on the temperature have been measured in the well of H-1/A after approximately 137 hours production. The pressure value has increased for 0.5 psi in the well of H-1/A after approximately 20 hours from starting the production of H-4 well. The temperature value has decreased for 0.035°C. H-4 well has not been influenced for 192 hours from the production in H-1/A.

Keywords: Geothermal well, Heybeli (Kızılkilise), static temperature and pressure profile, dynamic temperature and pressure profile, multi flow pressure drawdown test, build up test, interference test.

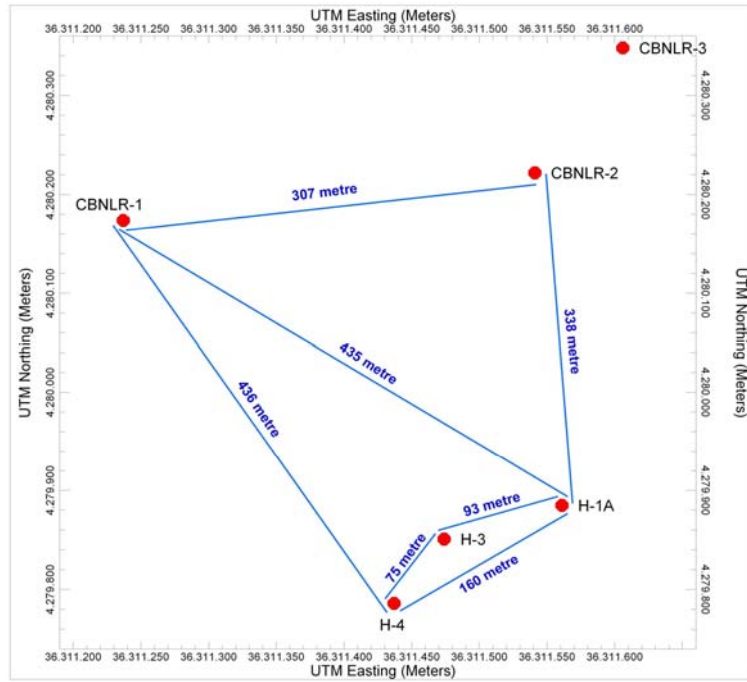
1. HEYBELİ (KIZILKİLİSE) JEOTERMAL SAHASI VE KUYULARI

Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahası çağlar boyunca yoğun bir şekilde kaplıca olarak kullanıldığı bilinen jeotermal kaynaklar içeren önemli bir jeotermal sistemdir (Şekil 1). Sahada günümüzde kaplıca kullanımına yönelik oldukça gelişkin tesis ve konutlar bulunmaktadır. Mevcut durumda saha idari bölümlenme olarak Çobanlar ve Bolvadin ilçeleri sınırı ile ikiye ayrılmış durumdadır. Sahada Bolvadin belediyesine ait Heybeli Termal Tesisleri'nin ısıtma ve balneolojik kullanım suyu gereksinimini karşılamak amacıyla açılmış bulunan H-1/A, H-3 ve H-4 kuyuları ile Çobanlar belediyesinin jeotermal merkezi ısıtma sistemi ve buna entegre balneolojik kullanım ve sera ısıtması projesi kapsamında jeotermal su gereksiniminin karşılanması amacıyla açılmış bulunan AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı kuyular bulunmaktadır (Şekil 2). H-1/A kuyusu halen Heybeli

Termal Tesisleri gereksiniminin karşılanması amacıyla, H-4 kuyusu sahadaki bir bölüm devre-mülk konutun jeotermal su gereksiniminin karşılanması için kullanılmakta, H-3 kuyusu ise kullanılmamaktadır. Çobanlar belediyesine ait AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı kuyular da halen kullanılmamaktadır.



Şekil 1. Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahası Uydu Yer Bulduru Görüntüsü.



Şekil 2. Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahası Kuyuları Koordinat Haritası.

Çobanlar (Afyon) belediyesinin beldenin jeotermal enerji ile merkezi sistem ısıtılması ile buna entegre balneolojik kullanım ve sera ısıtmacılığı projesine yönelik etüt çalışmaları kapsamında AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı jeotermal kuyularda 2002 yılında statik

ve dinamik sıcaklık ve basınç profilleri alınmış, çok debili basınç düşüm ve yükselim ve girişim testleri yapılmıştır.

Bolvadin (Afyon) belediyesine ait Heybeli termal tesislerinin balneolojik kullanım, tesislerdeki konut ve mekanlar ile bölgede yer alan termal devre mülk konutlarının jotermal enerji ile merkezi sistem ısıtılması ve buna entegre balneolojik kullanım için yapılan etüt çalışmaları kapsamında H-1/A, H-3 ve H-4 numaralı jeotermal kuyularda 2007 yılında statik ve dinamik sıcaklık ve basınç profilleri alınmış, çok debili basınç düşüm ve yükselim ve girişim testleri yapılmıştır.

İki ayrı dönemde yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ve bu verilerin değerlendirmeleri ile sonuç ve öneriler sahanın Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu kapsamında ruhsatlandırılması ve işletilmesi ile ilgili görüş oluşturulmasına katkı sağlanması ve araştırmacılara kaynak oluşturması amaçlarıyla bu sunum kapsamında ele alınacaktır.

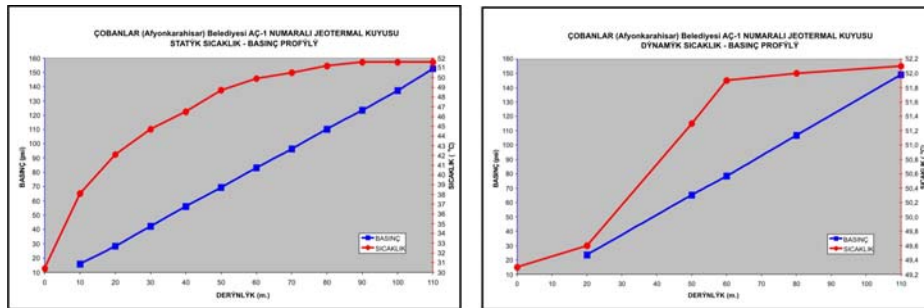
2. KUYULARDA YAPILAN TEST VE ÖLÇÜMLERE AİT VERİLER

2.1. AÇ-1 ve AÇ-2 Numaralı Kuyularda Yapılan Test ve Ölçümler

2.1.1. AÇ-1 numaralı kuyu test ve ölçümleri

AÇ-1 numaralı kuyu açıldığı tarihte artezyen üretim yapmaz iken 3 Şubat 2002 tarihli Sultandağı depreminden sonra artezyen üretim yapmaya başlamıştır. Kuyunun log derinliği 146 metre olup ölçümlerde 110 metreden aşağıya inilememiştir. Artezyen üretim debisi 15 lt/sn, akışkan sıcaklığı kuyu dibinde 52 oC, kuyu başında dinamik halde 51.8 oC olarak belirlenmiştir.

Kuyudan alınan Statik ve Dinamik Sıcaklık ve Basınç profillerine ait grafikler Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. AÇ-1 Kuyusu Statik ve Dinamik Sıcaklık ve Basınç Profillerine Ait Grafikler

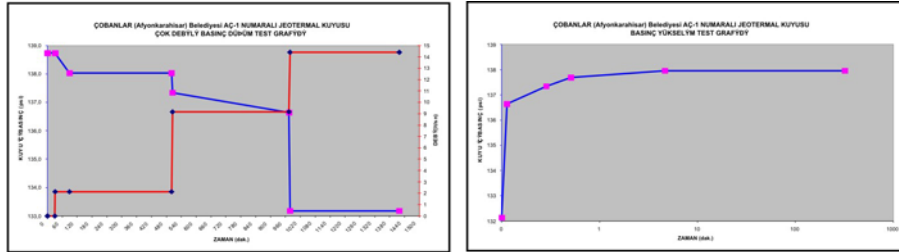
Statik sıcaklık değerleri 90-110 metre derinliklerde sabitlendiğinden bu kısmın üretim zonu olduğu düşünülebilir. Statik ve dinamik basınç değerleri derinlikle doğrusal olarak

arttığından kuyu içinde gaz ve faz ayrışması yoktur. Üretim esnasında kuyu içinde kabuklaşma oluşmadığı ve inhibitör basmaya gerek olmadığı saptanmıştır. Ancak akışkan atmosfere açıldığında çökeltme yapma eğilimindedir. Bu nedenle akışkan yüzeye ulaştıktan sonra oluşturulacak ortama göre uygun inhibitör kullanılması gereklidir.

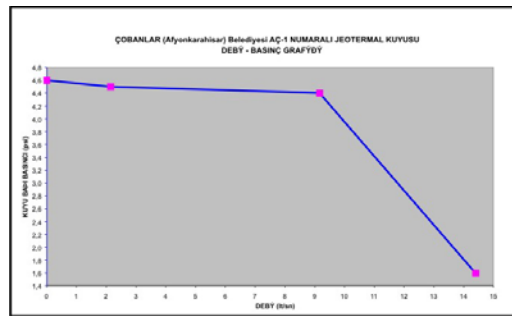
2,9 VE 15 lt/sn debilerinde yapılan Çok Debili Basınç Düşüm ve Basınç Yükselim Testine ait grafikler Şekil 4 ve 5’de verilmiştir. Kuyu içi basıncı 9 lt/sn debi ile üretimde 2 psi kadar bir düşüş göstermekte, ancak debi 15 lt/sn değerine çıkarıldığında basınç düşümü yaklaşık 5.5 psi olmaktadır. Kuyu başında ise statik halde 0 olan basınç, 2 lt/sn debide 4.8 psi, 9 lt/sn debide 4.4 psi, 15 lt/sn debide 1.6 psi olmaktadır. Kuyunun akış basıncı ile statik basıncı arasındaki fark 5.82 psi olup Özgül Verim değeri 2.48 (lt/sn)/psi’dir.

2.1.2. AÇ-2 numaralı kuyu test ve ölçümleri

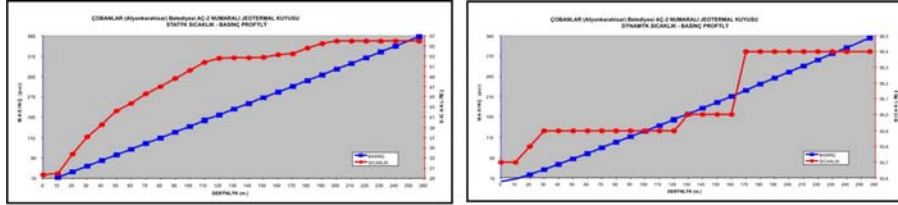
AÇ-2 numaralı kuyu 263 metre derinlikte olup ölçümlerde 256 metreye kadar inilmiştir. Artezyen üretim debisi girişim testi için kuyu üretime açıldığında 57 lt/sn, bir aylık üretim sonunda ise 46 lt/sn olarak belirlenmiştir. Akışkan sıcaklığı ise kuyu dibinde 56.7 °C, kuyu başında dinamik halde 55.7 °C olarak ölçülmüştür. Kuyudan alınan Statik ve Dinamik Sıcaklık ve Basınç profillerine ait grafikler Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 4. AÇ-1 Kuyusu Çok Debili Basınç Düşüm ve Basınç Yükselim Testi Grafikleri.

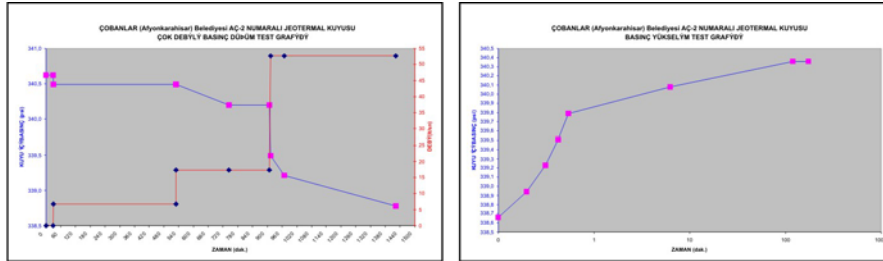


Şekil 5. AÇ-1 Kuyusu Kuyu Başı Basıncı-Debi Grafığı.

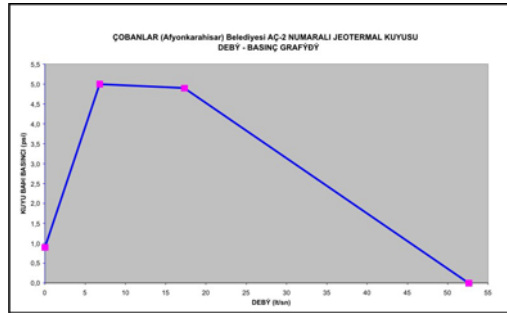


Şekil 6. AÇ-2 Kuyusu Statik ve Dinamik Sıcaklık ve Basınç Profillerine Ait Grafikler.

Statik ve dinamik sıcaklık değerleri 200 metreden itibaren sabitlendiğinden bu kısmın üretim zonu olduğu düşünülebilir. Statik ve dinamik basınç değerleri derinlikle doğrusal olarak arttığından kuyu içinde gaz ve faz ayrışması yoktur. Yapılan testler sonucunda üretim esnasında kuyu içinde kabuklaşma oluşmadığı ve inhibitör basmaya gerek olmadığı saptanmıştır. Ancak akışkan atmosfere açıldığında çökeltme yapma eğilimindedir. Bu nedenle akışkan yüzeye ulaştıktan sonra oluşturulacak ortama göre uygun inhibitör kullanılması gereklidir. 7,17 ve 52 lt/sn debilerinde yapılan Çok Debili Basınç Düşüm ve Basınç Yükselme Testine ait grafikler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. AÇ-2 kuyusu çok debili basınç düşüm ve yükselme testi grafiği.

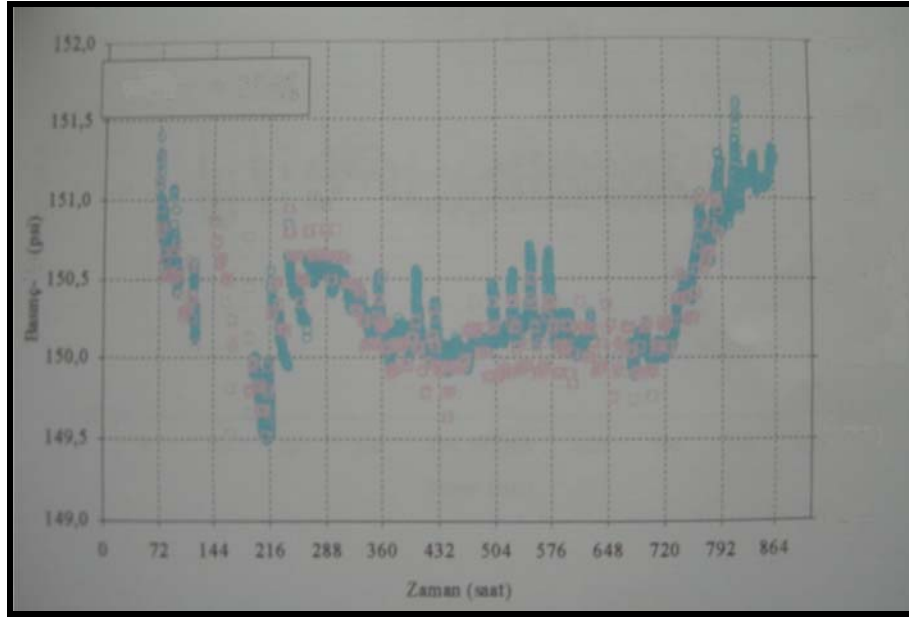


Şekil 8. AÇ-2 kuyusu kuyu başı basıncı-debi grafiği.

Kuyu içi basıncı 17 lt/sn debi ile üretimde 0.4 psi kadar bir düşüş göstermekte, ancak debi 52 lt/sn değerine çıkarıldığında basınç düşümü yaklaşık 1.7 psi olmaktadır. Kuyu başında ise statik halde 0.9 psi olan basınç, 7 lt/sn debide 5.0 psi, 17 lt/sn debide 4.9 psi, 52 lt/sn debide 0 psi olarak ölçülmüştür (Şekil 8). Kuyunun akış basıncı ile statik basıncı arasındaki fark 1.7 psi olup Özgül Verim değeri 34.92 (lt/sn)/psi’dir.

2.1.3. AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı kuyular girişim testi

Kuyulararası etkileşimin belirlenmesi amacı ile AÇ-2 kuyusundan 30 gün süreyle üretim yapılmış ve bu süre boyunca AÇ-2 ve AÇ-1 numaralı kuyularda debi, sıcaklık ve basınç değişimleri gözlenmiştir. Test süresince H-1/A kuyusu da üretimine devam etmiştir. AÇ-1 kuyusundaki basınç değişimlerinin gösterildiği girişim testine ait grafik Şekil 9'da verilmiştir.



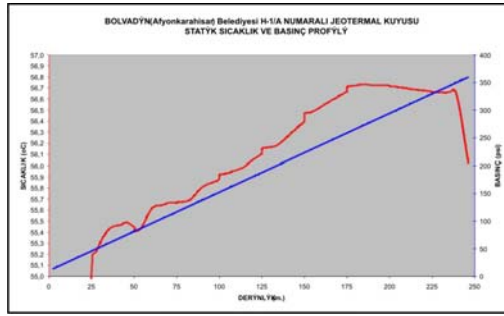
Şekil 9. AÇ-1 kuyusu girişim test grafiği.

Test başlangıcında AÇ-2 kuyusu kuyu başı basıncı 0,4 psi iken kuyu 57 lt/sn debi ile üretime açıldığında kuyu başı basıncı sıfır olmuştur. Test süresince de kuyu başı basıncı sıfır olarak devam etmiştir. Test sonunda AÇ-2 numaralı kuyu üretime kapatıldığında kapanma basıncı 6 psi olarak ölçülmüştür. 30 gün süreli girişim testinde AÇ-2 numaralı kuyudan yapılan üretim miktarı 57 lt/sn'den 46 lt/sn'ye düşmüştür. Bu saha açısından olumsuz bir görüntüdür. Test süresince AÇ-1 kuyusunda 1,5 psi düzeyinde bir basınç düşümü gözlenmiştir. Girişim testi başlangıcından itibaren 7. günde Heybeli kaplıcalarında yer alan H-1 numaralı kuyuda artezyen üretim kesilmiştir. Ayrıca, H-1 numaralı kuyu ile AÇ-2 numaralı kuyu arasında Sultandağı depreminde travertenlerde oluşan çatlaklardan olan jeotermal su çıkışları da bu sürede kesilmiştir. AÇ-2 numaralı kuyunun girişim testi sonrasında üretime kapatılmasını takiben 5. günde H-1 numaralı kuyu ile travertenlerde bulunan çatlaklardan yeniden jeotermal su çıkışı başlamıştır. Bu veriler kuyuların aynı rezervuardan beslendiğini ve birbirlerini etkilediğini ortaya koymaktadır.

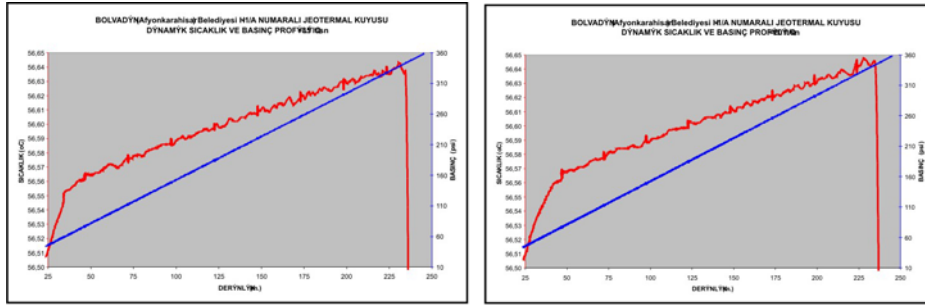
2.2. H-1/A, H-3 ve H-4 Numaralı Kuyularda Yapılan Test ve Ölçümler

2.2.1. H-1/A numaralı kuyu test ve ölçümleri

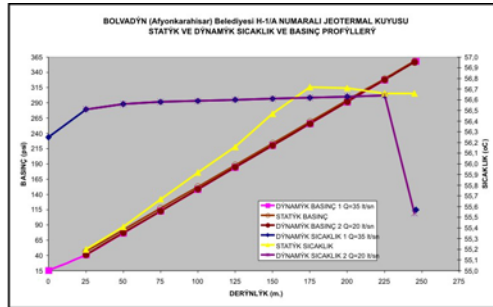
H-1/A numaralı kuyunun log derinliği 257 metredir. Kuyuda Statik ve Dinamik Sıcaklık ve Basınç profilleri alınmış ve 3 kademeli debide Basınç Düşüm ve Basınç Yükselim Testi yapılmıştır.



Şekil 10. H-1/A kuyusu statik sıcaklık ve basınç profiline ait grafik.

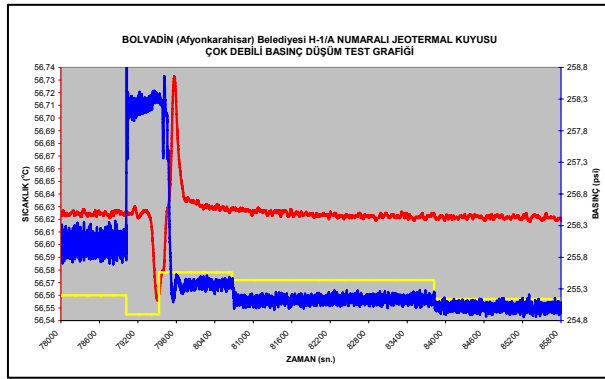


Şekil 11. H-1/A kuyusu dinamik sıcaklık ve basınç profillerine ait grafikler.



Şekil 12. H-1/A numaralı kuyu statik ve dinamik sıcaklık ve basınç profillerine ait grafikler.

Statik sıcaklık değerleri 175 metreden itibaren sabitlendiğinden 175 metreden itibaren üretim zonu olduğu düşünülebilir. Statik ve dinamik basınç değerleri derinlikle doğrusal olarak arttığından kuyu içinde gaz ve faz ayrışması yoktur. Yapılan testler sonucunda üretim esnasında kuyu içinde kabuklaşma oluşmadığı ve inhibitör basmaya gerek olmadığı saptanmıştır. Ancak akışkan atmosfere açıldığında çökelme yapma eğilimindedir. Bu nedenle akışkan yüzeye ulaştıktan sonra oluşturulacak ortama göre uygun inhibitör kullanılması gereklidir. Beş kademeli debide yapılan Basınç Düşüm testine ait grafik Şekil 13’de verilmiştir.



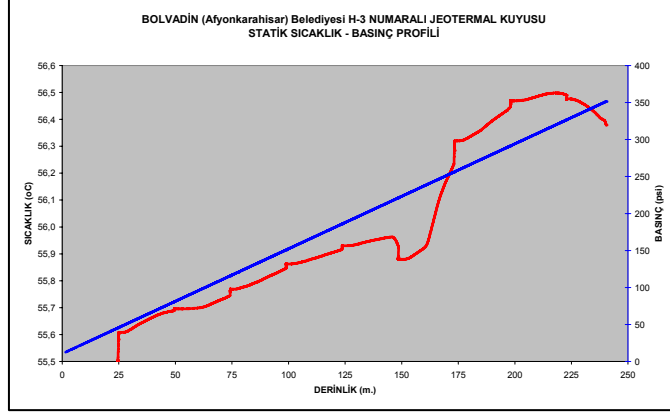
Şekil 13. H-1/A numaralı kuyu çok debili basınç düşüm test grafiği.

Testin ilk kademe debisi 20 lt/sn’den başlamış debi 5 lt/sn değerine düşürüldüğünde artan basınç, daha sonraki 38, 32 ve 17 lt/sn debilerinde basınç azalımı şeklinde ölçülmüştür. Bu durumun jeotermal su içerisindeki kuyudan üretimi sağlayan karbondioksitin oluşturduğu kısmi basıncın azalması nedeniyle olduğu, bunun da üretimin azalmasıyla orantılı olarak daha az karbondioksitin kuyu başında gaz fazına geçmesi ve bunun sonucu olarak kısmi basıncın azalması ile olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Test süresince kuyu başı basıncı 6.5-8 psi aralığında değişim göstermiştir.

Kuyu üretime kapatıldıktan sonra basınç yavaş olarak düşüş göstermiş ve yaklaşık 60 dakika sonunda kuyu başı basıncı sıfırlanmış ve statik seviye 90 santimetre olarak ölçülmüştür. H-1/A kuyusu 67.7 (lt/sn)/psi Özgül Verim değeriyle çok yüksek bir üretim potansiyeline sahip durumdadır.

2.1.2. H-3 numaralı kuyu test ve ölçümleri

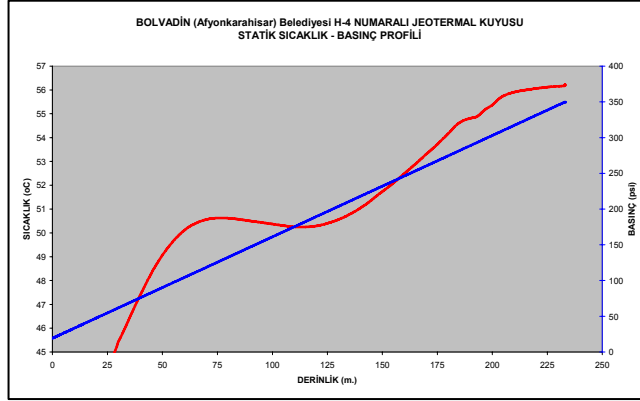
Kuyu 1999 yılında açılmış olup derinliği 300 metredir. Statik seviye 1.41 metre olarak ölçülmüştür. Kuyuda Statik Sıcaklık ve Basınç profili alınmıştır. Statik sıcaklık değerlerine göre 175 metreden itibaren üretim zonu olduğu düşünülebilir (Şekil 14). Kuyunun statik basınç değerleri derinlikle doğrusal bir artış göstermektedir.



Şekil 14. H-3 kuyusu statik sıcaklık ve basınç profiline ait grafik.

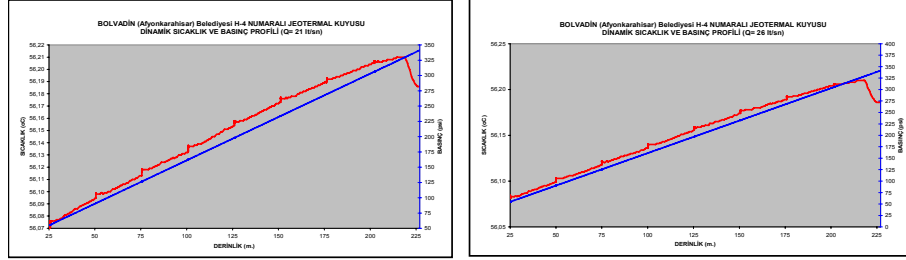
2.1.3. H-4 numaralı kuyu test ve ölçümleri

H-4 numaralı kuyunun log derinliği 252 metredir. Kuyuda Statik ve Dinamik Sıcaklık ve Basınç profilleri alınmış ve 5 kademeli debide Basınç Düşüm ve Basınç Yükselim Testi yapılmıştır. Kuyunun statik sıcaklık değerlerine göre 200. metreden itibaren üretim zonu olduğu söylenebilir (Şekil 15).

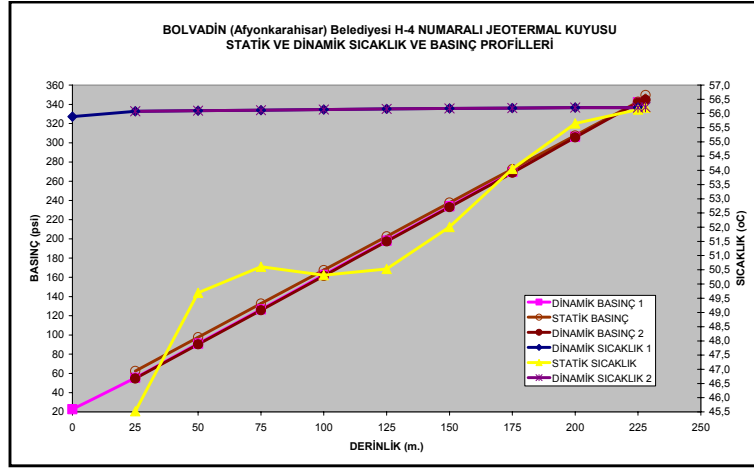


Şekil 15. H-4 numaralı kuyu statik sıcaklık ve basınç profiline ait grafiği.

Kuyunun 21 lt/sn ve 26 lt/sn debilerde alınan dinamik sıcaklık profillerine ait değerler benzer özellik göstermektedir. Her iki profil değerlerine göre kuyuda 218 metrede en yüksek sıcaklığa ulaşılmakta bu metreden sonra sıcaklıkta düşme görülmektedir. Bu durum kuyunun 218 metre seviyesindeki bir fay zonundan üretim yapıyor olması şeklinde yorumlanmıştır (Şekil 16 ve 17).



Şekil 16. H-4 numaralı kuyu dinamik sıcaklık ve basınç profilleri grafikleri.



Şekil 17. H-4 numaralı kuyu statik ve dinamik sıcaklık ve basınç profilleri grafikleri.

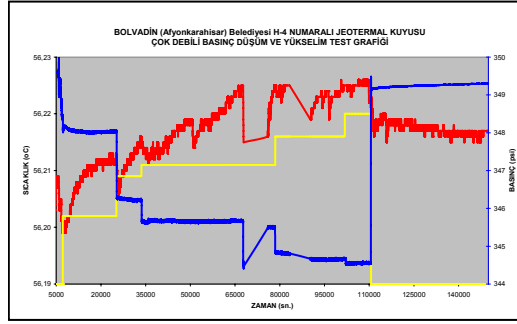
Statik ve dinamik basınç değerleri derinlikle doğrusal olarak arttığından kuyu içinde gaz ve faz ayrışması yoktur (Şekil 16 ve 17). Yapılan testler sonucunda üretim esnasında kuyu içinde kabuklaşma oluşmadığı ve inhibitör basmaya gerek olmadığı saptanmıştır. Ancak akışkan atmosfere açıldığında çökeltme yapma eğilimindedir. Bu nedenle akışkan yüzeye ulaştıktan sonra oluşturulacak ortama göre uygun inhibitör kullanılması gereklidir.

H-4 numaralı kuyuda Çok Debili Basınç Düşüm ve Basınç Yükselim testi 230 metrede sabitlenen kuyu içi sıcaklık ve basınç cihazı ile kayıt alınarak yapılmıştır. Kuyuda statik seviye 0 metre iken kuyuya kompresör ile hava basılarak kuyu üretime geçirilmiştir. Kuyu 5 kademede debi ile üretim yaptırılarak gerçekleştirilen teste ait veriler Çizelge 1'de, verilere ait grafikler Şekil 18 ve 19'da verilmiştir.

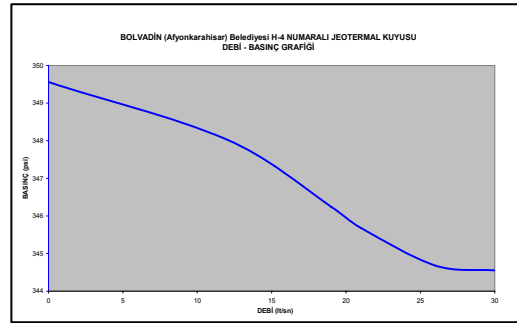
Çizelge 1. H-4 numaralı kuyu çok debili basınç düşüm testine ait veriler.

Debi (lt/sn)	Kuyu İçi Basınç (psi)	Kuyu Başı Basınç (bar)	Kuyu Başı Akışkan Sıcaklığı(°C)
12	348	0.31	55.2
19	346,21	0.20	55.2
21	345,66	0.17	55.2
26	344,8	0.16	55.5
30	344,56	0.15	55.5

Kuyu basınç düşüm testini takiben üretime kapatılarak basınç yükselme testi yapılmıştır. Basınç kuyunun üretime kapanmasından sonraki 20 saniyede 349.3 psi'a yükselmiş, kuyu başı basıncı kapatılmanın hemen arkasından 0.4 bar, 10 dakika sonra ise 0.8 bar olarak ölçülmüştür. Kuyu başı basıncı 60 saat sonra 0.2 bar 96 saat sonra ise 0 bar ve statik seviye 0 metre olarak ölçülmüştür.



Şekil 18. H-4 numaralı kuyu çok debili basınç düşüm ve basınç yükselme testi grafiği.



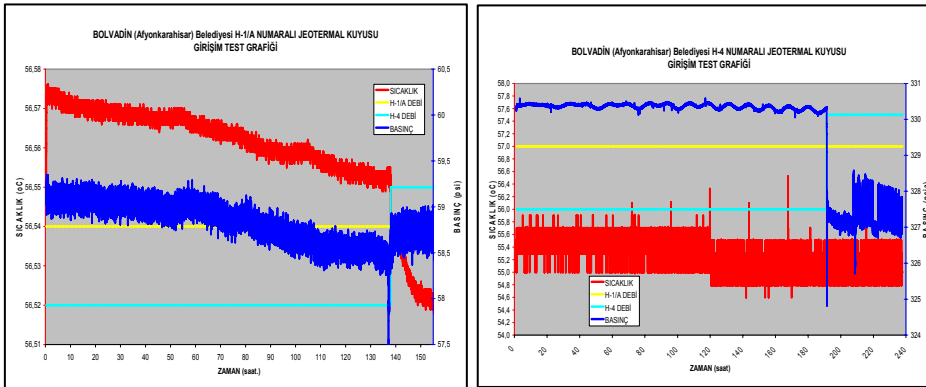
Şekil 19. H-4 Numaralı Kuyu Debi - Basınç Grafiği

Kuyunun 12 ve 30 lt/sn üretim değerlerine karşılık gelen basınç farkı 3,44 psi olup buna göre kuyunun özgül verimi 5.23 (lt/sn)/psi'dir.

2.14.H-1/A ve H-4 numaralı kuyular girişim testi

H-4 numaralı kuyu kapalı, H-1/A numaralı kuyu ise yaklaşık 32 lt/sn sabit debide üretim yapar durumda 7 gün süreyle her iki kuyuda da basınç ve sıcaklık kayıtları alınmıştır. 7 günün sonunda H-4 numaralı kuyu da 30 lt/sn debide üretime geçirilmiş ve 1 gün süreyle daha kayıt almaya devam edilmiştir. H-4 numaralı kuyuda 238 saat, H-1/A numaralı kuyuda 164 saat süreyle girişim kayıtları alınmıştır (Şekil 20). H-1/A kuyusunda yaklaşık 137 saatlik üretim süresi sonucunda başlangıçta 59 psi olan basınç 0.5 psi'lık bir düşüşle 58.5 psi seviyesine gelmiş, sıcaklık değeri ise 56.575°C'den yaklaşık 0.02 °C'lik bir düşüşle 56.555 °C'ye inmiştir. Yaklaşık 137. saatte H-4 numaralı kuyu da üretime geçirilmiş ve 20 saatlik bir süre sonunda H-1/A kuyusunda basınç değeri 58.5 psi'dan yaklaşık 0.5 psi'lık bir artışla 59 psi seviyesine yükselmiş ve burada sabitlemiştir. Sıcaklık değeri ise 56.555 °C'den yaklaşık 0.035 °C'lik bir düşüşle 56.520°C'ye inmiştir. H-4 kuyusunun üretime geçirilmesinden itibaren H-1/A kuyusunda basınç azalması beklenirken, aksine olarak basınçta bir yükselme görülmektedir.

H-4 kuyusunda başlangıçta 330.4 psi düzeyinde olan basınç kuyunun üretime geçirilmesine kadar olan yaklaşık 192 saatlik sürede periyodik gece-gündüz salımları dışında önemli bir değişim göstermeyerek aynı değerde kalmıştır. Sıcaklık değeri de 55.2-55.4 °C değerlerinde sabit kalmıştır. Yani H-4 kuyusu H-1/A kuyusundan yapılan üretimden 192 saatlik sürede etkilenmemiştir. 192 saatlik sürenin sonunda H-4 kuyusunun da üretime açılması sonucunda basınç 3 psi'lık düşüşle 327 psi düzeyine inmiş ve yaklaşık 16 saatlik sürede bu değerinde devam ederek sabitlemiştir. Bu dönemde sıcaklıkta gene bir değişim olmamış ve 55.2-55.4°C değeri devam etmiştir.

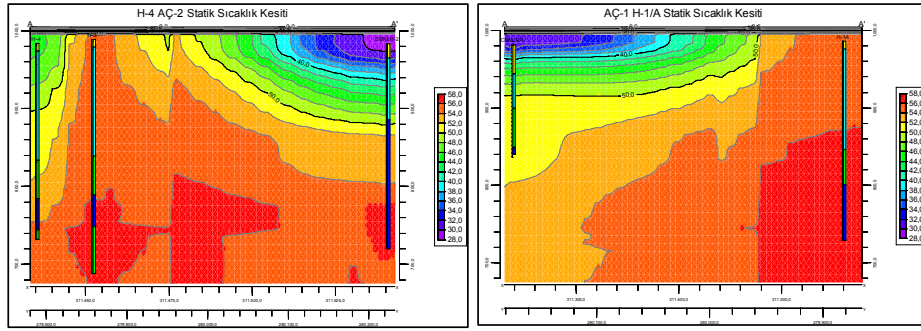


Şekil 20. H-1/A ve H-4 Numaralı Kuyular Girişim Test Grafikleri.

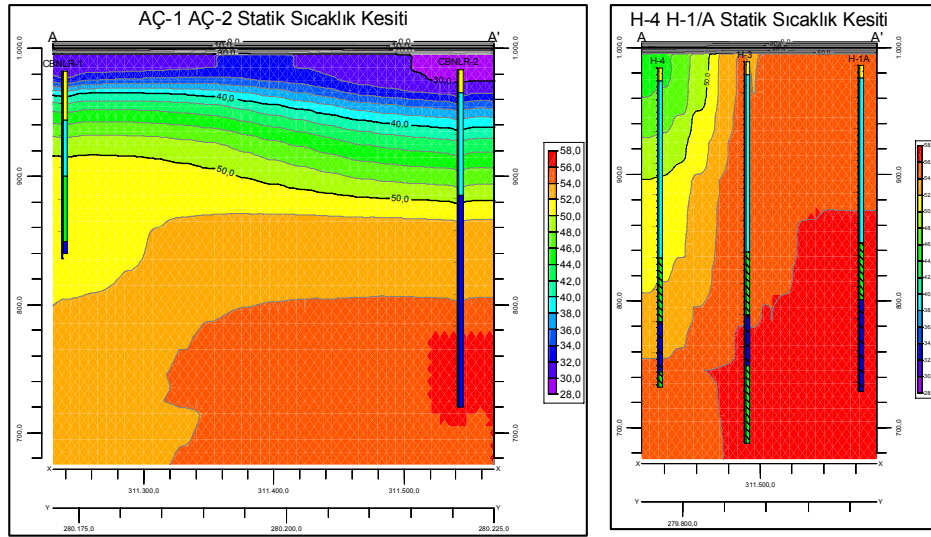
2.3. Değerlendirme

2.3.1. Kuyu içi sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi

Statik sıcaklık profillerine ait verilerin 3 boyutlu modellemesi sonucu elde edilen H-4 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna ve AÇ-1 kuyusundan H-1/A kuyusuna düşey kesitler Şekil 21’de, AÇ-1 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna ve H-4 kuyusundan H-1/A kuyusuna düşey kesitler Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 21. H-4 Kuyusundan AÇ-2 Kuyusuna ve AÇ-1 Kuyusundan H-1/A Kuyusuna Statik Sıcaklık Düşey Kesitleri.



Şekil 22. AÇ-1 Kuyusundan AÇ-2 Kuyusuna ve H-4 Kuyusundan H-1/A Kuyusuna Statik Sıcaklık Düşey Kesitleri

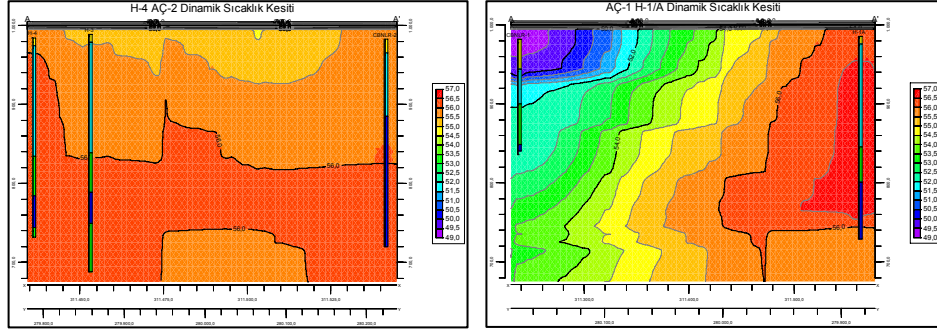
H-4 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna doğru alınan statik sıcaklık düşey kesitinde H-4 kuyusu ile AÇ-2 kuyusunun benzer bir statik profilinin olduğu görülmektedir. H-3 kuyusu ile H-1/A kuyusunun bulunduğu bölge ise daha yüksek sıcaklıklı bir profil göstermektedir. AÇ-1 kuyusundan H-1/A kuyusuna doğru alınan statik sıcaklık düşey kesitinde AÇ-1 kuyusunun sıcaklık profilinin H-1/A kuyusuna göre düşük olduğu görülmektedir.

AÇ-1 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna doğru alınan statik sıcaklık düşey kesitinde her iki kuyunun yaklaşık 100 metre derinliğe kadar olan statik sıcaklık değerlerinin yaklaşık aynı olduğu görülmektedir. AÇ-2 kuyusunun 220 metreden sonraki kısmında sıcaklık üretim sıcaklığına yakındır. Bu durum AÇ-1 kuyusunun askıda kaldığını ve yayılım zonundan üretim yaptığını göstermektedir. H-4 kuyusundan H-1/A kuyusuna doğru alınan statik sıcaklık düşey kesitinde H-4 kuyusundan H-1/A kuyusuna doğru gidildikçe sıcaklık değerlerinin arttığı görülmektedir. H-4 ve H-1/A kuyuları yaklaşık aynı derinlikte ve aynı litolojik kesitte olmalarına karşın statik sıcaklık değerlerinde görülen bu fark H-4 kuyusunun faya daha uzak olması ile açıklanabilir.

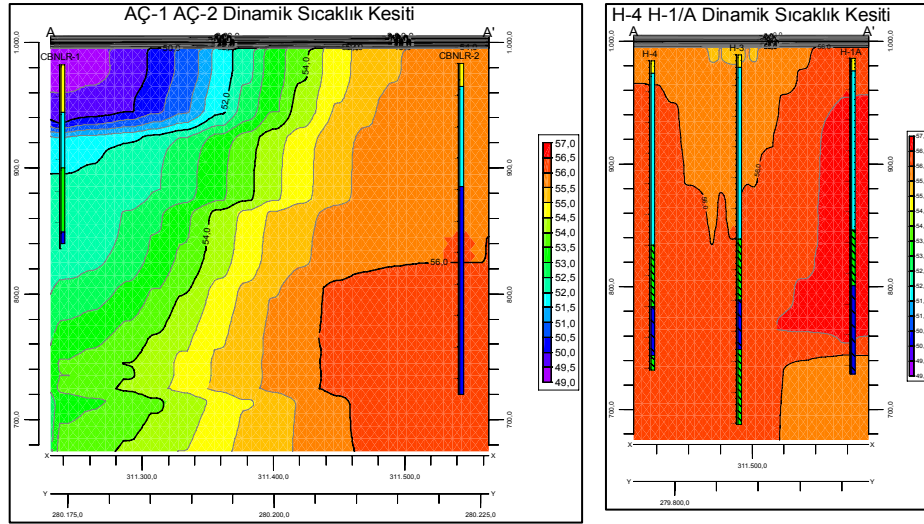
Statik sıcaklık değerlerine göre H-4 kuyusu ile H-1/A kuyusundan AÇ-2 ve özellikle AÇ-1 kuyusuna doğru sıcaklıkta genel olarak bir azalma olduğu görülmektedir. Statik sıcaklık değerlerine göre sahanın en sıcak bölgesi H-1/A kuyusu ile H-4 kuyusu yakın çevresi olarak gözükmektedir. Dinamik sıcaklık profillerine ait verilerin 3 boyutlu modellemesi sonucu elde edilen H-4 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna ve AÇ-1 kuyusundan H-1/A kuyusuna düşey kesitler Şekil 23'de, AÇ-1 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna ve H-4 kuyusundan H-1/A kuyusuna düşey kesitler Şekil 24'de verilmiştir.

H-4 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna doğru alınan dinamik sıcaklık düşey kesitinde H-4 kuyusunun AÇ-2 kuyusuna göre daha yüksek bir dinamik sıcaklık profili olduğu görülmektedir. Her iki kuyunun da yaklaşık 170 metrelerden sonraki derinliklerinde sıcaklıklar benzer görülmektedir. Bu da rezervuarın 170 metrelerden itibaren başladığını göstermektedir. AÇ-1 kuyusundan H-1/A kuyusuna (Şekil 23) ve AÇ-1 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna (Şekil 24) doğru alınan dinamik sıcaklık düşey kesitlerinde statik sıcaklık değerlerinde olduğu gibi AÇ-1 kuyusunun dinamik sıcaklık değerlerinin de H-1/A kuyusu ve diğer kuyulara göre düşük bir sıcaklık profili göstermektedir. Dinamik sıcaklık profili de AÇ-1 kuyusunun askıda kaldığını doğrulamaktadır. Kuyunun düşük üretim basıncı, düşük debi ve jeotermal suyun sıcaklığındaki düşüklük de bu durumdan kaynaklanmaktadır.

H-1/A kuyusu ile H-4 kuyuları dinamik sıcaklık değerleri birbirine yakın durumdadır. Statik sıcaklık değerlerinde olduğu gibi dinamik sıcaklık değerlerine göre de H-4 kuyusu ile H-1/A kuyusundan AÇ-2 ve özellikle AÇ-1 kuyusuna doğru sıcaklıkta genel olarak bir azalma olduğu görülmektedir. Dinamik sıcaklık değerlerine göre de sahanın en sıcak bölgesi H-1/A kuyusu ile H-4 kuyusu yakın çevresi olarak gözükmektedir.



Şekil 23. H-4 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna ve AÇ-1 kuyusundan H-1/A kuyusuna dinamik sıcaklık düşey kesitleri



Şekil 24. AÇ-1 kuyusundan AÇ-2 kuyusuna ve H-4 kuyusundan H-1/A kuyusuna dinamik sıcaklık düşey kesitleri.

2.3.2. Kuyu içi basınç verilerinin değerlendirilmesi

Tüm kuyuların statik ve dinamik basınç profilleri doğrusal bir artış göstermektedir. Bu durumda kuyular içinde gaz ve faz ayrışması olmamaktadır. Kimyasal analiz ve test verilerinin de birlikte değerlendirilmesi sonucunda kuyu içlerinde kabuklaşma oluşmayacağı anlaşılmaktadır.

Ancak akışkan atmosfere açıldığında çökeltme yapma eğilimindedir. Basınç düşümü oluşan kuyu başları ile depo ve iletim hatlarında yoğun bir kabuklaşma potansiyeli

bulunmaktadır. Bu nedenle akışkan yüzeye ulaştıktan sonra oluşturulacak ortama göre uygun inhibitör kullanılması gereklidir.

2.3.3. Girişim test verilerinin değerlendirilmesi

AÇ-2 kuyusu üretim kuyusu AÇ-1 kuyusu gözlem kuyusu olarak yapılan 30 gün süreli girişim testinde AÇ-2 kuyusunda kuyu başı basıncı 0 olarak 57 lt/sn debi ile başlayan üretim 30 günün sonunda 46 lt/sn debi değerine düşmüştür. AÇ-1 kuyusunda bu süreçte 1.5 psi düzeyinde basınç düşümü olmuştur. Aynı süreçte H-1/A kuyusunun hemen yanında bulunan deprem sonrası oluşmuş yarıklardan olan boşalmalar ve H-1 kuyusunun artezyen üretimi 7. günde kesilmiş ve AÇ-2 kuyusunun üretime kapatılmasından 5 gün sonra tekrar artezyen üretim başlamıştır. Bu durumda kuyuların birbirleri ile etkileşimde oldukları görülmektedir.

H-4 kuyusu kapalı H-1/A kuyusu ise yaklaşık 32 lt/sn debide sabit üretim yapar durumda 7 gün ve devamında H-4 kuyusu da 30 lt/sn debide üretimde olarak 1 gün süreyle yapılan girişim testinde, H-1/A kuyusunda yaklaşık 137 saatlik üretim süresi sonucunda basınç 0.5 psi'lık bir düşüş göstermiştir. Bu süreçte H-4 kuyusunda periyodik gece-gündüz salınımları dışında bir basınç değişimi gözlenmemiştir. H-4 kuyusunun da üretime geçirilmesinden sonra H-1/A kuyusunda basınç değeri yaklaşık 0.5 psi'lık bir artış göstermiştir. H-4 kuyusunun üretime geçirilmesinden itibaren H-1/A kuyusunda basınç azalması beklenirken, aksine olarak basınçta bir yükselme görülmektedir. Bu durum rezervuar zondaki akışkanın daha hızlı bir şekilde yükselmesinin sonucunda oluşan çalkantı nedeniyle akışkan içinde çözünmüş durumda bulunan karbondioksitin daha fazla miktarda akışkandan ayrılması ve bunun sonucunda kısmi basınç etkisini arttırması olarak yorumlanmıştır. H-4 kuyusunun da üretime açılması sonrasında bu kuyudaki basınç 3 psi'lık bir düşüş göstermiştir. H-4 numaralı kuyuda tek başına üretimde iken yapılan basınç düşüm testinde de basınç düşümü yaklaşık 3 psi düzeyinde ölçülmüştür. Bu durumda kuyunun tek başına üretimde iken ve H-1/A numaralı kuyu ile birlikte üretimde iken ölçülen basınç düşüm değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Bu verilere göre toplam 62 lt/sn debide yapılan üretimde H-1/A ve H-4 numaralı kuyuların birbirlerinden etkilenmediği anlaşılmaktadır.

Ancak AÇ-2 numaralı kuyu 45-50 lt/sn gibi yüksek bir debide uzun süreli üretimde olduğu durumda 30-35 lt/sn debi ile üretim yapan H-1/A kuyusunda basınç ve debi azalmakta hatta artezyen üretim kesilebilmektedir. Bu rezervuardan 70-80 lt/sn üzerinde bir debide uzun süreli yapılacak üretimin basınç düşümüne yol açacağını ve artezyen üretimin kesilebileceğini göstermektedir. Bu durumda üretimlerin derin kuyu pompaları ile yapılması gerekecektir.

2.3.4. Kuyuların üretim verilerinin değerlendirilmesi

Kuyuların üretim verileri incelendiğinde AÇ-1 kuyusu 15 lt/sn, AÇ-2 kuyusu 46 lt/sn, H-1/A kuyusu 38 lt/sn ve H-4 kuyusu 30 lt/sn artezyen üretim potansiyeline sahip durumdadır. Özgül verim değerleri ise AÇ-1 kuyusu için 2.48 (lt/sn)/psi, AÇ-2 kuyusu

için 34.92 (lt/sn)/psi, H-1/A kuyusu için 67.7 (lt/sn)/psi, H-4 kuyusu için 5.23 (lt/sn)/psi olarak hesaplanmıştır. Özgül verim değerlerine göre H-1/A kuyusu en yüksek üretim potansiyeline sahip durumdadır.

Bu değerler kuyuların tek başlarına üretimde olduklarında elde edilebilecek üretim değerleridir. Kuyuların dördü birlikte tam kapasiteleri ile üretim yaptırıldığında kısa bir süre sonra basınçların düşmesi ve artezyen üretimlerin kesilmesi durumu ortaya çıkacaktır. Bu durumda kuyulardan derinkuyu pompaları ile üretim yapılması kaçınılmaz olacaktır. Rezervuara ait bir modelleme ve değerlendirme çalışması yapılmadığından 5 yıllık orta ve 20-30 yıllık uzun dönemde basınç düşümlerinin ne düzeyde olacağını söyleyebilmek olanaksızdır. Ancak özellikle AÇ-2 kuyusunun yüksek debide üretimde olması durumunda kısa sürede gözlenen basınç düşümleri sahadan 100 lt/sn üzerinde bir debide sürdürülebilir bir üretim yapılmasının olanaksız olacağını düşündürmektedir. Bu düzeyde bir üretim basınç ve seviyelerin sürekli düşmesi ve yıllık geri dönüşümün hemen hemen hiç olamayacağı bir durum ortaya çıkarabilecektir.

2.3.5. Genel değerlendirme

Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahasında bulunan AÇ-1, AÇ-2, H-1/A ve H-4 numaralı kuyuların toplam üretilebilirlik değerleri en az 129 lt/sn olarak söylenebilir. Sahadan bu miktarda yapılacak bir üretimde kuyulardaki basınç ve seviyelerin hızla düşmesi beklenmelidir. Bu durumda kuyulardan üretimler derinkuyu pompaları ile yapılabilecektir. Basınç düşümlerinin en aza indirilmesi için sahada reenjeksiyon yapılması bir çözüm olarak düşünülebilirse de banyo ve havuzlarda kullanılan suyun reenjeksiyonu organik kirlenme nedeniyle yapılamayacağından uygulanması olanaksız görülmektedir.

Kuyulardan üretilebilecek jeotermal suyun sıcaklık değerleri termal banyo ve havuzlarda kullanım için uygun düzeydedir. AÇ-1 kuyusu dışındaki kuyulardan ise ısıtma amaçlı jeotermal su üretilebilecektir.

Çobanlar ve Bolvadin belediyelerinin mücavir alanları ile ikiye bölünmüş durumda olan Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahasında her iki belediyenin de saha ile ilgili işletme projeleri bulunmaktadır. Bolvadin belediyesine ait Heybeli termal tesisleri ve civarındaki termal kullanımlı devremülk yapılar için H-1/A ve H-4 kuyularından jeotermal su üretilebilecektir. Heybeli termal tesislerinde 66 adet apart konut, 25 odalı otel ve 4 adet havuzda ısıtma yapılmaktadır. Bu ısıtma sisteminin kapasitesi en soğuk günlerde kabaca 500000 kcal/h olarak hesaplanmıştır. Bu enerji kuyulardan üretilecek jeotermal suyun sıcaklığı 56 °C'den 41 °C'ye düşürülerek uygulanacak bir sistem ile yaklaşık 14 lt/sn debide bir jeotermal sudan elde edilebilir. Isıtma sisteminden geri dönen 41 °C sıcaklığındaki jeotermal su ise doğrudan havuz ve banyolarda kullanılabilir. Bu durumda sadece H-1/A kuyusunun 38 lt/sn olan artezyen üretim debisinden geriye 24 lt/sn'lik bir kullanılabilir debi kalmaktadır. Artan bu jeotermal su ile 250 apart konut ısıtması ve 41°C sıcaklıkta entegre jeotermal banyo suyu

sağlanabilir. H-4 kuyusundan da 30 lt/sn debide üretim yapılması durumunda ilave olarak 300 apart konut ısıtması ve 41 °C sıcaklıkta entegre jeotermal banyo suyu sağlanabilir. Heybeli termal tesislerindeki mevcut havuz ve banyolar ile tesis dışındaki 74 adet termal devre-mülk konutun banyoları için debi gereksinimi 27 lt/sn düzeyindedir. Bu debi H-1/A kuyusundan karşılanabilir durumdadır.

Heybeli jeotermal sahasında Çobanlar belediyesine ait olan AÇ-1 ve AÇ-2 numaralı kuyulardan halen yararlanılmamaktadır. Çobanlar belediyesi bu kuyulardan ilçe merkezinde konut ısıtması amacıyla yararlanmayı, ayrıca entegre olarak sahanın kendi mücavir alanında kalan bölümünde termal tesisler yapmayı ve sera ısıtılmasını planlamaktadır.

Çobanlar ilçe merkezinde yapılması düşünülen 1000 konut kapasiteli bir merkezi ısıtma sistemi için yıllık 1.772.733 m³ 56 °C sıcaklıkta jeotermal suya gereksinim duyulmaktadır. En yüksek debi gereksinimi Ocak ayında 112 lt/sn, en düşük debi gereksinimi ise 13,8 lt/sn olarak hesaplanmıştır.

Rezervuardan merkezi ısıtma sistemi için gereksinim duyulan yaklaşık 112 lt/sn debide ve 56 °C sıcaklıkta jeotermal suyun üretilebilmesi için en az 3 adet kuyu açılması gerekmektedir. Bu kuyuların birbirlerini etkilemeden üretim yapabilecekleri uzaklıkta açılabilmesi için jeotermal sahanın olası sınırları içinde gerekli yüzey alanı Çobanlar ilçesi sınırları içerisinde bulunmamaktadır. Birbirine yakın açılacak kuyular etkileşimde bulunacaklarından gerekli üretim miktarının rezervuarda basınç düşümü olmadan (veya kabul edilebilir bir basınç düşümü ile) sağlanması olanaklı görülmemektedir. Bu nedenle merkezi ısıtma sistemi için gerekli yaklaşık 112 lt/sn debide jeotermal su mevcut kuyuların üretim yaptığı rezervuardan sağlanamayacaktır.

Eldeki tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde; Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahasından mevcut kuyuların üretim yaptığı bilinen rezervuardan 56 °C sıcaklıkta ve 112 lt/sn debide jeotermal su üretimi yapılarak Çobanlar (Afyon) beldesinde 1000 konutun merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılması projesi rezervuarın verimi açısından yüksek düzeyde riskli görünmektedir. Saha bugünkü konumuyla esas olarak termal tesis ısıtması, termal tedavi ile balneolojik kullanım ve sera ısıtmacılığında kullanım için jeotermal su üretimi yapılabilir durumdadır. AÇ-1 kuyusundan üretilecek 51 °C sıcaklıkta 15 lt/sn debide jeotermal su ile 150 odalı ve 60 m³ kapasiteli iki adet havuzu bulunan bir termal tesisin jeotermal su gereksinimi sağlanabilir. AÇ-2 kuyusundan üretilecek 46 lt/sn debide jeotermal suyun sıcaklığı 56 °C'den 41 °C'ye düşürülerek uygulanacak bir sistem ile 500 termal apart konut ısıtması yapılabilecektir. Isıtma sisteminden geri dönen 41 °C sıcaklığındaki akışkan ise doğrudan havuz ve banyolarda kullanılabilir. 46 lt/sn debideki jeotermal su ile 450 odalı ve 60 m³ kapasiteli iki adet havuzu bulunan bir termal tesisin jeotermal su gereksinimi sağlanabilir.

Heybeli jeotermal sahasından yapılacak jeotermal su üretimlerinin tek bir yetkinin sorumluluğu ve denetiminde olması gereklidir. Birbirinden bağımsız ve diğer kuyuların üretimlerini ve basınçlarını etkileyecek üretim programları sahayı büyük ölçüde

olumsuz etkileyecek ve geri dönüşümü çok uzun yıllar alabilecektir. Bu nedenle sahaya ait işletme ruhsatlarının verilmesinde buna dikkat edilmesi çok büyük önem taşımaktadır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahasında Bolvadin belediyesine ait H-1/A, H-3 ve H-4 kuyuları ile Çobanlar belediyesine ait AÇ-1 ve AÇ-2 kuyuları bulunmaktadır.

Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahası rezervuarından 70-80 lt/sn üzerinde bir debide uzun süreli yapılacak üretimin basınç düşümüne yol açacağı ve artezyen üretimin kesilebileceği öngörülmektedir. Bu durumda üretimlerin derin kuyu pompaları ile yapılması gerekecektir.

Saha bugünkü konumuyla esas olarak termal tesis ısıtması, termal tedavi ile balneolojik kullanım ve sera ısıtmacılığında kullanım için jeotermal su üretimi yapılabilir durumdadır.

H-1/A kuyusunun 38 lt/sn olan artezyen üretim debisi ile mevcut termal tesisler gereksinimine ilave olarak 250 apart konut ısıtması ve 41 °C sıcaklıkta entegre jeotermal banyo suyu sağlanabilir. H-4 kuyusundan 30 lt/sn debide üretim yapılması durumunda ilave olarak 300 apart konut ısıtması ve 41 °C sıcaklıkta entegre jeotermal banyo suyu sağlanabilir.

AÇ-1 kuyusundan üretilen 51°C sıcaklıkta 15 lt/sn debide jeotermal su ile 150 odalı ve 60 m³ kapasiteli iki adet havuzu bulunan bir termal tesisin jeotermal su gereksinimi sağlanabilir.

AÇ-2 kuyusundan üretilen 46 lt/sn debide jeotermal suyun sıcaklığı 56 °C'den 41 °C'ye düşürülerek uygulanacak bir sistem ile 500 termal apart konut ısıtması yapılabilecektir. Isıtma sisteminden geri dönen 41 °C sıcaklığındaki akışkan ise doğrudan havuz ve banyolarda kullanılabilir. 46 lt/sn debideki jeotermal su ile 450 odalı ve 60 m³ kapasiteli iki adet havuzu bulunan bir termal tesisin jeotermal su gereksinimi sağlanabilir.

Rezervuara yönelik modelleme ve değerlendirme çalışması yapılmalıdır. Sahadan yapılacak jeotermal su üretimlerinin tek bir yetki ve sorumluluk tarafından yapılması rezervuarın sürdürülebilir üretimi açısından önem taşımaktadır.

4. KAYNAKLAR

Demirel V., Gökmenoğlu O., Erduran B., Arslan G., Erkan B., Yıldırım N., Kayadibi Ö. 2003. Afyon-Çobanlar Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Projesine Esas Etüt, Test ve Değerlendirme Raporu. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara

- Erişen B. 1972. Afyon-Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Araştırma Sahasının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gırbalar Ö. E., Kaplan C. M., Yurtsever G. 2007. Bolvadin (Afyonkarahisar) Belediyesi H-1/A, H-3 ve H-4 Numaralı Jeotermal Kuyuları Jeotermal Amaçlı Test ve Ölçüm Raporu. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gırbalar Ö. E., Öztürk F. 2004. Çobanlar (Afyonkarahisar) Belediyesi Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Projesine Esas Rezervuar ve Reenjeksiyon Değerlendirme Raporu. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Güner A., Yıldırım N. 2001. Afyon- Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahasının (Kaynak ve Sondaj Kuyuları) Koruma Alanı Raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hamut M. N., Peker B., Demirci A. R., Ak S. 2001. Afyon-Bolvadin H-4 ve H-1/A Jeotermal Sondajları Kuyu Bitirme Raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Satman A., Serpen U., Arısoy A., Çekirge N. 2005. Heybeli Jeotermal Kaynağının Ön Değerlendirme Projesi. Oy Danışmanlık Ltd. Şti., İzmir.

ÖMER-GECEK (AFYON) SICAK SULARININ KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

MUTLU, H.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir 2680
hmutlu@ogu.edu.tr

ÖZET

Sıcaklıkları 32 ile 92°C arasında olan Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki termal sular kimyasal bileşim ve toplam çözünmüş madde (TDS) miktarı açısından değişiklik göstermektedir. Ömer-Gecek suları genellikle Na-Cl-HCO₃ karakterinde olup, olasılıkla derin bir su döngüsüne işaret etmektedir. Ömer-Gecek sıcak sularına uygulanan silisyum ve katyon jeotermometreleri 75-155°C arasında bir rezervuar sıcaklığı vermektedir. Ömer-Gecek sahası için 125°C'lik bir rezervuar sıcaklığının belirlendiği entalpi-klor karışım modeli, suların kimyasal bileşim ve sıcaklıklarındaki değişimin, kaynama, derin kökenli sıcak suyun kondüktif olarak soğuması ve bu suyun soğuk su ile karışımını içeren birtakım işlevlerin bir araya gelmesi ile açıklanabileceğini göstermektedir. Suların birçoğunda, silisyum çözünürlüğünün kalsedon fazı tarafından kontrol edildiği de ortaya konmuştur. Ömer-Gecek sıcak sularının denge durumları Na-K-Mg üçgen diyagramı, Na-K-Mg-Ca diyagramı, K-Mg-Ca jeoindikatör diyagramı, Na₂O-CaO-K₂O-Al₂O₃-SiO₂-CO₂-H₂O fazlarından oluşan sistemlerdeki aktivite diyagramları, doyumluk diyagramları ve alterasyon mineralojisi yardımıyla çalışılmıştır. Bu çalışmalar, sahadaki kaynak ve düşük sıcaklıklı kuyu sularının sıg veya karışım suları olduğunu ve ayrıca, bu suların kimyasal jeotermometrelerce belirlenen sıcaklık aralıklarında, kalsit, kalsedon ve kaolinit mineralleri ile dengede olduklarını ortaya koymuştur. Ömer-Gecek sularındaki mineral dengesinin büyük ölçüde CO₂ derişimi tarafından denetlendiği de ortaya konmuştur.

**İSCEHİSAR (AFYONKARAHİSAR) MADEN VE JEOTERMAL
SULARININ JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE POTANSİYEL
KULLANIM ALANLARI**

*GEOCHEMICAL PROPERTIES AND POTENTIAL USAGE OF
MINERAL AND GEOTHERMAL WATERS IN
ISCEHISAR(AFYONKARAHISAR)*

BAĞCI, M¹., ENGİN, C²., ULUTÜRK, Y²., ÖZKAN, E³ ve AKBULUT, H⁴

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, İscehisar Meslek Yüksekokulu Afyonkarahisar
mbagci@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, İscehisar Meslek Yüksekokulu Afyonkarahisar
icengin@aku.edu.tr

³DSİ 11. Sondaj Şube Müdürlüğü Afyonkarahisar
yusufu@dsi.gov.tr

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, İscehisar Meslek Yüksekokulu Afyonkarahisar
eozkan@aku.edu.tr

⁵Afyon Kocatepe Üniversitesi, İscehisar Meslek Yüksekokulu Afyonkarahisar
akbulut@aku.edu.tr

ÖZET

Gelişen teknolojiye paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanmasında tercih edilen fosil yakıtlar, yakın zamanda tükenecek olmaları ve sera etkisi ile küresel ısınmaya sebep olmalarından dolayı önemini giderek kaybetmekte, yeni ve alternatif enerji arayışı ortaya çıkmaktadır. Bu enerji ihtiyacının karşılanmasında Türkiye için temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan termal enerji önem kazanmaktadır. Türkiye coğrafi ve jeolojik konumu gereği hareketli tektonik levha sınırlarını içeren bir kuşakta yer aldığından jeotermal kaynaklar bakımından önemli potansiyele sahip bir ülke durumundadır.

Bu çalışmada Afyon ili İscehisar yöresi maden ve termal sularının fiziko-kimyasal analizleri gerçekleştirilmiş, ayrıca, kuyularda yapılan jeotermometre uygulamalarıyla rezervuar sıcaklığı tespit edilmiş ve termal su, maden suyu ve termal kaplıca suyu olarak kullanım olanakları araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 40°C'ye varan sıcaklığı, yüksek karbondioksit ve mineral içeriği ile özellikle içme ve banyo kürlerinde

kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca M1 ve M2 maden suyu kuyusundan alınan örnekler de incelenerek İscehisar maden sularının özelliklerinin bu amaçla kullanımına uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İscehisar, Termal Su, Maden Suyu, Su Kimyası, Potansiyel Kullanım

ABSTRACT

Fossil based fuels, preferred in countervailing increased energy demand caused by the developing technology, are losing their importance because of their being consumable and causing to global warming, and so new and alternating energy searches arise. Thermal energy is getting importance in countervailing increased energy demand in Turkey as clean and renewable energy. Turkey has considerable resources in terms of thermal energy because of being in a zone containing active tectonic plaque boundaries in accordance with its geographic and geologic location

In this research, physico-chemical analysis were carried out on İscehisar mineral and thermal waters besides this, reservoir temperature were determined by the geothermometer applications, and usage of these waters as mineral water, thermal water and thermal baths water were also investigated. At the results of this research, İscehisar hot water is seem to be used in thermal drinking, and bath cure water because of its 40°C temperature, high CO₂ and mineral content. In addition, water samples taken from M1 and M2 well bores were analyzed and observed as possible to use as mineral water.

Keywords: İscehisar, Thermal Water, Mineral Water, Water Chemistry, Potential Usage.

1.GİRİŞ

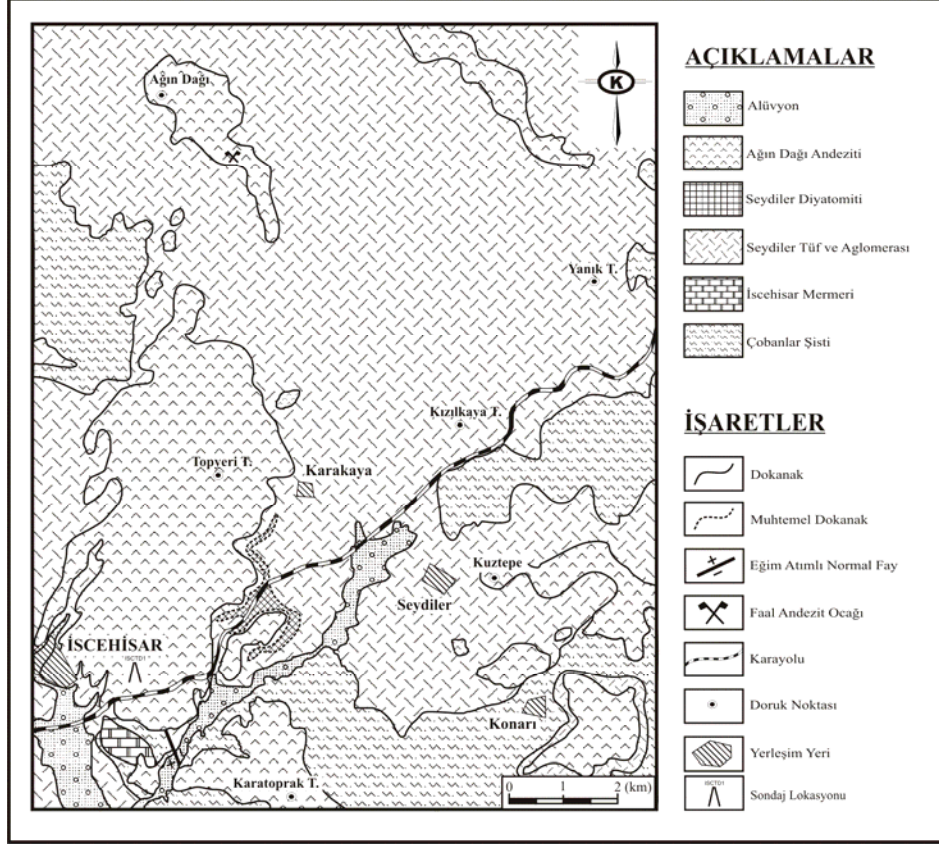
Son yıllarda Afyonkarahisar ili çevresinde termal turizm sektöründe önemli gelişmeler olmuştur. İkbal, Oruçoğlu, Korel termal otel gibi önemli sayılabilecek yatak kapasitesine sahip termal oteller açılmıştır. Bazı yeni termal otellerin ise önümüzdeki birkaç yıl içerisinde hizmete gireceği düşünülmektedir. Termal turizm yanında Afyon'da konutların önemli sayılabilecek bir kısmı 10.000 konut ısıtma kapasiteli AFJET tesisleri tarafından ısıtılmaktadır. Bölgede mineral içerikli maden suları üretimi de yapılmaktadır.

Termal sular kapsamında İscehisar bölgesinde yapılan ilk çalışmalar İscehisar Belediye Başkanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 2 yıl öncesinde edüt yaptırılmış ve bu edütlerin sonucunda bölgede 1 adet sıcak su sondajı yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan İscehisar TD1 sondaj kuyusunda, kuyu tabanında sıcaklığı 42° C üzerinde olan sıcak su bulunmuştur. Maden suları ile ilgili çalışmalar kapsamında ise İscehisar'da iki adet maden suyu kuyusu açılmıştır.

Bu çalışmada, bahsedilen maden suyu ve termal su kuyularından alınan örnekler incelenerek kullanım potansiyelleri araştırılmıştır.

2. İSCEHİSAR (AFYONKARAHİSAR) YÖRESİNİN JEOLJİSİ

İnceleme alanının (Şekil 1) temelini Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfitleleri oluşturmaktadır. Formasyon, Çobanlar şisti ve İscehisar mermerlerinden meydana gelir.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Metin vd., 1987 ve Yıldız vd., 1999'dan değiştirilerek alınmıştır)

Temel kayaların üzerine uyumsuzlukla gelen Seydiler tüfü, beyaz, sarımsı beyaz, krem ve gri renkli olup, çok kalın tabakalanmalar gösterir. Peri bacalarını andıran aşınım şekilleri oluşturdukları için bölgede hemen dikkati çekmektedir. Bazı yerlerde de birim içerisinde sütünsal yapıya soğuma çatlakları gözlenmektedir. Kuşçu ve Yıldız (2001) tarafından yapılan çalışmada, genellikle camdan oluşan matriks içerisinde kuvars, sanidin, plajyoklaslar, ve çubuğumsu şekilli biyotit fenokristalleri tespit edilmiştir. Feldspatlar kayalık içerisinde özşekilli olarak bulunmaktadır. Kuvarlar öz şekilli, iri tanelidir ve kayaya porifirik doku vermektedir. Ayrıca matriks içerisinde yer yer kayalık parçaları görülmektedir. Boyutları bazı bölgelerde 1 – 2 cm'ye kadar ulaşan gözenekler kayanın genelinde hakimdir.

Seydiler tüfünün üst seviyelerinde tüflerle ardalanmalı olarak Seydiler diyatomi, yer almaktadır. Tüflerle ardalanmalı diyatomit düzeyinin kalınlığı 26m'ye kadar ulaşmaktadır (Yıldız vd., 1999). Beyaz, krem, sarı ve gri renkli olan birimin rengini

içerisindeki klastik malzeme miktarı ve birime nüfuz eden demirli eriyikler önemli ölçüde etkilemiştir.

3. İSCEHİSAR MADEN SULARININ VE TERMAL SUYUNUN KÖKENİ

Derinde çatlak ve kırık sisteminden yükselen sıcak sular yüzeye yaklaştıkça ısılarını yitirmekte aynı zamanda kristalen şistlerin üst seviyelerinde bulunan yüzey kökenli soğuk sularla birleşerek ve karışarak maden suyu bileşimindeki su zonu meydana gelmektedir.

Çalışma alanında iki adet maden suyu kuyusu bulunmaktadır. 1 nolu maden suyu sondaj açılmadan önce 0.1 lt/sn debide ve 20 °C olarak belirlenmiştir. 35m derinlikte sondaj açıldıktan sonra dinamik seviyesi olan 12.85m derinlikte 3 lt/sn su alınabileceği belirlenmiştir. 2 nolu kuyu 35m derinlikte ve artezyen yapmakta olup, 1 lt/sn debide 21°C su çekilebileceği tespit edilmiştir. Her iki kuyuda 35m derinlikte olup rezervuar kuvarsit, bantlı şistlerdir.

3.1. Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Afyonkarahisar-İscehisar maden suyu kaynağı ve sondaj suları renksiz, berrak, bol karbondioksit gazlı ve tadı ekşi olup, eser miktarda demir içerir. Kaynakta maden suyu sıcaklığı 20°C, sondajda ise 21°C dir. Kaynak ve sondajlara ait maden sularındaki toplam mineralizasyon 4700 mg/lt civarındadır (Çizelge 1). Spesifik kondiktivite (25°C) 3090 umho/cm, toplam sertlik 16.10 AS dir.

İscehisar termal suyuna ait veriler ise Çizelge 2 ve Çizelge 3’de verilmektedir. İncelenen su, doğal sıcaklığının 39°C (20°C üzerinde) olması nedeniyle "termal", toplam mineralizasyonunun 1977mg/l (1000mg/l'nin üzerinde) olması nedeniyle de balneolojide "Termomineral Sular" grubunda yer almaktadır. %20 milivali aşan sodyum (%64 milival) ve bikarbonat (%94 milival) düzeyleri yüzünden sodyumlu ve bikarbonatlı bir mineralli sudur (Karagülle, 2007).

İnsan sağlığı üzerine olumlu etkileri ve tedavi edici özellikleri olan özel mineralli sular için belirlenmiş eşik değerler açısından ele alındığında, 1mg/l üzerinde florür (1,6mg/l) içerdiği için florürlü sular sınıfına, karbondioksitli sular için eşik değer olan 500mg/l üzerinde karbondioksit (814mg/l) içerdiği için karbondioksitli sular sınıfına dahil edilmektedir (Şekil 3).

Şekil 4 de Durov ve Piper diyagramları incelenirse suların HCO₃ bakımından zengin oldukları görülmektedir. Özellikle İscehisar maden suları Kızılay maden suyu ile aynı kimyasal özelliği gösterdiği gözlenmektedir. Bu durum HCO₃ bakımından zengin derişimler içeren bu sular kökeninin CO₂ zengin sularla karışımından ileri gelmektedir. Bu durumu kuyulardaki gaz çıkışlarından anlaşılmaktadır. Yapılan analizler sonucu H₂S gazı ölçülmediği için bu gaz çıkışları büyük bir olasılıkla CO₂ gazı olmalıdır. Analizlerde göre maden suyu termal suya göre daha fazla çözünmüş maddeye sahiptir.

Bu durum CO₂ gazının maden sularının bileşimine etkisi ile açıklanabilir. Örneğin İSC M1 örneğinde 96,26 mg/l olan CO₂ gazı buna sebep olmuştur. Sulardaki CO₂ gazının yüksek olması suların pH değerini göreceli olarak düşürmektedir (İSC M2 pH: 6.9). Termal sulara göre daha asitik olan maden suları yüksek HCO₃ derişimlerinden kaynaklanan anyon fazlalığını dengelemek için çevre kayalarları çözerek Na ve K gibi kanyonları bünyelerine alırlar. Aşırı HCO₃ oluşumuna neden olan CO₂ gazının bu etkisi sadece maden suları ile sınırlı kalmayıp muhtemelen sıcak suları da içermektedir (Mutlu, 1996).

Çizelge 1. İnceleme alanında bulunan maden suyu sondaj kuyularına ait kimyasal analiz değerleri

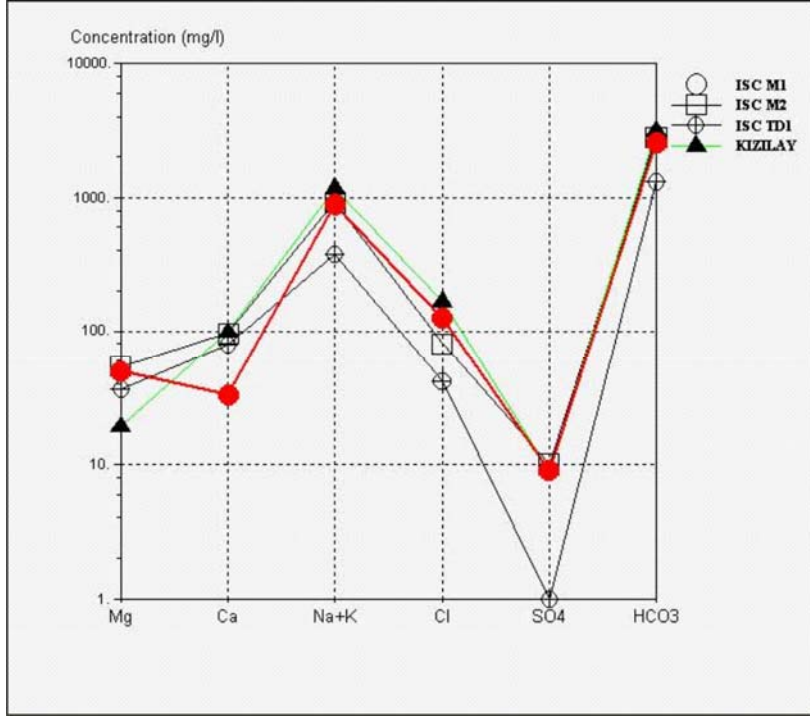
KUYU ADI	İSC M 1(mg/l).	İSC M 2(mg/l).	KIZILAY MS1(mg/l).
Na ⁺	810	840	1080
K	82	86	91.9
Ca	33	96	97.8
Mg	50	54	19.2
HCO ₃	2569	28.25	3103
Cl	125	80	167
SO ₄	<10	10	<10
Li	0.17	0.12	-
B	8.5	6.5	-
Fe	<0.1	0.1	-
Mn	<0.1	0.1	-
F	3.2	3.0	-
NO ₂	15.2	13.7	-
NO ₃	0.57	0.61	-
SiO ₂	56	68	-
CO ₂	96.25	92	-
Mn	<0.1	0.1	-
NH ₄	1.7	4.72	-
PH	7.63	6.9	6.2
T °C	21	20	18

Çizelge 2. İsehisar TD1 kuyusundan alınan su örneğinin fiziksel ve fiziko-kimyasal özellikleri

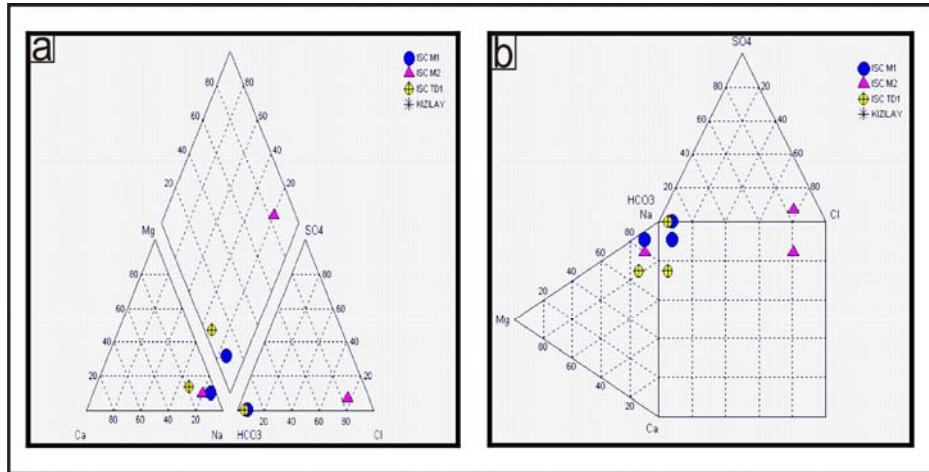
Fiziksel Özellikler		Fizikokimyasal Özellikler	
Koku	Kokusuz	pH değeri	6,95
Tat	Tatsız	Elektriksel iletkenliği	1.700 µS/cm
Renk	102 UNITS PtCo	Hava sıcaklığı	25°C
Bulanıklık	18 FTU TURBIDITY	Salinite	0,8
Çökelti	Yok	Karbondioksit (CO ₂)	814 mg/l
Yoğunluğu	1003 g/cm ³	Sertlik	34.8 Fr°S

Çizelge 3. İsehisar TD1 kuyusundan alınan su örneğinin kimyasal bileşimi

Kationlar		mg/l	mEq/l	%mval
Sodyum	(Na ⁺)	340,252	14,800	64,390
Potasyum	(K ⁺)	39,100	1,000	4,351
Amonyum	(NH ₄ ⁺)	3,160	0,176	0,764
Magnezyum	(Mg ²⁺)	36,465	3,001	13,057
Kalsiyum	(Ca ²⁺)	79,208	3,960	17,230
Mangan	(Mn ²⁺)	0,300	0,011	0,048
Demir	(Fe ²⁺)	1,030	0,037	0,161
<i>Toplam</i>		<i>499,515</i>	<i>22,985</i>	<i>100,000</i>
Anyonlar		mg/l	mEq/l	%mval
Flourür	(F ⁻)	1,670	0,088	0,386
Klorür	(Cl ⁻)	41,477	1,170	5,135
Bromür	(Br ⁻)	0,130	0,002	0,007
İyodür	(I ⁻)	0,023	0,000	0,001
Nitrit	(NO ₂ ⁻)	0,039	0,001	0,004
Nitrat	(NO ₃ ⁻)	0,000	0,000	0,000
Sülfat	(SO ₄ ²⁻)	1,000	0,021	0,091
Bikarbonat	(HCO ₃ ⁻)	1311,500	21,500	94,360
Sülfür (Sülfid)	S ²⁻	0,000	0,000	0,000
Fosfat (Hidrofosfat)	(HPO ₄ ²⁻)	0,170	0,004	0,016
<i>Toplam</i>		<i>1356,009</i>	<i>22,785</i>	<i>100</i>
Çözünmeyen Maddeler		mg/l	mEq/l	
Silikat asidi	(H ₂ SiO ₃)	109,426	1,401	
Borik asit	(HBO ₂)	12,981	0,296	
Toplam Mineralizasyon		1977,931 mg/l		
Eser Elementler		mg/l	Eser Elementler	mg/l
Arsenik (Hidroarsenat)	0,550	Baryum Ba ²⁺	1,000	
Kadmiyum Cd ²⁺	0,000	Bakır Cu ²⁺	0,030	
Krom Cr ³⁺	0,000	Çinko Zn ²⁺	0,420	
Nikel Ni ²⁺	0,001	Alüminyum Al ³⁺	0,008	
Kurşun Pb ²⁺	0,005	Molibden Mo ⁶⁺	0,010	
Selenyum Se ²⁺	0,000	Gümüş Ag ⁺	0,000	

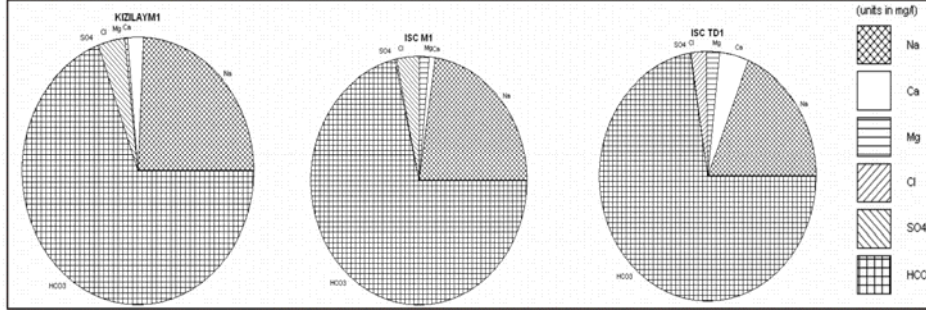


Şekil 3. İsehisar maden suyu (İsc M1, İsc M2), termal kuyu (İsc TD1) ve Kızılay maden suyuna ait (Scholler,1962) diyagramı



Şekil 4. Farklı kökenli sulara ait (Piper,1944) a ve (Durov,1948) b diyagramları.

Tıpkı Kızılay maden suyunda olduğu gibi Na-Karbonat oluşumları ve bu sularda ölçülen düşük sülfat derişimleri bakteriyel bir sülfat indirgenmesine işaret eder (İSC M1 $SO_4: <10$)



Şekil 5. İncehisar maden suyu (İSC M1), termal su (İSC TD1) ve Kızılay maden suyunun (Kızılay MS1) pie diyagramı ile karşılaştırılması

Şekil 5 incelendiğinde maden sularının ve termal kökenli suyun sodyum bikarbonatca zengin sular sınıfına girdiği görülmektedir.

Analiz sonuçlarında en dikkat çekici sonuç ise NH_4 (amonyak), değeri fazlalığıdır. Doğal sularda amonyak derişimleri 0.1 mg/l'ten azdır. Atık sularda ise 30 mg/l'ten yüksek değerler erişebilir. Sulardaki amonyak kirlenmeyi gösterir. 1 nolu maden suyunda bu değer 1.7 mg/l'ten, 2 nolu maden suyunda bu değer 4.7 mg/l'tir. Bundan dolayı maden suyu kuyularının yüzeyle temas eden kısımları beton ile tecrit edilerek NH_4 ortamdan uzaklaştırılmalıdır.

3.2. Kayaç-Su Etkileşimi

Şekil 6'da $Na^+K^{+2}-Mg^{+2}$ jeotermometre değişim grafiği incelerse, su kayaç etkileşiminin dengede olmadığı, dengelenmemiş ham sular sınıfına girdiği söylenebilir.

4. İSCEHİSAR TERMAL SUYUNUN KULLANIM OLANAKLARI

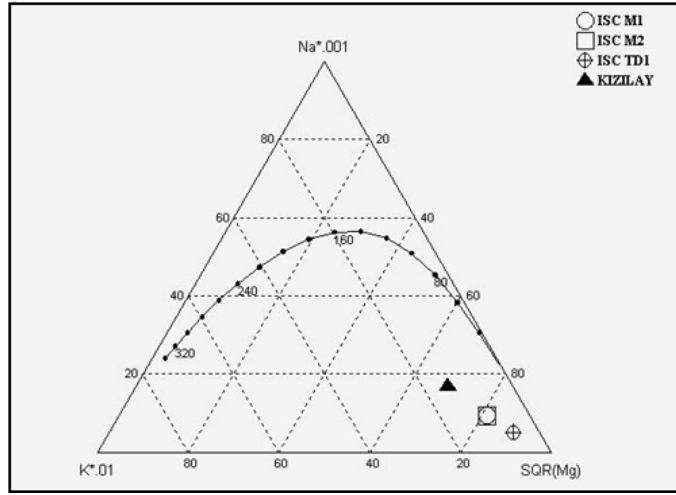
İncehisar termomineral suyunun balneoterapötik kullanım potansiyeli banyo, içme ve inhalasyon uygulamaları şeklinde olabilir (Karagülle, 2007).

4.1. Banyo Kürlerinde Kullanım

İncelenen bu özel termomineral su öncelikle karbondioksit içeriğine bağlı beklenen yararlı etkileri nedeniyle periferik damar yetersizliklerinde ve aşağıda sıralanan hastalıklarda banyo kürleri şeklinde uygulanabilir;

- Arteriyel dolaşım bozuklukları
- Stenoz yapan arteriopati (her evrede)
- El ve parmakların fonksiyonel arteriyel kan akım bozuklukları (Raynaud)

- Cilt mikrosirkülasyon bozuklukları
- Arteriyel hipertansiyon (WHO evre II ye kadar)
- Venöz yetersizlikler (özellikle soğuk su uygulamaları), venöz ülserler
- Kalp yetersizliği (NYHA II ye kadar)
- Algodistrofi (Sudeck I. Seviye)
- Skleroderma
- Nörovegetatif distoni
- Serebral dolaşım bozukluğu
- Polinöropati



Şekil 6. İsehisar maden suyu ve termal su sahasının Na-K-Mg jeotermometre değişim diyagramında kaya-su ilişkisi (Giggenbach, 1988)

Karbondioksit gazı, sıcaklık arttıkça çözünürlüğü azaldığı ve kısmi basıncı havadakine göre yüksek olduğu için sudan kolayca ayrılabilir ve havadan daha ağır olduğu için su yüzeyinde birikerek toksikasyonlara yol açabilir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak ve gerekli önlemler alınarak (uygun küvetlerin kullanılması ve banyo uygulama yerinin iyi havalandırılması), uygun oranlarda soğutularak 34-36°C'de izotermal, 36-38°C'de termal, 38-42°C'de hipertermal banyo kürelerinde, soğutularak <30°C'de hipotermal banyo uygulamalarında kullanılabilir. Ciltteki soğuk reseptörlerinin baskılanması ve sıcak reseptörlerinin uyarılması ile düz suda 35°C civarında olan termoindiferent noktanın CO₂'li suda 32-33°C'ye düşmesi sonucu vücut sıcaklığının rahatsızlık oluşturmaksızın 0,5-1°C azalması, soğuk uygulamada cilt mikrosirkülasyonunun korunması, karbondioksitli sulara özgü olumlu etkilerdir. Karbondioksitli bu özel balneolojik su, niteliğine bağlı özel endikasyonlar dışında termal bir su olarak hareket sisteminin aşağıdaki hastalıklarında tedavi ve rehabilitasyon amaçlı da kullanılabilir;

- Dejeneratif eklem hastalıkları (osteoartritler)
- İnflamatuvar romatizmal hastalıklar (romatoid artrit, ankilozan spondilit gibi)

- Yumuşak doku romatizmaları (fibromyalji sendromu gibi)
- Kronik bel ağrısı

Yine, CO₂ içeriğinin dolaşımı destekleyici etkisi nedeniyle özellikle yararlı olarak bazı nörolojik ve ortopedik durumlarda tedavi ve rehabilitasyon amaçlı kullanılabilir. Örneğin;

- İnme
- Ortopedik ameliyat ve kırıklar sonrası dönem

4.2. İçme Kürlerinde Kullanım

Bakteriyolojik kirliliğin ortadan kaldırılması, içilebilir su niteliğinin oluşması koşulu ile içme kürlerinde kullanımı mümkün olabilir.

Florür içeriğine bağlı beklenen spesifik etkileri nedeniyle aşağıdaki durumlarda uygun miktarlarda içildiğinde yararlı ve sağlığı destekleyici etkileri beklenmelidir;

- Beslenmede günlük florür gereksiniminin sağlanması veya florür eksikliği
- Çocuklar ve gençlerde diş çürüklerinin önlenmesi

Diğer yandan, 1,5mg/l üzerindeki florür içeriği (1,6mg/l) nedeniyle, bu suyun uzun süreli içilmesi durumunda dişlerde karar ve sararmayla seyreden "dental florosis" denilen duruma yol açması söz konusudur. Yine, aynı nedenle, özellikle 0-7 yaş arası çocukların bu suyu içmeleri uygun değildir.

4.3. İnhalasyon Uygulamalarında Kullanım

Sodyum bikarbonat içeriğine bağlı olarak solunum sistemini ilgilendiren bazı hastalıklarda, örneğin astma bronşiyal, kronik bronşit, alerjik üst solunum yolları hastalıkları gibi durumlarda ekspanoran ve spazmolitik etkileri nedeniyle kullanımı mümkün olabilir. Yine, inhalasyon uygulamalarında suyun kimyasal içeriğine bağlı kompleks etkileri araştırılarak endikasyonlar teyid edilmelidir.

5. SONUÇLAR

Afyonkarahisar'ın İncehisar ilçesinde bulunan maden suları, bölgede mineralli su olarak kullanılan Kızılay maden suyu ile benzer özellik gösterdiğinden bu amaçla kullanımı mümkündür. Sağlık açısından Kızılay maden suyunun kullanımı ile alınan olumlu neticelerin alınması beklenebilir. İncehisar termal suyu ise, banyo, inhalasyon ve içme uygulamaları şeklinde belirtilen bir dizi hastalık ve durumda kullanılabilecek balneoterapötik bir ajan niteliği taşımaktadır. Ancak, bu suyun bilimsel kullanımı için, kullanım yöntem ve dozlarının bilimsel çalışmalarla araştırılıp kanıtlanması gerekir. Yine, bu termomineral suyla balneolojik tedavilerin düzenlenmesi ve yürütülmesinde Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Uzmanı hekimin görev yapması koşulu geçerlidir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen İscehisar Belediye Başkanı Sayın Ceylan KILIÇARSLAN'a ve DSİ Afyonkarahisar Şube Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

- Durov, S.A., 1948. Natural waters and graphic representation of their compositions, Akademiya Nauk SSSR Doklady, 59, 87-90.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria derivation of Na-K-Ca-Mg geothermometers, Geochim Cosmochim, Acta, 52, 2749-275.
- Güleç, K., 1972. Afyon mermerlerinin mühendislik jeolojisi ve fiziksel özelliklerinin ayrışma ile ilişkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karagülle, M.Z., 2007. Afyonkarahisar, İscehisar TD1 kuyusu suyunun tıbbi balneolojik değerlendirme raporu, İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kibici, Y., Yıldız, A. Bağcı, M., 2001. Afyon kuzeyinin jeolojisi, mermer potansiyelinin araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, MERSEM 2001, Afyonkarahisar, 73-84.
- Kuşcu, M. ve Yıldız, A., 2001. Ayazini (Afyon) tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar, 85-98.
- Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve yakın dolayının jeolojisi, M.T.A. Rapor No: 8103, Ankara.
- Mutlu, H., 1996. Afyon jeotermal alanındaki termal suların jeokimyasal değerlendirilmesi; Jeotermometre uygulamaları ve akışkan-mineral dengesi; Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 169.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses, American Geophysical Union Transactions, 25, 914-923.
- Schoeller, H, 1962. Les eaux souterraines. *Masson et Cie.*, Paris.
- Yıldız, A., Kibici, Y. ve Emrullahoğlu, Ö. F., 1999. Seydiler (Afyon) diatomitinin jeolojisi ve mineralojisi, BAKSEM'99, İzmir, 96-104.

**DİKİLİ-BERGAMA (İZMİR) TERMAL KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM
ALANLARI**

*HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND UTILIZATIONS
OF THE DİKİLİ-BERGAMA (İZMİR) THERMAL SPRINGS*

ÖZEN, T.¹, TARCAN G.¹, GEMİCİ, Ü.¹ ve AKSOY, N.²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir
tugbanur.ozen@ogr.deu.edu.tr
gultekin.tarcan@deu.edu.tr
unsal.gemici@deu.edu.tr

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir
niyazi.aksoy@deu.edu.tr

ÖZET

İnceleme alanı İzmir İli'nin kuzeyinde yer alan Dikili ve Bergama jeotermal alanlarını kapsamaktadır. Bu çalışmada, söz konusu sahalardaki termal kaynaklara ait kimyasal ve izotopik veriler karşılaştırılarak, hidrojeokimyasal özelliklerinin ve kullanım alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yeni yapılan kimyasal ve izotopik veriler alanda var olan önceki verilerle uyumsuzdur. Suların kullanım alanlarının sahip oldukları sıcaklıklarına ve eser elementleri de içeren kimyasal özelliklerine göre belirlenmesi bu çalışmanın bir diğer amacıdır.

Dikili-Bergama jeotermal alanlarında en yaşlı jeolojik birim Permiyen yaşlı Çamoba ve Kınık Formasyonlarıdır. Bunların üzerine sırasıyla Paleosen yaşlı Kozak granodiyoriti, Tersiyer yaşlı Yuntdağ volkanitleri I ve Demirtaş piroklastikleri, Orta-Üst Miyosen yaşlı Yuntdağ volkanitleri II ve III, Pleyistosen yaşlı Dededağ bazaltları gelmektedir. Tüm birimlerin üzerine uyumsuz olarak alüvyonlar gelir. Bölgede geniş yayılım sunan Yuntdağ volkanitleri jeotermal alanlardaki sıcak suların büyük bir çoğunluğunun hazne kayasını oluşturur. Bu alanlarda çoğunlukla örtü kaya özelliğinde kaya birimi yoktur ancak Demirtaş piroklastikleri ve Yuntdağ volkanitlerinin içinde oluşan ayrışma killeri yer yer örtü kaya özelliğindedirler.

Dikili ve Bergama jeotermal alanlarında yer alan termal kaynaklar buldukları yere göre başlıca; (1) Dikili-Çamur Kaplıcası, (2) Kaynarca Ilıcası, (3) Bademli Kaplıcası, (4) Çoban Ilıcası, (5) Kocaoba Ilıcası, (5) Nebiler Kaplıcası, (6) Güzellik Kaplıcası, (7) Dübek Mevkii kuyuları, (8) Paşa Ilıcası olarak sınıflanabilir. Bu alanlardaki termal kaynakların sıcaklıkları 31–100°C, toplam debileri 200 l/s civarındadır. Dikili jeotermal alanları içerisinde bulunan Kaynarca Jeotermal Alanı 130°C akifer sıcaklığı ile Ege Bölgesi'nde bulunan önemli jeotermal alanlardan biridir. Sıcak sular genellikle Na-HCO₃-SO₄ ve kısmen Na-Ca-HCO₃-SO₄ hidrokimyasal fasiyes tipindedir. Dikili Bademli termal kaynakları deniz suyu ile olan ilişkisi nedeniyle diğer sıcak sulardan farklı olup, Na-Cl hidrokimyasal fasiyesindedir. Jeotermal alanlardaki sıcak suların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri incelendiğinde bu suların meteorik kökenli ya da denizel beslenmeli oldukları görülmektedir. Kaynarca jeotermal alanındaki termal kaynakların 0-5 trityum birimi arasında olan trityum değerleri ve $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi, sıcak suların yeraltında kalış sürelerinin uzun ve en az 50 yıllık bir çevrime sahip olduğunu göstermektedir. Dikili-Bergama termal kaynakları yağış sularının kırık ve çatlaklardan yeraltına süzülerek derinlerde ısınması ve tektonik hatları izleyerek sıcak su olarak yüzeye çıkması şeklinde açıklanabilen 'devirli sistem' niteliğindedir.

Çalışma alanındaki termal kaynakların içme ve sulamaya uygunlukları ulusal ve uluslararası içme ve kullanma suyu standartlarına göre incelenmiştir. Alandaki sıcak sular As, B ve Fe içeriklerine göre çoğunlukla içilmesi ve sulama amaçlı kullanılması uygun olmayan sulardır. Ancak termal kaynaklar, sahip oldukları sıcaklıklar dikkate alındığında; balık yetiştiriciliği, balneoterapi, kurutma, sera ve konut ısıtıcılığında kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Dikili, Bergama, termal kaynak, hidrojeokimya.

ABSTRACT

The study area contains Dikili and Bergama Geothermal Fields is located in northern İzmir Province. In this study, comparing thermal chemical and isotopic data belong to thermal springs in mentioned fields, estimation of hydrogeochemical specialties and utilizations have been proposed. New chemical and isotopic data have been matched previous datum. Determined utilizations of water for chemical characteristics contain also thermal water having temperatures and trace elements are other one proposes of this study.

The oldest formations are Permian aged Çamoba formation in Dikili-Bergama geothermal fields. This formation overlies Earlier Tertiary aged Kınık formation, Paleocene aged Kozak granodiorite, Tertiary aged Yuntdağ volcanic I, Middle-Upper Pleistocene aged Yuntdag volcanic II and III and Pleistocene aged Dededağ basalts. The Quaternary alluviums overlie all units with discordant. Yuntdağ volcanics wide spread in the region are aquifer of the thermal waters. Demirtaş pyroclastics and decomposition clays were formed in Yuntdağ volcanics are the cap rocks of the geothermal systems rarely.

Dikili and Bergama geothermal fields may be counted mainly as Dikili-Çamur spa, Kaynarca spa, Bademli spa, Çoban spa, Kocaoba spa, Nebiler spa Güzellik spa, Paşa spa and Dübek site. Temperatures of thermal springs in the Dikili-Bergama Geothermal fields are changed between 30-100°C. These waters have 200L/s total discharge. Kaynarca Geothermal Field in Geothermal Fields of Dikili is one of the most important geothermal fields in Aegean Region because it has 130°C aquifer temperature. The thermal waters are generally hydrochemical facies type of Na-HCO₃-SO₄ and partially Na-Ca-HCO₃-SO₄. Dikili Bademli thermal springs are also different from other thermal waters, are Na-Cl hydrochemical facies type. When estimated to contents of $\delta^{18}\text{O}$ thermal water in the study

area, it is seen that largely thermal waters are meteoric origin or recharge from sea. Thermal springs in Kaynarca geothermal fields both have 0-5 TU and enrichment of $\delta^{18}\text{O}$ show that these are long circulation in depth and have a cycle is minimum 50 years. Thermal waters are qualified as cyclic system can be explained that the meteoric waters penetrate through the faults and fractures, are heated in reservoir rocks, and move up to the surface along the tectonic lines.

Compliance with the national and international standards of the thermal waters in the study area has been checked. These can not be utilized as drinking and irrigation waters according to As, Fe, B contents. But, regarding the temperatures, thermal waters may be used in aquaculture, balneotherapy, drying, greenhouse and residence heating.

Keywords: Dikili, Bergama, thermal spring, hydrogeochemistry.

1. GİRİŞ

Dikili ve Bergama ilçeleri, İzmir İli'nin kuzeyinde Bakırçay Havzası içerisinde yer almaktadırlar. Dikili jeotermal alanları, Nebiler, Kocaoba, Dikili-Çamur, Kaynarca ve Bademli ılıcaları olmak üzere beş grupta incelenebilir (Şekil 1). Bergama jeotermal alanlarını ise, Güzellik Kaplıcası, Paşa İlicası (Alliano), Dübek Mevkii olmak üzere üç grupta incelemek olasıdır. İnceleme alanındaki termal kaynaklar yöre halkı tarafından sera ısıtmacılığı, kaplıca işletmeciliği ve balneolojik amaçlar için kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki termal kaynakların sıcaklıkları 31–100°C, toplam debileri ise 200 l/sn'dir. Kaynarca jeotermal alanı sahip olduğu yüksek sıcaklık (130°C) ile ülkemiz jeotermal alanları açısından önemli olup, bu alanda açılan üretim kuyularından elde edilen akışkan ile yakın bir tarihte Dikili İlçesi'nde konut ısıtmacılığına başlanmıştır.

Bu çalışmada inceleme alanında bulunan sıcak su kaynaklarının önceki ve yeni kimyasal analiz verileri AquaChem 5.1 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) kimyasal türleştirme programında değerlendirilerek her bir su noktasının akifer kimyası, mineral doyumlukları, hazne sıcaklıkları, kabuklaşma ve korozyon özellikleri, kullanım alanları ve çevresel etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

2. JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Bakırçay Havzası'nda yer alan Dikili ve Bergama jeotermal alanlarında çeşitli tortul ve volkanik kayalar yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanında en yaşlı jeolojik birim sığ denizel çökellerden oluşmuş Permiyen yaşlı Çamoba formasyonudur. Bu birimin üzerine gelen Alt Triyas yaşlı Kınık formasyonu, metamorfizma geçirmiş kırıntılı tortullar ve killi kireçtaşı ile kireçtaşlarından oluşur (Akyürek ve Soysal, 1978). Konglomera ve kumtaşlarından oluşan Ballica formasyonu Üst Miyosen-Pliyosen yaşlıdır. İnceleme alanının kuzeyinde yayılım sunan Kozak granodiyoriti genellikle açık gri renkte olup, orta-iri taneli, bol çatlaklıdır (Akyürek ve Soysal, 1978). Kozak granodiyoriti, Kınık formasyonunu kesmiş ve Yuntdağ volkanitleri tarafından uyumsuzlukla örtülmüştür. Yerleşim yaşı Eosen-Oligosen olarak varsayılmaktadır. İnceleme alanında geniş yayılım sunan kayaların büyük bir kısmını oluşturan Yuntdağ volkanitleri, Orta-Üst Miyosen yaşlıdır. Yuntdağ volkanitleri dasit, riyodasit lav ve

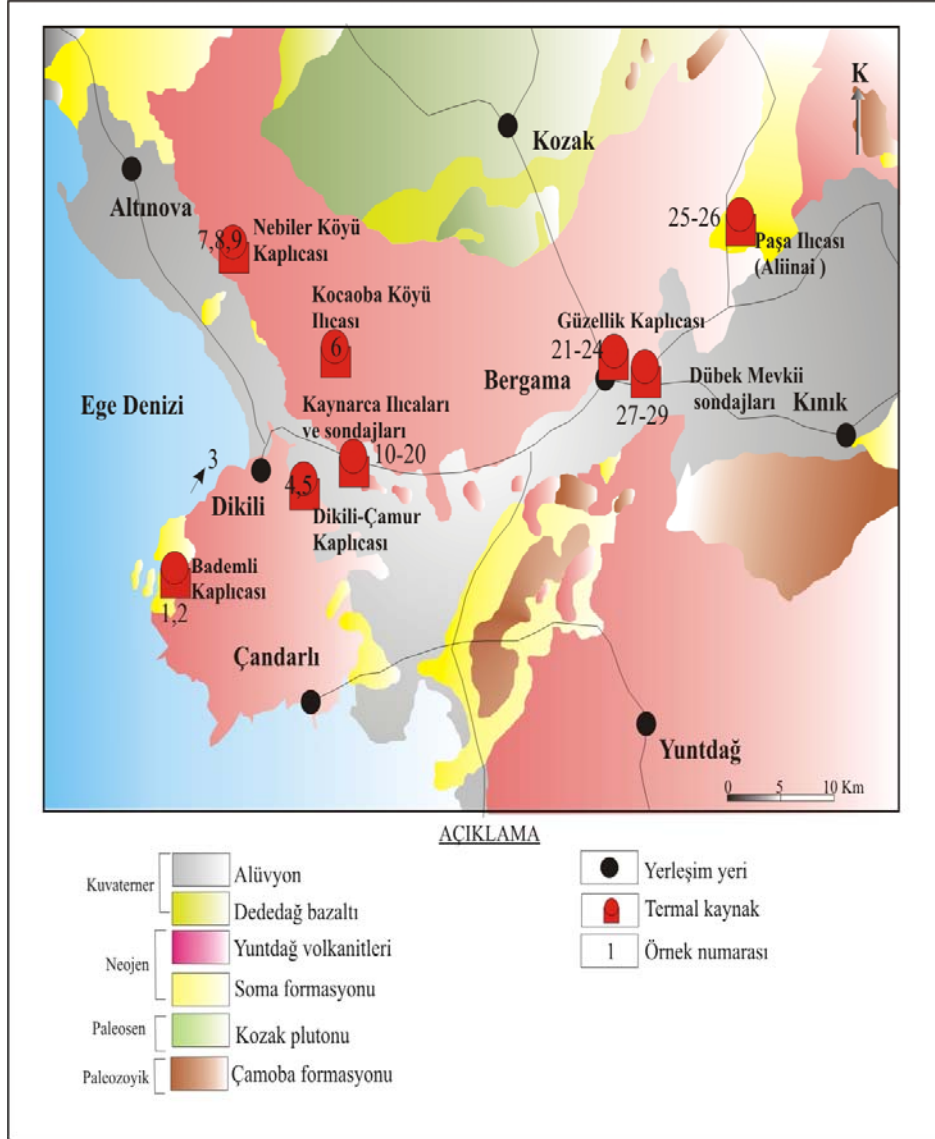
tüfleri ile ağırlıklı olarak andezit ve aglomeralardan oluşmaktadır. Dikili güneyinde, Dikili-Çandarlı ilçe merkezleri arasında yoğun olup grabeni oluşturan tektonik hatlarla uyumlu sıralanmış volkan domlarından yapılıdır. Volkanitleri uyumsuz olarak üstleyen Ballica formasyonu kötü boylanmış, az yuvarlaklaşmış çeşitli türden çakıllar içeren çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan akarsu ve alüvyon yelpazesi çökelleri niteliğindedir. Üstte Soma formasyonu'na geçiş gösterir. Çakıltaşı ve kumtaşlarında bol volkanik tanelerin bulunması ve Yuntdağ Volkanitleri'ne ait tüflerden oluşan tüfit düzeylerinin varlığı, Yuntdağ volkanitlerini oluşturan volkanizmanın Ballica formasyonu'nun çökeliminden önce başlayıp, çökelim anında da değişik evreler şeklinde devam ettiğini kanıtlaması bakımından ilginçtir (Akyürek ve Soysal, 1978). Ballica formasyonunun yaşı Üst Miyosen veya öncesi şeklinde düşünülmektedir. Soma Formasyonu killi kireçtaşı, kil, marn, miltası, tüfit, kumtaşı, çakıltaşı ardalı şeklinde oluşmuştur. Yuntdağ volkanitleri ile yanar ve düşey yönde geçişlidir. Dikili-Bademli Ilicası, Altınova kuzeyi ve Zeytindağ civarında gözlenir. Yuntdağ volkanitleri üzerinde yer alan Pleyistosen yaşlı (Akyürek ve Soysal, 1978) Dededağ bazaltları bölgede etkin olan volkanizmanın son ürünüdür. Siyah koyu kahve renklerde olup, oldukça sert, yer yer gaz boşluklu, yer yer de altıgen soğuma yüzeylidir. (Akyürek ve Soysal, 1978). Tüm birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alan alüvyon inceleme alanının ovalık kesimlerini oluşturur.

İnceleme alanında geniş yayılım sunan Yuntdağ volkanitleri hidrotermal alterasyon içermesi, soğuma çatlakları, akma yapıları ve tektonik kırıklar nedeniyle sıcak suların büyük bir çoğunluğunun hazne kayasını oluştururlar. Çalışma alanında çoğunlukla örtü kaya özelliğinde kaya birimi yoktur. Ancak bu volkanitler içinde oluşan ayrışma killeri yer yer ikincil örtü kaya özelliği göstermektedirler. Ayrıca, Soma formasyonu'nun Kaynarca jeotermal sistemi çevresinde örtü kaya özelliğinde olduğu tahmin edilmektedir (MTA-JICA, 1987). İnceleme alanında etkin olan volkanizmanın son ürünü olan Dededağ bazaltları sert ve masif yapıda olmalarının yanı sıra dar alanlarda yüzlek vermelerinden dolayı akifer özelliği göstermezler. Soğuk yeraltı suları açısından akifer özelliği taşıyan en önemli birim alüvyondur. Volkanik ve tektonik hareketlerin birleşimi ile yüzeye yaklaşmış olan magma bölgedeki jeotermal sistemlerin ısı kaynağıdır. İnceleme alanının kuzeyinde bulunan Paleosen yaşlı Kozak plutonu ise jeotermal sistemlere ısı kaynağı oluşturmak için oldukça yaşlıdır.

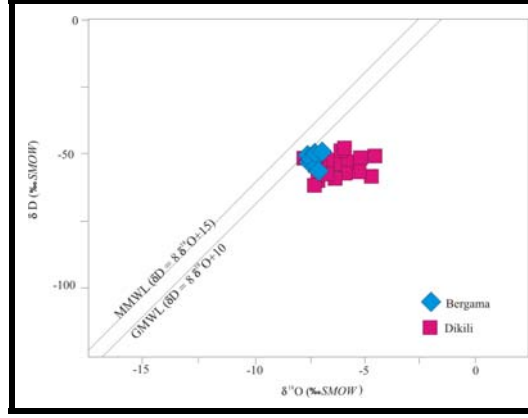
2. ÇEVRESEL İZOTOP DEĞERLENDİRMESİ

İnceleme alanındaki bazı suların çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan izotop analizleri ile bu çalışma kapsamında yapılan izotop analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgedeki suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H değerleri kullanılarak sıcak suların kökeni, soğuk yeraltı suları ile bağlantıları, kalitatif hazne kaya sıcaklıkları ve bağlı yaşları belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 2'de sunulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği incelendiğinde, önceki çalışmalarda yapılmış izotop analizleriyle, yeni yapılmış olan analizler ışığında termal suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı üzerindeki dünya meteorik su doğrusu ile Akdeniz meteorik su doğrusuna göre konumları, meteorik kökenli olduklarını göstermektedir.

Sıcak suların trityum değerleri çoğunlukla 0-5 TU (trityum birimi) arasında olup, yaklaşık 50 yıl önceki yağış sularının egemen olduğu suların özelliklerini yansıtır (Filiz, 1982). Bademli ılıcası



Şekil 1. Dikili ve Bergama Jeotermal Alanları'nın jeolojisi ve sıcak suların dağılımı (Jeoloji haritası MTA 1/500.000 ölçekli MTA haritasından derlenmiştir).



Şekil 2. İnceleme alanındaki termal suların $\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$ diyagramındaki görünümü. MMWL ($\delta\text{D}=8 \delta^{18}\text{O} + 15$) Akdeniz meteorik su doğrusunu (Gatt ve Carmi, 1970), GMWL ($\delta\text{D}=8 \delta^{18}\text{O} + 10$) ise Dünya meteorik su doğrusunu (Craig, 1961).

Çizelge 1. İnceleme alanı içerisindeki termal suların izotop analizleri.

Örnek Adı	$\delta^2\text{H}$ SMOW%	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW%	$^3\text{H(T)}$ (TU)	Kaynak
GI-1 Bergama Kuyu	-52.42	-7.51	0.00±1.60	Tarcan ve diğ., 2004
Bergama Güzellik Ilıcasi	-46.1	-7.4	1.7	Jeckelman, 1996
Bergama Güzellik Ilıcasi	-42.6	-8.04	13-26	Filiz, 1982
Dübek Mevkii Sondaj	-37.4	-6.91	<12	Filiz, 1982
Paşa Ilıcasi	-44	-8.27	<0.8	Jeckelman, 1996
Mahmudiye, ılıca pınar	-36.1	-7.3	<1.4	Jeckelman, 1996
Dikili Nebiler Ilıcasi	-39	-6.81	13-26	Filiz, 1982
Dikili Nebiler Ilıcasi	-43.5	-6.4	3.75±1.70	Tarcan ve diğ., 2004
Çoban Ilıcasi	-	-6.91	13-26	Filiz, 1982
Dikili Kaplıcası	-43.7	-6.14	13-26	Filiz, 1982
Dikili Kaplıcası	-47.5	-6.8	<0.3	MTA-JICA, 1987
Dikili Kocaoba Ilıcasi	-43.3	-8.04	32±10	Filiz, 1982
Dikili Kocaoba Ilıcasi	-44.3	-7.5	0.7	Jeckelman, 1996
Dikili Çamur Ilıcasi	-41.6	-6.27	34±10	Filiz, 1982
Dikili Çamur Ilıcaları,	-43.5	-6.4	0.7	Jeckelman, 1996
Dikili Çamur Ilıcaları	-42.8	-5.9	1.1	Jeckelman, 1996
Dikili Kaynarca Ilıcasi	-37.8	-5.38	13-26	Filiz, 1982
Kaynarca küçük havuz	-42.3	-6.1	0.9	Jeckelman, 1996
Kaynarca MTA-JICA	-40.6	-6.6	0.8	Jeckelman, 1996

Sıcak suları denizel beslenmenin neden olduğu tuzlanmadan kaynaklanan oksijen-18 ve döteryum zenginleşmesi gösteren kaynaklardır. Termal suların yüksek ¹⁸O zenginleşmesi ve düşük trityum değerleri genel olarak derin dolaşım ve yeraltında uzun kalış süresine sahip olduklarını göstermektedir (Özen ve Tarcan, 2005).

4. HİDROJEOKİMYA

İnceleme alanı içerisindeki sıcak ve soğuk suların mevcut kimyasal analiz sonuçları ve bu çalışma kapsamında yapılmış ayrıntılı kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Bu çalışmada inceleme alanında bulunan sıcak su kaynaklarının önceki ve yeni kimyasal analiz verileri AquaChem 5.1 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) kimyasal türleştirme programlarında değerlendirilerek her bir su noktasının akifer kimyası, mineral doygunlukları, hazne sıcaklıkları, kabuklaşma ve korozyon özellikleri, kullanım alanlarının belirlenmesi ve çevresel etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.1. Suların Sınıflaması

4.1.1. Suların hidrokimyasal fasiyes özelliklerine göre sınıflaması

Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlarındaki izdüşüm yerlerine göre Back, (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere meq/l cinsinden %50’den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi %50’yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması ise suda çözülmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere meq/l olarak %20’den fazla çözülmüş bulunan iyonlar su tipini belirlemektedir (IAH, 1979; Başkan ve Canik, 1984). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı AIH sınıflamasına uyarlanarak kullanılmıştır. Buna göre; Dikili Çamur, Nebiler ılıcası sıcak suları Na-HCO₃-Cl-SO₄, Kaynarca ve Kocaoba sıcak suları Na-Cl-SO₄-HCO₃, Bergama sıcak suları ise Na- HCO₃ tipindedirler. Dikili Bademli ılıcası sıcak suları ise Na-Cl su tipinde olup tuzlu su sınıfına girmektedir. Bölgedeki soğuk sular ise sıcak sulardan farklı fasiyes özelliklerine sahip olup, Na⁺², Ca⁺², HCO₃⁻ ve SO₄⁻ iyonlarının egemen olduğu sulardır (Çizelge 1).

4.1.2. Suların sertlik derecelerine göre sınıflaması

Bu çalışmada suların sertlikleri Fransız sertliği sınıflamasına göre belirlenmiştir. Geçici ve kalıcı sertliğin toplamı suyun toplam sertliğini verir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\text{Toplam sertlik} = 5 \times (r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}) \quad (r=\text{meq/l})$$

Çizelge 2’de inceleme alanındaki sıcak suların bu bağıntıya göre hesaplanmış sertlik değerleri görülmektedir. Dikili jeotermal alanındaki suların sertlik değerleri genel olarak 10–46 arasında değişmekte olup sert sular sınıfındadır. Bergama jeotermal alanı sıcak

suları ise 2 ile 14 arasında değişen değerlerde olup yumuşak su sınıfındadırlar. Bademli ılıcası sıcak suları ise deniz suyu etkileşimi nedeniyle 150.1 sertlik değeri ile çok sert sular sınıfındadır.

4.2. Suların Kullanım Özellikleri

Dikili ve Bergama jeotermal alanları birbirine yakın ve benzer jeolojik özelliklere sahip alanlardır. Alanda volkanik kayalar akifer (hazne) özelliğinde olduğundan düşük tuzluluktadır. Bergama suları Na-HCO₃ tipindeki sulardır. Tuzluluklarının düşük olması nedeniyle (Güzellik ılıcası) çevresindeki bazı sıcak su sondajları soğutulduktan sonra içme suyu olarak şebekelerden (bazı otellerde) verilmektedir. Bu tür kullanımlar nedeniyle Güzellik Kaplıcası kaynak suları günümüzde kurumuş durumda olup, yakınında bulunan sığ artezyen kuyudan su çekilmektedir. Güzellik ılıcası çevresindeki yeraltı suları tuzluluk açısından düşük olmakla birlikte, sınır değerlerin 8-20 kat üzerinde Arsenik (As) içeriğiyle dikkat çekmekte olup, içme suyu olarak kullanılması sakıncalıdır. Paşa ılıcası suları da normalin çok üzerindeki arsenik içeriğiyle çevresel risk oluşturmaktadır. Üstelik Paşa ılıcası suları tarihi Alliano antik kentinin sınırları içerisinde bulunmaktadır ve yakında Yortanlı Barajı göl alanının içinde kalacaktır. Bu sulardaki yüksek arsenik göl sularının kalitesini çok olumsuz etkileyecektir. Dikili suları ise çoğunlukla Na-SO₄-HCO₃ tipli sular olup, Bergama sularına oranla daha yüksek yeraltı sıcaklığına sahiptir.

Termal kaynakların içerdikleri yüksek B, As ve Fe içeriklerinden dolayı çevreye olabilecek olumsuz etkilerini önlemek için termal suların kullanım sonrası yeraltına geri basım (re-enjeksiyon) yapılması önemlidir. Ayrıca jeotermal sistemlerin beslenmesi ve uzun ömürlü olması ve soğumaması açısından ideal olanı geri basım kuyularıdır. Hem Dikili hem de Bergama ilçeleri gerek tarihsel ve doğal güzellikleri itibarıyla gerekse jeotermal potansiyel açısından düşünüldüğünde jeotermal turizm açısından geliştirilebilecek alanlardır. Ayrıca bu bölgelerde konut ve sera ısıtmacılığı uygulamaları da geliştirilebilir.

4.3. Sıcak Suların Akifer Sıcaklıklarının Tahmini

Jeotermometreler akiferdeki suyun sıcaklığının tahmininde kullanılmaktadır. Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi sıcak suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklıklarının doğrudan ölçülmesi masraf ve zaman gerektirdiğinden her zaman mümkün olmamaktadır. Buna bağlı olarak gerek ekonomikliği, gerekse de kullarıdaki kolaylığı nedeniyle akifer sıcaklığının saptanması için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Sıcak suların arazide veya laboratuarda elde edilmiş olan kimyasal özelliklerine dayalı olan kimyasal jeotermometreler ekonomik ve pratik olmaları nedeni ile akifer sıcaklığının tahmininde en çok kullanılan jeotermometrelerdendir. Sayısal kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe ve iyon değişimine dayalı olarak geliştirilmişlerdir. İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların kimyasal jeotermometre uygulama sonuçları Çizelge 3'te belirtilmiştir. Jeotermometre sonuçlarında jeotermal alanlar için

Na/K jeotermometreleri yüksek, Silis jeotermometreleri ise düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Bazı değerler ya olabileceğinden çok yüksek, ya da kaynak çıkış sıcaklığından bile düşük değerler vermektedir. Bu tür sonuçlar Çizelge 4'de gösterilmemiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi silis jeotermometrelerine göre, Bergama Jeotermal Alanı sıcak suları 80-100°C ve Dikili Jeotermal Alanı'nın 120-170°C'ye sahip bir akifer (hazne) sıcaklığı içerdikleri söylenebilir.

4.4. Suların Mineral Doğunluklarının Değerlendirilmesi

Mineral doğunluk indekslerinin hesaplanması suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Bu çalışmada yukarıda kısaca anlatılan ilke ve hesaplamalar doğrultusunda kimyasal türleştirme ve mineral doğunluk hesaplamaları yapılmış olup, her bir su noktasına ait hidrojeokimyasal hesaplamalar ve mineral doğunluk değerleri PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) programıyla hesaplanmıştır. Yapılan mineral doğunluk hesaplamaları da göstermektedir ki; kalsit, aragonit, kısmen dolomit, ikincil olarak kuvars, kalsedon mineralleri çoğunlukla pozitif (yani doğunluk üstü) değerler vermektedir. Jips ve anhidrit gibi sülfatlı mineraller ise çoğunlukla negatif (yani doğunluk altı) değerler vermektedir. Saha gözlemleri ve mineral doğunluk hesaplamaları bir bütün olarak değerlendirilirse en çok çökelebilecek kabuklaşma türünün kalsit, aragonit ve kısmen dolomit gibi karbonat mineralleri olduğu; ikinci olarak kuvars, kalsedon ve amorf silis gibi silisli ve sülfatlı minerallerin (anhidrit, sölestin ve barit) de kısmen çökelebilmek riski taşıdığı söylenebilir.

5. SONUÇLAR

Dikili ve Bergama jeotermal alanları birbirine yakın ve benzer jeolojik özelliklere sahip alanlardır. Alanda volkanik kayalar akifer (hazne) özelliğindedirler. Genellikle Na-HCO₃-SO₄ ve kısmen Na-Ca-HCO₃-SO₄ hidrokimyasal fasiyes tipinde olan bu sıcak suların hepsi meteorik kökenlidir. Bölgedeki sıcak sular kırık ve faylar boyunca yeraltına süzülen meteorik suların derinlerde ısınarak, tektonik hatlar boyunca tekrar yüzeylediği devirli sistem özelliğindedirler.

Yapılan duraylı izotop analizleri birlikte değerlendirildiğinde, tüm sular meteorik kökenlidir. Tritiyum değerleri çoğunlukla 0-5 TU (trityum birimi) arasında olup, en az 50 yıl önceki yağış sularının egemen olduğu suların özelliklerini yansıtır.

Dikili jeotermal alanındaki sular genel olarak sert sular sınıfındadır. Bergama jeotermal alanı sıcak suları ise yumuşak su sınıfındadır. Bademli ılıcası sıcak suları deniz suyu etkileşimi nedeniyle çok sert sular sınıfındadır. Jeotermometre sonuçlarına göre genellikle Na/K jeotermometrelerinin yüksek sıcaklık verdiği, kalsedon jeotermometrelerinin ise daha düşük sıcaklık verdiği söylenebilir. Silis jeotermometre

sonuçlarına göre Bergama Jeotermal Alanı'nın 80–100 °C, Dikili Jeotermal Alanı'nın ise 120-170°C sıcaklığa sahip olduğu söylenebilir.

Yapılan mineral doygunluk hesaplamaları en çok çökelebilecek kabuklaşma türünün kalsit, aragonit ve kısmen dolomit gibi karbonat mineralleri olduğunu; ikinci olarak kuvars, kalsedon ve amorf silis gibi bazı silisli ve sülfatlı (anhidrit) minerallerin de çökelebilmek riski taşıdığını göstermektedir. Özellikle jeotermal kuyularda amorf silis, sölestin ve barit kabuklaşması tehlikesi de bulunmaktadır.

Termal kaynakların içerdikleri yüksek B, As, Fe içeriklerinden dolayı çevreye olabilecek olumsuz etkilerini önlemek için kullanım sonrası yeraltına geri basım (re-enjeksiyon) yapılması önemlidir. Ayrıca jeotermal sistemlerin beslenmesi ve uzun ömürlü olması ve soğumaması açısından ideal olanı geri basım kuyularıdır. Hem Dikili hem de Bergama gerek tarihsel ve doğal güzellikleri itibarıyla gerekse jeotermal potansiyel açısından düşünüldüğünde jeotermal turizm açısından geliştirilebilecek alanlardır. Ayrıca, konut ve sera ısıtmacılıkları da geliştirilmelidir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK-YDABAG-102Y039 No'lu "İzmir İli Sıcak ve Mineralli Kaynakların Hidrojeoloji İncelemesi" konulu proje tarafından desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Akyürek, B. ve Soysal, Y., 1978. Kırkağaç, Soma (Manisa), Savaştepe, Korucu, Ayvalık (Balıkesir), Bergama (İzmir) civarının jeolojisi: MTA Rap. No; 6432.
- Arnórsson S., Gunnlaugsson E., and Svavarsson H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567–577.
- Başkan, M.E., Canik, B., 1983. IAH Map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region. MTA No. 189, Ankara, Pp:80.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-B.
- Calmbach, L., 1997. AquaChem Computer Code-Version 3.7.42, Waterloo hydrogeologic. Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3.
- Filiz, Ş., 1995. Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O-18, H-2, H-3, C-13 izotoplarıyla incelenmesi. Doçentlik Tezi, E.Ü.Y.B.F., İzmir, Pp: 95.
- Fouillac, C., Michard, G., 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*, 10 55–70.
- Fournier, R.O., 1977. A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In : Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, pp: 133–143.

Cizelge 1. İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları (Tarcan ve diğ., 2004; pH=standart birim, EC=elektriksel iletkenlik $\mu\text{S/cm}$, diğer bileşenler ppm'dir. Su tipi IAH (1979) sınıflamasına göre değerlendirilerek hazırlanmıştır. Sertlik Fransız sertlik derecesine göre tanımlanmıştır. SAR sularına amaçlı sodyum tehlikesini belirtir. (*) Örneklerin Tarcan ve Gemici, 2004'ten alındığı göstermektedir).

No	Örnek Alman Yerini Adı	T(°C)	pH	EC	Na	K	Mg	Ca	Sr	Fe	Ba	Zn	Cu	Cl	Br	I	SO ₄	HCO ₃	Al	As	H ₂ SiO ₄	B	Cd	Sertlik (Fr)	SAR	Su Türü
1	Bademli İlticası Sıcak Kaynak	43	6.63	20000	4405	287	237.00	210.71	7.953	0.046	0.243	0.0309	0.0321	5708	15.35	0.129	7355.8	622.2	0.066	1.28	204.78	24.79	< 0.05	150.1	49.5	Na-Cl
2	Bademli Soğuk Su	24	8.72	601	36.7	6	23.60	46.99	0.292	< 10	0.03	0.0063	0.0011	9	0.108	0.091	45.3	292.8	0.043	0.01	148.4	0.049	0.00008	21.4	1.1	Ca-Mg-Na-HCO ₃
3	Bikili Deniz Suyu	25	8.02	58300	13789	501	1681.0	536.3	8.525	0.061	0.016	0.0771	0.1082	23660	62.27	< 1	3036	139.1	0.311	0.223	26.97	5.458	< 0.05	825.3	66.0	Na-Cl
4	Dikili Kaplıcası 21 m. kuyu	73	6.4	2570	634	42	7.50	38.34	2.026	0.328	0.05	0.0057	0.0047	408	0.163	0.018	500.8	1093	0.013	0.849	135.98	7.787	< 0.05	12.7	24.5	Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄
5	Dikili Kaplıcası 60 m. kuyu	69	6.16	2620	609	40	7.60	58.31	2.203	0.56	0.056	0.0679	0.0065	399	0.17	0.023	467.5	1127	0.072	0.902	133.1	7.487	< 0.05	17.7	19.9	Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄
6	Kocaba İlticası Kaynak	52	7.35	1830	328	13	4.50	109	3.966	< 10	0.037	0.0151	0.0036	696	0.077	0.009	762.5	195.2	0.028	0.043	102.18	0.433	< 0.05	29.0	8.4	Na-Cl-SO ₄
7	Nebiler İlticası I. Kaynak	57	6.64	1445	280	9.3	12.90	56.21	2.703	0.206	0.045	0.0117	0.0084	300	0.097	0.018	320.6	512.4	0.035	0.012	132.97	1.296	0.00007	19.3	8.8	Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄
8	Nebiler İlticası II. Kaynak	59	6.64	1435	289	9.2	10.30	51.02	2.421	0.154	0.047	0.0072	0.0028	282	0.103	0.018	260.5	534.3	0.015	0.015	133.69	1.371	< 0.05	17.0	9.7	Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄
9	Nebiler Kaplıcası Yol Üzeri K.	34	6.9	1607	212	7.3	35.50	111.4	3.611	0.433	0.025	0.0163	0.0022	405	0.086	0.013	454.4	495.3	0.035	0.009	103.48	0.878	0.00009	42.4	4.5	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
10	Kaynarca DG-1	67	6.54	2060	435	22.1	5.40	60.73	3.011	1.173	0.047	0.0077	0.004	540	0.114	0.017	571.6	524.6	0.02	0.085	128.84	2.766	< 0.05	17.4	14.4	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
11	*Kaynarca B-3 Kuyusu	87	7.18	2280	552	39	1.70	38.45	2.495	2.852	0.076	0.0223	0.0071	585	0.135	0.016	660.9	590.5	0.053	0.22	202.9	3.933	< 0.05	10.3	23.7	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
12	*Kaynarca B-2 Kuyusu	76	8.11	2460	577	40.8	4.90	27.03	1.798	5.961	0.028	0.0684	0.0089	615	0.149	0.015	656.3	490.4	0.709	0.242	223.41	3.914	< 0.05	8.8	26.8	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
13	Kaynarca B-1 Kuyusu	84	7.86	2370	560	39.9	1.70	33.12	1.836	1.561	0.031	0.0368	0.0054	615	0.138	0.016	722.2	512.4	0.095	0.234	207.55	3.869	< 0.05	9.0	25.7	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
14	*Kaynarca Kaynak	79	6.84	2320	527	37.6	1.70	25.94	1.899	1.05	0.06	0.0101	0.0042	579	0.136	0.014	709	561	0.18	0.231	397.34	3.94	< 0.05	6.8	27.9	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
15	*Kaynarca Benzinlik	68	6.18	2220	478	34.5	0.70	49.32	1.45	0.371	0.048	0.0212	0.0056	516	0.129	0.014	659.6	602.7	0.266	0.116	153.83	3.277	< 0.05	14.2	17.4	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
16	*Agrobay 1 kuyusu	93	6.42	2030	499	34.6	4.70	42.61	2	0.569	0.051	0.0049	0.004	558	0.136	0.013	666.6	573.4	0.043	0.11	147.41	3.398	< 0.05	11.9	19.9	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
17	*Agrobay 2	93	6.42	2030	478	35.6	3.17	46.05	1.926	0.29	0.053	0.0003	0.0089	636	0.097	0.036	505	559	0.031	0.02	155.83	2.719	< 0.05	12.8	18.3	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
18	Küçük Kuyu (D-1)	18	7.36	1039	695	1.4	3.28	107.3	1.32	0.102	0.046	0.483	0.01	189	0.106	0.005	250	350	0.087	0.003	49.41	< 20	0.00009	39.0	15.3	Na-HCO ₃
19	Türkeli (D-2) (soğuk su)	17	7.25	1155	77	5.1	29.80	135.1	2.917	12.21	0.192	< 0.5	0.0191	255	0.099	0.015	302	364	1.1	0.009	46.93	0.062	0.00023	46.3	1.6	Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
20	Agrobay Drenaj (D-4)	19	6.95	727	32	3.6	30.70	82.72	1.388	0.137	0.202	0.0089	0.0117	54	0.059	0.021	84	408	0.048	0.01	39.09	0.034	0.0002	32.7	0.8	Ca-Mg-HCO ₃
21	Bergama Ortaoğlu Balneolitik Ku	58	7.55	1443	344	3.7	29.20	10.52	0.608	0.035	0.042	0.0215	0.0102	327	0.085	0.018	379.8	400.2	0.023	0.071	86.75	0.511	< 0.05	3.2	26.4	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
22	Bergama Güzelik İlticası suğ K	29	8.22	1592	399	8.6	1.40	4.967	0.14	0.01	0.023	0.0109	0.0037	201	0.103	0.009	237.4	622.2	0.014	0.227	86.2	0.787	< 0.05	2.0	38.9	Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄
23	Bergama-İzmir Shell Kuyu	27	7.83	804	135	4	1.82	41.38	0.6	0.015	0.088	0.0317	0.0022	75	0.079	0.01	9	336.7	0.013	0.031	63.27	0.152	0.00007	14.1	4.9	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
24	GI-1 (Güzellik İlticası-1) kuyu	36	7.53	1574	392	3.6	9.14	10.52	0.609	0.973	0.025	0.0099	0.0081	35	0.085	-	386	503	0.223	0.0871	92.54	0.549	< 0.05	3.4	29.2	Na-HCO ₃ -SO ₄
25	Paşa İlticası Havuz İçi	46	6.52	2320	598	16.7	1.90	45.38	1.001	0.069	0.112	0.0063	0.0052	105	0.116	0.025	295	1523	0.01	0.965	44.16	4.703	< 0.05	15.7	20.8	Na-HCO ₃
26	Paşa İlticası Ana Kaynak	46	6.56	2270	570	20.2	10.60	41.78	0.931	0.073	0.11	0.0036	0.0052	105	0.108	0.019	194.6	1506	0.008	0.692	42.04	4.212	< 0.05	14.6	20.5	Na-HCO ₃
27	Mahmutiye Soğuk Kaynak	19	7.36	428	14.8	1.4	10.13	61.13	0.393	< 10	0.123	0.0128	0.001	12	0.036	0.005	32.9	222	0.017	0.003	77.64	0.056	0.00006	17.5	0.5	Ca-HCO ₃
28	Mahmutiye Sıcak Kaynak	31	8.88	350	84.9	0.6	5.50	6.551	0.043	0.022	0.01	0.005	0.0013	9	0.045	0.004	55.1	192.8	0.028	0.022	39.56	0.05	< 0.05	2.1	8.1	Na-HCO ₃ -SO ₄
29	Bergama DB-2 (300 m-belediye	25	8.12	1400	374.2	3.9	1.14	13.66	0.758	0.135	0.037	0.0046	0.0048	30	0.099	-	471	405	0.015	0.0775	99.26	0.461	0.00006	4.2	25.2	Na-SO ₄ -HCO ₃

Çizelge 3. İnceleme alanındaki termal suların ölçülmüş sıcaklıklarında hesaplanmış mineral doygunlukları (örnek numaraları Çizelge 1 ile aynıdır).

No	K	Ş	V	V	V	V	B	K	Ş	K	D	H	K	V
1	43	2.65	-1.27	-0.28	-0.17	0.46	-0.04	-0.81	0.81	0.48	-0.51	-1.15	1.18	0.02
4	73	-0.12	-1.23	-1.66	-0.36	-0.12	-0.25	-1.06	0.34	-0.98	-0.41	-1.34	0.65	-0.37
6	52	-0.22	-0.93	-1.92	0.12	0.04	0.25	-0.55	0.38	-0.45	-0.38	-0.88	0.73	-0.37
7	57	-0.1	-1.4	-1.83	-0.28	-0.13	-0.16	-0.96	0.45	-0.49	0.15	-1.40	0.79	-0.29
8	59	-0.55	-1.49	-2.63	-0.26	-0.18	-0.14	-1.08	0.43	-0.51	-0.04	-1.5	0.77	-0.3
9	34	0.73	-1.22	-1.2	-0.07	-0.06	0.07	-0.81	0.58	0.06	1.24	-1.05	0.98	-0.23
10	67	-0.72	-1.11	-2.64	-0.31	-0.06	-0.19	-0.75	0.35	-1.04	0.49	-1.2	0.66	-0.37
11	87	-0.53	-1.02	-2.05	0.37	0.08	0.47	-0.74	0.37	-0.23	0.17	-1.32	0.64	-0.29
12	76	1.86	-1.29	1.78	0.04	1.01	0.19	-1	0.43	-0.03	3.49	-1.55	0.77	-0.22
13	84	-0.17	-1.13	-1.6	0.83	-0.27	0.94	-0.85	0.39	0.82	-0.09	-1.4	0.66	-0.29
14	79	1.22	-1.32	-0.45	-0.33	0.04	-0.22	-0.85	0.73	-1.74	-0.93	-1.53	1.02	0.05
15	68	0.58	-1.16	-0.45	-0.71	-0.02	-0.59	-1.03	0.41	-1.83	-0.51	-1.25	0.73	-0.3
16	93	-1.34	-0.86	-2.59	-0.27	-0.1	-0.17	-0.8	0.19	-1.38	-0.83	-1.24	0.45	-0.46
17	93	-1.42	-0.91	2.75	-0.22	-0.16	-0.11	-0.9	0.21	-1.27	0.43	-1.29	0.47	-0.44
21	58	-0.8	-2.03	-3.31	-0.22	-0.07	-0.1	-1.5	0.25	-0.62	-0.42	-2.03	0.59	-0.49
22	29	0.67	-2.76	-3.3	-0.03	-0.15	0.11	-2.38	0.54	0.19	0.59	-2.56	0.95	-0.29
23	27	-0.05	-3.08	-2.45	0.36	-0.71	0.51	-2.99	0.43	0.73	0.9	-2.87	0.86	-0.4
24	36	1.56	-2.2	-0.69	-0.4	-0.06	-0.26	-1.54	0.5	-0.84	2.16	-2.03	0.9	-0.3
25	46	-1.21	-1.74	-3.84	-0.23	0.25	-0.1	-1.59	0.08	-0.35	-0.56	-1.64	0.45	-0.69
26	46	-1.38	-1.92	-4.07	-0.21	0.11	-0.08	-1.77	0.06	-0.27	-0.42	-1.83	0.43	-0.71
28	31	-0.92	-3.02	-3.22	0.41	-0.88	0.55	-3.25	0.13	0.77	0.61	-2.82	0.54	-0.69
29	25	1.12	-2.07	-2.57	0.04	0.32	0.18	-1.38	0.65	-0.16	1.97	-1.85	1.08	-0.19

Çizelge 2. İnceleme alanındaki termal suların çeşitli kimyasal jeotermometrelerle hesaplanmış akifer sıcaklıkları (örnek numaraları Çizelge 1 ile aynıdır).

No	T (°C)	SiO2 Cr-d (g)	SiO2 Chale (g)	SiO2 Oz-B.K. (g)	K/Mg (g)	Na/Li (g)	Na/Li Cl-0.3 (g)	Na/K (g)	Na/K (f)	Na/K (h)	Na-K-Ca (g)	Na-K-Ca-Mg (g)
1	43	114	141	164	40	159	64	139	146	183	196	-
4	73	89	113	140	26	170	72	140	147	184	176	99
5	69	88	112	138	26	173	75	140	147	183	171	114
6	52	73	96	124	32	126	37	97	106	149	133	-
7	57	88	112	138	45	145	52	83	93	138	128	66
8	59	88	112	139	43	146	53	80	90	135	127	73
9	34	74	97	125	58	140	48	86	96	140	121	48
10	67	86	110	137	29	166	69	117	125	165	153	121
11	87	113	140	164	14	173	75	147	153	189	177	163
12	76	120	147	170	22	172	74	147	153	189	181	113
13	84	115	142	165	14	175	76	147	154	190	179	162
14	79	163	195	211	7	173	75	148	154	190	181	178
15	68	96	121	147	24	176	77	149	155	191	174	132
16	93	94	118	144	20	174	75	145	151	187	174	145
17	93	97	122	148	20	167	70	152	158	193	176	147
21	58	65	87	116	33	113	26	18	30	79	94	-
22	29	65	87	115	27	78	-2	55	66	113	131	70
23	27	50	70	101	50	117	30	76	86	131	115	68
24	36	68	90	119	36	106	21	11	23	73	93	87
25	46	35	53	85	37	129	39	72	82	128	133	70
26	46	33	51	82	35	127	38	88	98	142	143	70
28	31	30	49	80	48	38	-33	-1	11	62	35	-
29	25	72	94	123	35	116	29	17	28	78	91	-

a: Fournier 1977a; b: Guggenbach vd., 1983; c: Kharaka ve Mariner, 1989; d: Fouillac ve Michard, 1981; e: Fournier ve Truesdell 1973; f: Truesdell, 1976; g: Fournier ve Potter 1979; h: Amorsson vd., 1983; Bosluklar veri olmadığın, o jeotermometrenin uygulanamaz olduğunu veya jeotermometre sonucunun kaynak sıcaklığından daha düşük olduğunu gösterir.

- Fournier, R.O., Potter, R.W., 1979. Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 1543-1550 .
- Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973. An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 1255-1275.
- Gatt, J.R., Carmi, I., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res.* 75, 3032-3048.
- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H., 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 5, 51-62.
- IAH, Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000. International Association of Hydrogeologists, (1979) United Kingdom.
- Jeckelmann, C., 1996. Genese lokaler thermal wasser vorkommen in der region, Bergama/W-Türkei, (Doktora Tezi, Almanca, İngilizce özetli) Doktor der Naturwissenschaften der Eridgenössischen Technischen Hochschule, Zurich.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. In: N.D. Näser & T.H. McCulloh (Eds.), *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories* , pp. 99-117. Springer Verlag.
- MTA-JICA, 1987. Pre-Feasibility study on the Dikili Bergama geothermal development project in The Republic of Turkey, Ankara, MTA., Progress Report II, Final Report.
- Özen, T., Tarcan, G., 2005. Dikili (İzmir) İlçaları çevresinin hidrojeolojik su kimyası açısından incelenmesi. *Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu-İZMİR*, pp:169-183.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999. User's guide to PHREEQC (version 2) A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report. 99-4259, pp:312.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., 2004. İzmir jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi ve kabuklaşma özelliklerinin değerlendirilmesi. *DEÜ Bilimsel Araştırmalar Projesi*, No: 02.KB. FEN.072, Mart-2004 İzmir, pp: 72 sayfa, 362 sayfa EK.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., 2004, İzmir İli sıcak ve mineralli kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. *TÜBİTAK Projesi*, No: YDABAG-102Y039. 114 sayfa, 105 sayfa EK.
- Truesdell, A.H., 1976. Summary of section III geochemical techniques in exploration. *Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*. San Francisco, 1975, Vol.1, Washington D.C., U. S. Government Printing Office, pp: iii-ix.

AFYONKARAHİSAR BÖLGESİNDEKİ BAZI JEOTERMAL KAYNAKLARIN RADON KONSANTRASYONLARI

RADON CONCENTRATIONS OF SOME GEOTHERMAL SOURCES IN AFYONKARAHİSAR REGION

YALIM, H. A¹., ORUNCAK, B²., ÜNAL, R³., SARPÜN, İ. H⁴., ve AKKURT, A⁵.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Afyonkarahisar
hayalim@aku.edu.tr

ÖZET

Doğal sıcaklıkları 20 °C'nin üzerinde olan sular termal, sıcaklıkları 20 °C'nin üzerinde olup litrede 1 gramdan daha fazla çözünmüş mineral içeren sular termomineral su olarak isimlendirilmektedir. Türkiye'deki, doğal çıkışlı ve bol olarak nitelendirilen termal sular, eriyik maden değeri açısından yüksek, kükürt, radon ve tuz bakımından zengin olarak bilinmektedir. Türkiye'deki bu jeotermal kaynaklar başlıca Kuzey Anadolu Fay hattında, Batı Anadolu grabenler sistemi üzerinde, Orta ve Doğu Anadolu'daki volkanik bölgelerde ve yoğun tektonik zonalarda yer almaktadır.

Afyonkarahisar bölgesi de jeotermal kaynaklar açısından zengin bir bölge olup, yöremiz jeotermal kaynaklarından faydalanan insan sayısı giderek artmaktadır. Bu sebeple bölgedeki jeotermal kaynakların radon konsantrasyonlarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla bölgede yer alan bazı jeotermal kaynaklardan alınan su numunelerinin radon konsantrasyonları ve yıllık ortalama doz eşdeğerleri belirlenmiş ve uluslararası standartlarla kıyaslanmıştır.

Anahtar kelimeler: Termal su, Radon, Yıllık ortalama doz

ABSTRACT

Water has the temperature of over 20 °C is called as thermal water and has the temperature of over 20 °C and contains more than 1 gram dissolved mineral per liter is called as thermo mineral water. Thermal waters in Turkey are known that they are rich of dissolved material, radon, sulfur and salt. These geothermal sources lie on North Anatolian Fault zone, West Anatolian graben systems, Middle and East Anatolian volcanic zone, and tectonic zones.

Afyonkarahisar is a geothermal rich region and it has an increasing interest in spa tourism. Therefore, it is important to determine radon concentrations of geothermal sources in the region. In this respect, we determined radon concentrations and annual average effective doses of some sources and compared our results with the international standards.

Key Words: Thermal water, Radon, Annual average dose

1.GİRİŞ

Doğal radyoaktif serilerden birisi olan uranyum (^{238}U) serisi ürünlerinden olan radyum (^{226}Ra) izotopunun alfa bozunması yapması sonucu oluşan radon (^{222}Rn), renksiz, tatsız, kokusuz bir radyoaktif asal gaz olup 3,82 günlük yarı ömre sahiptir. Radon izotopları olarak bilinen toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn) çok kısa yarı ömürlü olduklarından (sırasıyla 55 s ve 3,9 s) hızla bozunurlar ve doğal ortamda radona oranla ihmal edilecek kadar az bulunurlar.

İnsanların günlük hayatta maruz kaldıkları doğal radyasyon dozu yıllık ortalama yaklaşık 2,4 mSv'dir ve bunun yaklaşık %50'si radondan kaynaklanmaktadır. Bazı ülkelerde bu değer 1,86 mSv değerine kadar çıkabilmekte ve böylece %50'den çok daha fazla olabilmektedir (UNSCEAR, 2000).

Radyasyonun halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi ve özellikle akciğer kanserine sebep olduğu anlaşılmıştı (UNSCEAR, 1993) dolayısıyla doğal radyoaktiviteyi belirlemeye yönelik çalışmalara hız verilmiştir. Ancak radonun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisinin boyutu tam olarak tanımlanamamış ve daha çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. İnsan sağlığı üzerindeki bu etkinin önemli bir kısmını da doğal su kaynaklarının radyoaktivitesi teşkil etmektedir.

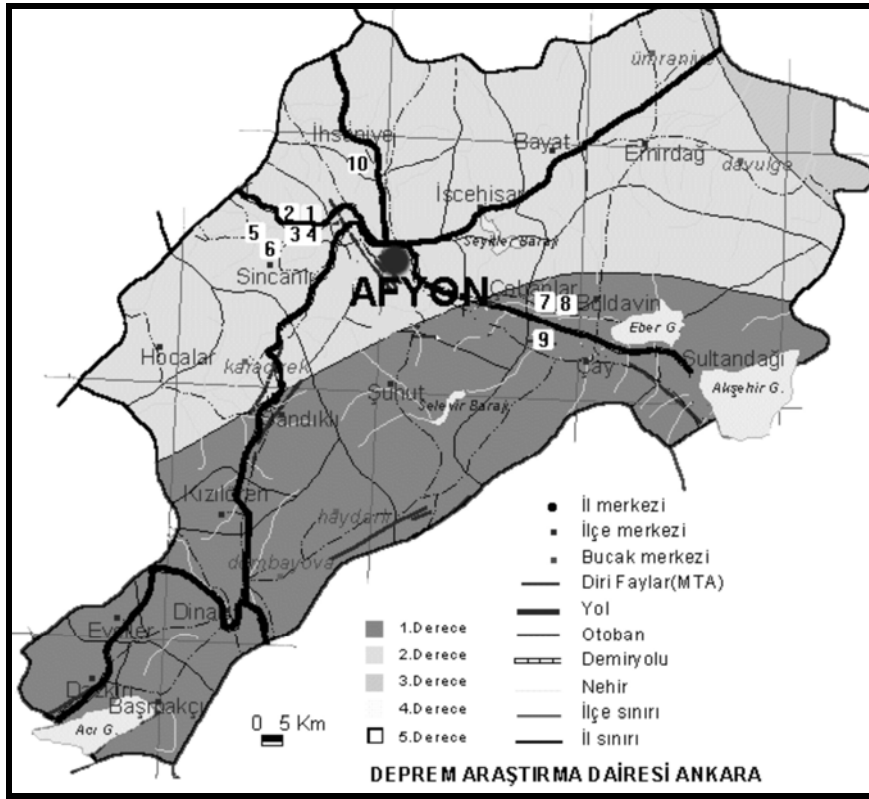
Uranyum yataklarından geçerek yerin derinliklerinden gelen suların radon konsantrasyonları yüksek olmaktadır. Fay hatları, jeotermal kaynaklar, uranyum yatakları ve volkanlar üzerinde özellikle deprem sırasında yüksek radon seviyesi gözlenmektedir. Suda çözünen radon kolaylıkla bir yerden başka yere taşınabilmekte ve böylece radon gazı yer altı suları ile ve kayalarındaki çatlaklardan sızarak atmosfere karışmaktadır. Radonun suda çözünürlüğü suyun sıcaklığı ve pH değeri gibi niceliklerle farklılık gösterdiğinden, termal sulardaki radon konsantrasyonunun daha fazla olması beklenmektedir (Cothorn and Smith, 1987; Cothorn and Rebers, 1990; Farzad et al., 1994; Erees et al., 1995; Facchini et al., 1995).

Bilindiği gibi Afyonkarahisar Akşehir fay hattı üzerinde yer almakta ve jeotermal kaynak bakımından oldukça zengin bulunmaktadır. Yukarıda ortaya konulan tespitler ve Afyonkarahisar ilinin konum ve jeolojik yapısı bu bölgede de kaynak sularının radon konsantrasyon düzeylerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada Afyonkarahisar ilinde bulunan on farklı jeotermal kaynağın Ocak-Mart 2005 aralığındaki radon konsantrasyonları belirlenmiştir. İnceleme döneminde, radon konsantrasyonlarının maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 13,4 ve 0,085 Bq/L olarak elde edilmiştir. Adı geçen dönemdeki kaynakların ortalama radon konsantrasyonlarının maksimum ve minimumları ise sırasıyla 4,261 ve 0,823 Bq/L olarak bulunmuştur. Ayrıca kaynakların sahip olduğu konsantrasyonların yıllık ortalama doz eşdeğerleri 5 ile 25,6 $\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$ arasında değişmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Numune Alımı

Numuneler Ocak-Mart 2005 döneminde 10 ayrı kaynaktan haftalık periyotlarla alınmıştır. Numune alınan kaynakların lokalizasyonları Şekil 1'de gösterilmiştir. Numuneler 500 ml cam şişelere şişeler tam olarak dolacak şekilde alınmış ve olası radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin ağızları sıkıca kapatılmıştır. Alınan numunelerin sayımları Afyon Kocatepe Üniversitesi, fen edebiyat fakültesi, fizik bölümü araştırma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İncelenen Kaynakların Lokalizasyonları

2.1.2. Radon Konsantrasyonu Tayini

Radon konsantrasyonlarını belirlemek için numune analizleri PYLON Electronics tarafından imal edilen WG-1001 su-gaz ayırıştırma ünitesi ve AB-5R radon detektör sistemi kullanılarak yapılmıştır. Sistemin kullanımı ile ilgili detaylı bilgi üretici firma tarafından verilmiştir (PYLON, 1991). Radon konsantrasyonları denklem 1 yardımıyla belirlenmiştir.

$$K_{Rn} = \frac{(C - B) \times 0,037}{F \times 6,66 \times D \times S \times V} \quad (1)$$

K_{Rn} ; Rn-222 konsantrasyonu (Bq/L), C ; brüt sayım (sayım/dak), B ; arka plan sayımı (sayım/dak), F ; hücre sayım verimliliği (0,745), D ; gaz ayrıştırma verimliliği (300 A için 0,9), S ; numune alış zamanından (T s) sayım zamanına (T c) kadar geçen süre için radon bozunma düzeltmesi ve V ; numune hacmidir (0,190 l).

3.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Afyonkarahisar ilinde bulunan bazı termal su kaynaklarından Ocak-Mart 2005 döneminde alınan su örneklerinden elde edilen ortalama radon konsantrasyonları ve yıllık ortalama etkin dozları (Çizelge 1.de verilmiştir). Adı geçen dönemde, kaynakların ortalama radon konsantrasyonlarının maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 4,261-0,823 Bq/L olarak bulunmuştur. Yine inceleme döneminde, bazı kaynaklarda örnekleme zamanına ait radon konsantrasyonlarının maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 13,4- 0,085 Bq/L olarak elde edilmiştir. Ancak elde edilen bu değerler süreklilik göstermemiştir.

Çizelge1. Kaynakların ortalama radon konsantrasyonları ve yıllık ortalama etkin dozları

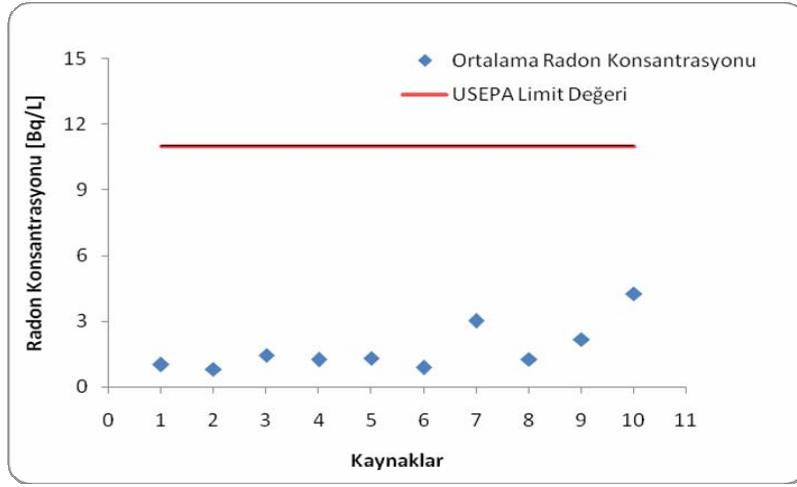
Kaynak	Radon Konsantrasyonu [Bq/L]	Yıllık Ortalama Etkin Doz [$\mu\text{Sv.y}^{-1}$]
1	1,014	6,1
2	0,823	5
3	1,455	8,73
4	1,263	7,58
5	1,317	7,9
6	0,879	5,28
7	3,02	18,12
8	1,271	7,63
9	2,19	13,14
10	4,261	25,6

Elde edilen ortalama radon konsantrasyonları, uluslararası otoriteler tarafından belirlenmiş olan limit değerlerle karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalar sırasıyla radon için Şekil 2’de verilmiştir.

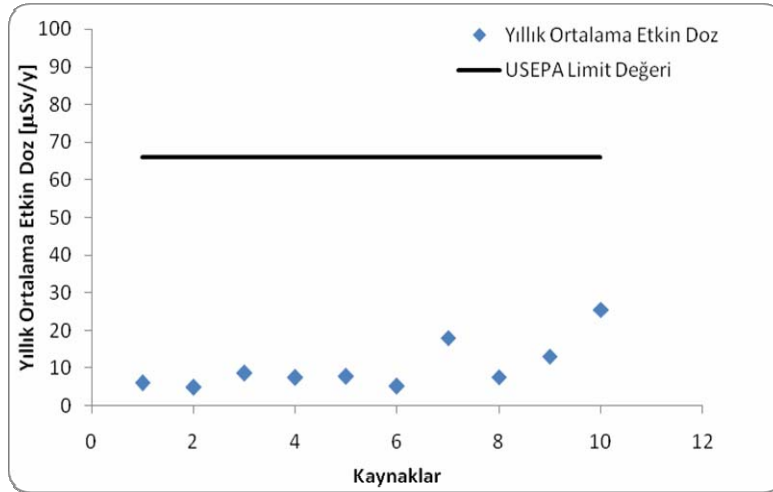
Şekil 2’de görüldüğü gibi incelenen kaynakların çalışma döneminde elde edilen ortalama radon konsantrasyonları USEPA (United States Environmental Protection Agency) tarafından sular için belirlenen izin verilen maksimum kontaminasyon düzeyi olan 11 Bq/L (USEPA, 1991) değerinin altındadır. Diğer yandan Avrupa Atom Enerjisi

Kurumu tarafından belirlenmiş olan 100 Bq/L (EURATOM, 2001) değerinin çok altında elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen radon konsantrasyonun karşılık geldiği yıllık ortalama etkin doz $6\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}\cdot(\text{Bq/L})$ katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır (ICRP, 1996). Kaynaklar için hesaplanan yıllık ortalama etkin doz 5 ile $25,6\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$ arasında değişmekte olup kaynakların tamamında USEPA tarafından belirlenen limit değerin altında doz değerleri elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Ortalama radon konsantrasyonlarının USEPA limit değeri ile kıyaslanması



Şekil 3. Yıllık ortalama etkin doz ve USEPA limit değeri ile kıyaslanması

TEŞEKKÜR

Çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca 041.FENED.06 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

4. KAYNAKLAR

- Cothorn, C.R., Rebers, P.A., 1990. Radon, Radium and Uranium in Drinking Water. Lewis Publishers Inc., New York.
- Cothorn, C.R., Smith, J.S., 1987. Environmental Radon. Environmental Science Research, vol. 35. Plenum Press, New York.
- Erees, F.S., Küçüktaş, E., Ölmez, S., Yener, G., 1995. Natural radioactivity measurements around a coal-fired thermal power plant in Turkey. In: C. Dubois (Ed.), Gas Geochemistry, vol. 16 (suppl.), 1994. Environ. Geochem. Health, Science Reviews, Northwood, pp. 427–431.
- Euratom 2001/928/Euratom
http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/01928_en.pdf
- Facchini, U., Garavaglia, M., Magnoni, S., Rinaldi, F., Cassinis, R., Delcourt-Honorez, M., Ducarme, B., 1995. Radon levels in a deep geothermal well in the Po plain. In: C. Dubois (Ed.), Gas Geochemistry, vol. 16 (suppl.), 1994. Environ. Geochem. Health, Science Reviews, Northwood, pp. 257–279.
- Farzad, S., Erees, F.S., Yener, G., 1994. Outdoor radon measurements. Proceeding of the Second International Conference on Chemistry in Industry, 24–26 October, Manama, Bahrain, vol. 1, pp. 710–717.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection): Agedependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 5: compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Oxford, UK, ICRP Publication 72, Pergamon Press, 1996.
- PYLON Electronic Development Company Ltd. (1991) Vacuum Water-Degassing system Manual A900037 Rev.2 147 Colonnade Road Ottawa Canada K2 E7 C9
- UNSCEAR, 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York.
- USEPA (1991) 1991, “National Primary Drinking Water Regulations for Radionuclides”, Washington DC, US: Government printing Office, EPA/570/9-91/700.

**AFYONKARAHİSAR JEOTERMAL ISITMA SİSTEMİNDE
OLUŞAN KOROZYON VE KABUKLAŞMANIN
İNİHİTÖR KULLANILARAK ÖNLENMESİ**

*FORMATION OF DEPOSIT AND CORROSION IN
AFYONKARAHİSAR'S GEOTHERMAL HEATING SYSTEM PREVENT
BY USING INHIBITOR*

BUYUKSAGIS, A.,^{1,*}, EROL, S.²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edb. Fak. Kimya Böl. A.N.S. Kampüsü Afyonkarahisar
absagis@aku.edu.tr

² Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edb. Fak. Kimya Böl. A.N.S. Kampüsü Afyonkarahisar
kimyacinem@hotmail.com

ÖZET

Akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan kabuklaşma ve korozyon, jeotermal sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan önemli sorunlardan biridir. Bu çalışmada jeotermal ısıtma sisteminde oluşan korozyonu ve kabuklaşmayı önlemek için korozyon inhibitörü olarak pentasodyum trifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), maleik anhidrit ($\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$) 1,3-benzendisulfonik asit di sodyum tuzu ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$) bileşikleri çalışılmıştır. Çalışma sıcaklıkları jeotermal akışkanın sıcaklıkları olan 60, 25 ve 85 °C seçilmiştir. İnhibitör derişimleri 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} ve 10^{-4} M olarak seçilmiştir. Deneysel sonuçlara göre inhibitör derişimi azaldıkça % inhibisyon miktarı artmaktadır. Bu da sistemde korozyonun azaldığını göstermektedir. İnhibitör eklendikçe korozyon potansiyelleri daha pozitif değerlere kayması inhibitörlerin anodik inhibitör olarak etkiğini göstermektedir. Jeotermal suya inhibitör eklenmeden ve eklendikten sonra pH, gerilim, iletkenlik, toplam sertlik ve CaCO_3 miktarı, çözünmüş katı madde (TDS), tuzluluk (salt) analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre pH değerinin 7 den yüksek olması korozyon yapıcı agresif iyonların azaldığını, gerilim değerleri inhibitör derişimi arttıkça daha pozitif potansiyellere kayması inhibitörlerin anodik inhibitör olarak etkiğini, iletkenlik değerleri de inhibitör derişimi azaldıkça azalması korozyonun yavaşladığını göstermektedir. Toplam sertlik değerleri 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} M pentasodyum trifosfat 10^{-2} ve 10^{-3} M 1,3-benzendisulfonik asit di sodyum tuzu ve 10^{-3} M maleik anhidrit derişimlerinde jeotermal suya göre azalarak kabuk oluşumu da azalmıştır. Yapılan XRD analizleri jeotermal ısıtma boru hattında CaCO_3 kabuklaşması olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal akışkan, kabuklaşma, korozyon, XRD, inhibitör

ABSTRACT

The formation of deposit and corrosion, which was formed depending on the chemical composition of the geothermal water, is one of the most serious problems at the geothermal systems. In this study, maleic anhidrit ($C_4H_2O_3$) 1,3-benzendisulfonic acid di sodium salt ($C_6H_4Na_2O_6S_2$) were carried out as corrosion inhibitor pentasodium triphosphat ($Na_5P_3O_{10}$) in order to prevent corrosion and scale of Afyonkarahisar's Geothermal Heating System. 60 °C, 25 °C and 85 °C, which were the temperatures of geothermal fluid, were choised as studying temperatures. The inhibitor concentrations were choised as 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} and 10^{-4} M. According to experimental results as inhibitor concentration decreases, % inhibition increases. This show that corrosion decreases in system. The fact that corrosion potential shifts to more positive potential as a result of addition of inhibitor shows that these inhibitors effected as anodic inhibitor. The level of pH, potential, conductivity, total hardness and $CaCO_3$, dissolved solid substance (TDS) and salt were analyzed before the adding inhibitor into geothermal fluid and after the addition of inhibitor into it. According to these analyses, increasing pH level more than 7 indicates that constructive aggressive ions (H^+) decrease. And also it shows that as the shifting of potential values to more positive potentials as a result of inhibitor concretion, inhibitors effected as anodic inhibitor. Furthermore the decreasing of conductivity values as a result of the decreasing of inhibitor concretion shows that corrosion slows down. Total hardness values 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} M pentasodium triphosphat 10^{-2} ve 10^{-3} M 1,3-benzendisulfonic acid di sodium salt ve 10^{-3} M maleic anhidrit in concentrations are decreased, formation of scale are decreased compared to geothermal water. The results of XRD analysis shows that there has been the deposit of $CaCO_3$ in geothermal heating system

Key Words : Geothermal fluid, scale, corrosion, XRD, inhibitor

1. GİRİŞ

Metal yüzeylerin korozyonu ve kabuklaşma prosesi jeotermal akışkanın kullanıldığı sistemlerde en önemli problemlerdendir. (Lienau ve Rafferty 1986, Corsi 1986). Korozyon kinetiği ve mekanizması yapı malzemesi kadar çevrenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine de bağlıdır. Jeotermal sistemlerde bütün korozyon türleri oluşur, her birini önceden tahmin etmek zordur. Jeotermal akışkan içinde bulunan kimyasal türler metalin korozyonu belirler. Bunlar; çözülmüş oksijen, hidrojen iyonları, klorür iyonları, H_2S , CO_2 ve NH_3 'tür (Corsi 1986, Ungemach and Turon 1988). Jeotermal sistemlerde korozyon ve kabuklaşmayı kontrol etmek için çok sayıda metot test edilmiştir. Bunlardan en etkin olanları inhibitör kullanımı, pH ve CO_2 kısmi basıncını kontrol ederek CO_3/HCO_3 dengesini korumak ve periyodik temizlemedir (Gautier and Goyeneche 1990, Pieri et all 1989, Parlaktuna and Okandan 1989). İnhibitör kullanımı teknik ve ekonomik olarak önem kazanmıştır (Batis 1997)

Jeotermal sistemlerde oluşan kabuklaşma ve korozyon ile ilgili çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bununla ilgili olarak Söylemezoğlu ve Harper (1982) çalışmalarında, H_2S içeriği yüksek olan jeotermal buhara yüksek basınçta (650 kPa) oksijen enjekte etmişler ve bunun karbon çeliğinin korozyon hızını etkili bir şekilde arttırdığını gözlemişlerdir. Sistemde artan oksijen miktarı jeotermal buhar borusunda daha önce oluşan koruyucu tortu tabakasının yerine, yarı koruyucu korozyon ürünleri olarak bilinen pyrrhotite, marcasite, pyrite and magnetite içeren tortu oluşturmuştur. Oksijen katodik depolarizatör etkisi yapmaktadır. Xyla vd. (1992) çalışmalarında sentetik olarak hazırlanmış 4 bileşiğin sulu ortamda $CaCO_3$ tortu oluşumuna etkisini incelemişler. 1,2-

dihydroxy-1,2-bis(dihydroxyphosphonyl)ethane (DDPE), 2-dihydroxyphosphonyl-2-hydroxypropionic acid (DHPA), 1,3-bis[(1-phenyl-1-dihydroxyphosphonyl)methyl]-2-imidazolidinone (BPDMI), and 2,3-bis(dihydroxyphosphonyl)-1,4-butanedioic acid (BDDBA) bileşikleri 25 °C ve 8,5 pH'da çalışılmış. Süper doymuş şartlar altında P---C---C---P bağı içeren moleküller etkin inhibitör olmuşlardır. Gallup (1993) yaptığı çalışmada sıcaklığı çok yüksek ve çok tuzlu sularda ferrik silikat kabuklaşmasını inhibe etmek için bir proses geliştirmiştir. Kabuk kontrolü için Fe^{+3} 'ün Fe^{+2} 'ye indirgeyecek şekilde yeterli miktarda indirgeyici eklenmiştir. Ferrous (Fe^{3+}) silikat, ferrik (Fe^{2+}) silikattan daha çözünür olduğu için kabuk oluşumu azalmıştır. 0,5 birim asit değişimi ile bu desteklenmiştir. George ve Batis (1997) çalışmalarında Yunanistan'da bulunan Sousaki Bölgesi'ndeki jeotermal akışkan sisteminde kullanılan çeliğin korozyon davranışını ve organik kaplamaların belli birleşimlerinin koruyucu özelliklerini incelemişler. Epoksi reçine içeren kaplamalar su bazlı boyalardan daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır. Gallup (1998) silisyum kabuklaşmasını önlemek için jeotermal akışkana silisyum kompleksleştiriciler eklenmiş. Sonuçlar silika kabuklaşmasının engellendiğini göstermiştir. Mornet ve Neville (2002) yaptıkları çalışmada polikarboksilik asiti (PAA) elektrokimyasal esaslı teknik film oluşum derecesini belirlemek için kullanılmışlardır. Çözelti içinde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının varlığı ve metal yüzeyinin katodik elektrokimyasal aktivitesi; çözültiden metal yüzeyine inhibitörün taşınmasına yardımcı olarak inhibitör film oluşumunu desteklemiştir. Kabuk oluşumunu geciktiren inhibitör film süper doymuş $CaCO_3$ çözeltisi içine daldırılan elektrot üzerinde oluşan tortu kullanılarak belirlenmiştir. Gallup ve Barcelon (2005) çalışmalarında yapay olarak hazırlanan jeotermal su kullanılarak laboratuarda basınçlı reaktörde farklı üreticilerden elde edilen inhibitörler çalışılmıştır. Korozyonu sınırlayan ve güvenli olan asit öncülleri (precursor) güçlü asitlere alternatif olarak değerlendirilmiştir. Richter ve Hilbert (2006) çalışmalarında İceland jeotermal bölge ısıtma sistemlerini incelemişler. İceland jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde genellikle genel korozyon hızları oldukça düşük ($1 \mu m.yıl^{-1}$), pH yüksek (9,5), iletkenlik düşük ve çözünmüş oksijen miktarı ihmal edilebilir düzeydedir. Korozyonu önlemek için elektrokimyasal yöntemlerden lineer polarizasyon yöntemi ve elektrokimyasal empedans(EIS) deneyleri yapılmış. Lineer polarizasyon 0.001 mV/s ile çok düşük tarama hızında deposition oluşumunu göstermemiştir. EIS ölçümleri ise 10^{-5} civarında difüzyon etkileri nedeni ile frekansı tamamlayamamıştır. Elektrokimyasal olmayan diferansiyel elektrik direnci ölçme yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Banas vd. (2007) $H_2O-CO_2-H_2S$ sisteminde demir alaşımlarının korozyon davranışını incelemişler. Sonuçlar ortamda bulunan CO_2 ve H_2S seçilmiş sıcaklık ve yüksek basınç altında $H_2O-CO_2-H_2S$ sisteminde pasif filmin kararlılığını etkilemiştir.

Bu çalışmanın amacı ısıtma kaynağı olarak jeotermal akışkanın kullanıldığı Afyonkarahisar şehir içi ısıtma şebekesindeki korozyon ve kabuklaşma olaylarının nedenlerini; su analizleri ve XRD yöntemi ve elektrokimyasal yöntem kullanılarak belirlemektir. Ayrıca ticari olarak kullanılan P3 Ferrofos 8402 inhibitörüne alternatif inhibitörlerle çalışmalar yapmaktır. Jeotermal suda P3 Ferrofos 8402 ticari inhibitör kullanılmaktadır. İnhibitör jeotermal toplama havuzuna ton başına 10 ml olacak şekilde dozajlanmaktadır ve 48 saat etkinliğini sürdürmektedir. Bu çalışmada jeotermal ısıtma sisteminde oluşan korozyonu ve kabuklaşmayı önlemek için korozyon inhibitörü olarak pentasodyum trifosfat ($Na_5P_3O_{10}$), maleik anhidrit ($C_4H_2O_3$) 1,3-benzendisulfonyl asitdi sodyum tuzu ($C_6H_4Na_2O_6S_2$) bileşikleri çalışılmıştır. Çalışma sıcaklıkları jeotermal

akışkanın sıcaklıkları olan 25, 60 ve 85 °C seçilmiştir. İnhibitör derişimleri 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} ve 10^{-4} M olarak seçilmiştir. En iyi inhibisyon gösteren inhibitör derişimlerinde AF11+ 10^{-3} M $C_4H_2O_3$ + 10^{-2} $C_6H_4Na_2O_6S_2$ + 10^{-3} $Na_5P_3O_{10}$, AF11+ 10^{-2} $C_6H_4Na_2O_6S_2$ + 10^{-3} $Na_5P_3O_{10}$ ve 10^{-4} M olacak şekilde ve ticari inhibitörle çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. XRD Analizleri

Jeotermal suyun çıkış noktasında korozyona uğramış borunun iç kısmında oluşan kabuk örneği alınarak XRD yöntemi ile analiz edilmiştir. Kabuk örnekleri porselen havanda iyice öğütülerek 100 mesh elek altı elde edilmiştir. Daha sonra Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda analiz yapılmıştır.

2.2. Su Analizleri

Korozyon olayı ve kabuklaşmanın incelenmesi için jeotermal kaynak su örneği, AF 11 kuyusundan alınmıştır. Bütün incelemeler bu AF11 kuyu suyunda yapılmıştır. AF11 ve bu jeotermal suya 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} ve 10^{-4} M derişimlerde inhibitörler eklenerek örneklerin pH, gerilim değerleri WTW pH 330i/SET pH metre ile iletkenlik, toplam çözünmeyen katı madde (TDS) değerleri WTW cond 330i/SET kondüktometre ile ölçülmüştür. Toplam sertlik deneyleri TS 266'ya göre yapılmıştır.

2.3. Korozyon Deneyleri

Bu çalışmada çalışma elektrodu olarak jeotermal sistemde kullanılan st37 çeliği kullanılmıştır. Karşılaştırma elektrodu olarak doygun kalomel elektrot (DKE) ve karşıt elektrot olarakda platin tel kullanılmıştır. Deneylerde elde edilen akım-potansiyel eğrilerindeki tüm potansiyeller DKE'ye karşı ölçülmüş ve sonuçlarda bu elektroda göre verilmiştir. Çalışma elektrodunun bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

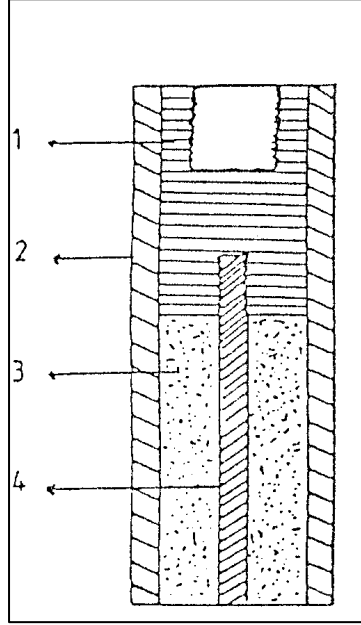
Çizelge 1. St 37 karbon çeliğin kimyasal bileşimi

Malzeme	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo
St 37	0,10	0,40	0,25	0,45	0,45	---	---	---

Çapı 3 mm ve boyu 3 cm olacak şekilde silindir çubuk şeklinde kesilen St 37 çeliği teflon içerisine yerleştirilmiş ve çevresi çelik yapıştırıcı ile doldurularak Şekil 1'de gösterildiği biçimde elektrot haline getirilmiştir.

Bu çalışmada jeotermal ısıtma sisteminde oluşan korozyonu ve kabuklaşmayı önlemek için korozyon inhibitörü olarak pentasodyum trifosfat ($Na_5P_3O_{10}$), maleik anhidrit ($C_4H_2O_3$) 1,3-benzendisulfonik asitdi sodyum tuzu ($C_6H_4Na_2O_6S_2$) bileşikleri çalışılmıştır. Çalışma sıcaklıkları jeotermal akışkanın sıcaklıkları olan 25, 60 ve 85 °C seçilmiştir. İnhibitör derişimleri 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} ve 10^{-4} M olarak seçilmiştir. Ayrıca inhibitörlerin en yüksek inhibisyon gösterdikleri derişimlerden karma inhibitör

çözeltileri hazırlanmıştır. Ticari olarak kullanılan inhibitörde ticari şekilde kullanıldığı gibi AF11'e eklenerek korozyon hızı bulunmuştur. Wenking PGS 2000D model potansiyostat / galvanostat, çalışma bilgisayar destekli programla yürütüldüğü için pentium 4 bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney elektrodu 1.Pirinç, 2. Teflon, 3. Çelik yapıştırıcı, 4. Örnek

Deney eğrilerini elde etmek için özel bir bilgisayar paket programı kullanılmıştır. Ayrıca deney sonuç eğrilerinin ortalaması excel programı kullanılarak bilgisayarda çizdirilmiştir. Potansiyodinamik yöntem kullanılarak söz konusu alaşımların sulu ortamdaki akım yoğunluğu-potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Bu çalışmada belirlenen korozyon karakteristikleri korozyon hızı (i_{cor}), korozyon potansiyeli (E_{cor}), anodik ve katodik Tafel eğimimleri (β_a ve β_c), yüzey kaplanma kesri (θ) ve % inhibisyon değerleridir. Korozyon hızları, akım-potansiyel eğrilerinin anodik ve katodik Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu % inhibisyon ve % kaplanma kesri ise i_{cor} kullanılarak

$$\%inhibisyon = \left[1 - \frac{i_{cor}(\text{inhibitörlü})}{i_{cor}(\text{inhibitörsüz})} \right] \times 100 \quad (1)$$

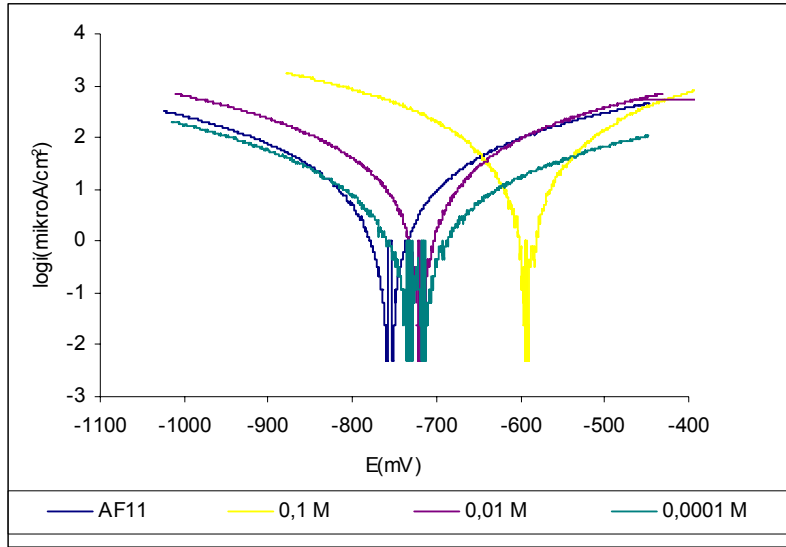
$$\%kaplanmakkesri = \left[1 - \frac{i_{cor}(\text{inhibitörlü})}{i_{cor}(\text{inhibitörsüz})} \right] \quad (2)$$

Eşitliklerinden hesaplanmıştır. Doymun kalomel elektrot ve çalışma elektrotu arasındaki potansiyel düşüşünü önlemek için, DKE bir Lugin-Haber kapileri yardımıyla çalışma elektroduna yaklaştırılmıştır. Çalışma elektrotları deneye başlamadan önce 1200 Grid'lik zımpara kağıdı ile parlatılıp iletkenlik suyu ile yıkandıktan sonra deney çözeltisine daldırılmış ve yaklaşık 30 dakika bekletildikten sonra akım yoğunluğu-potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Oluşan korozyon ürünlerini metal yüzeyinden uzaklaştırarak daha homojen bir ortamda çalışabilmek için ise manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Potansiyodinamik yöntemle akım-potansiyel eğrileri 2 mV/sn'lik tarama hızında elde edilmiştir.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

85 °C'de AF11 ve bu suya + xM inhibitör eklenerek bulunan korozyon karakteristikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

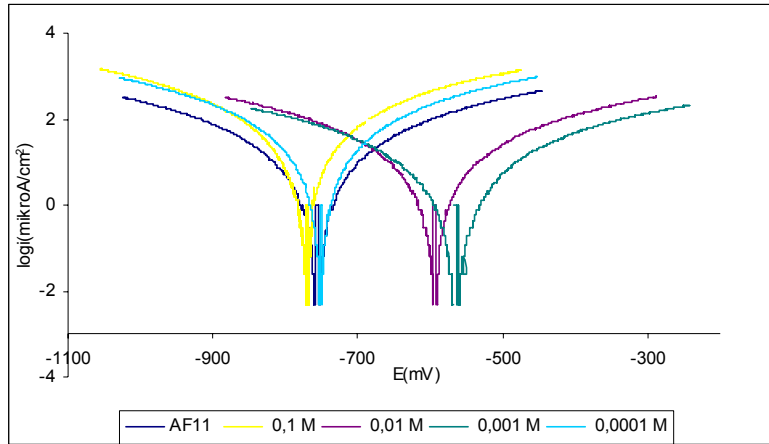
AF11'e inhibitör eklendiğinde maleik inhibitörde 10^{-1} M hariç diğer derişimlerde %68 e%82 inhibisyon olmaktadır. 10^{-3} M maleik anhidrit derişiminde inhibisyon % 82 olmaktadır. Diğer inhibitörler 1,3-benzendisulfonyk asitdi sodyum tuzu ($C_6H_4Na_2O_6S_2$) ve pentasodyum trifosfat ($Na_5P_3O_{10}$) inhibitörlerinde 10^{-2} ve 10^{-3} M derişimlerde inhibisyon sağlanmıştır. 1,3-benzendisulfonyk asitdi sodyum tuzu ($C_6H_4Na_2O_6S_2$) 10^{-2} M derişimde %90 inhibisyon sağlamıştır. Bu 1,3-benzendisulfonyk asitdi sodyum tuzu yapısının halkalı olması ve çifte bağ içermesi ile açıklanabilir. Her bir inhibitör için elde edilen akım potansiyel eğrileri Şekil 2.5'de verilmiştir.



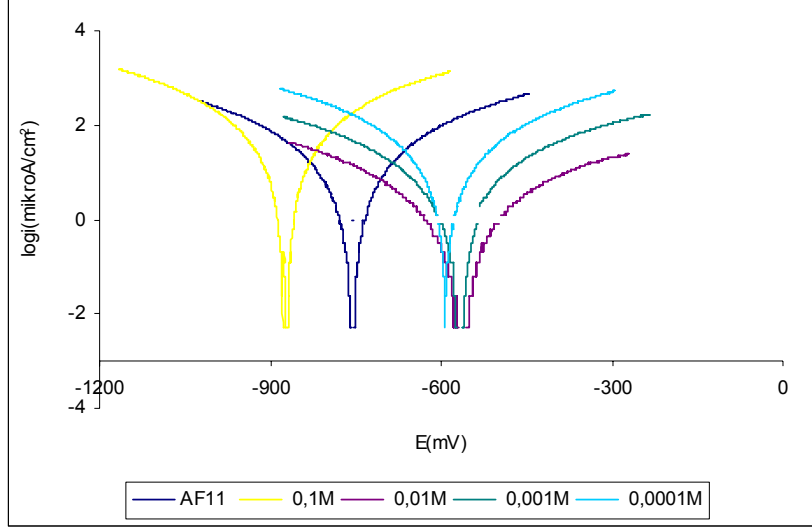
Şekil 2. AF 11 + xM $C_4H_2O_3$ derişimlerinde elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri

Çizelge 2. AF11 ve AF11+ xM inhibitör derişimlerinde 85 °C için ölçülen korozyon karakteristikleri

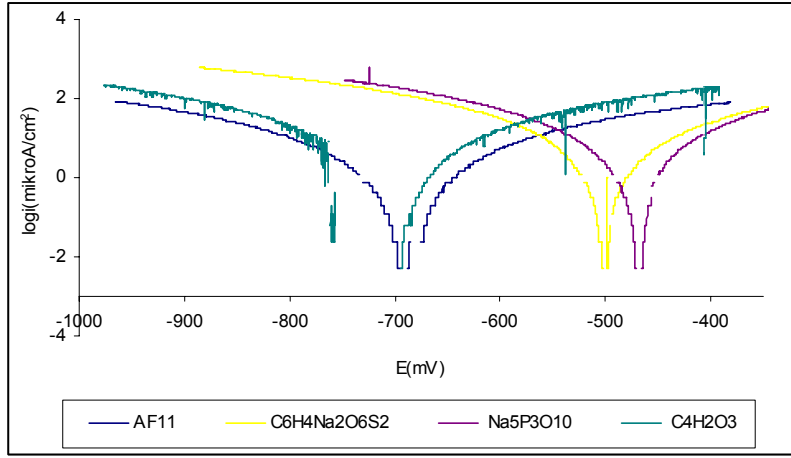
Numune	β_a (mV)	$-\beta_c$ (mV)	$-E_{cor}$ (mV)	i_{cor} μAcm^{-2}	% İnhibisyon η	Kaplanma kesri θ
AF 11	200	222	735	17,78	---	---
+ 10^{-1} M $C_4H_2O_3$	200	200	875	56,23	---	---
+ 1×10^{-2} M $C_4H_2O_3$	200	200	720	5,62	68	0,68
+ 1×10^{-3} M $C_4H_2O_3$	100	100	610	3,16	82	0,82
+ 1×10^{-4} M $C_4H_2O_3$	400	670	725	5,62	68	0,68
+ 10^{-1} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$	166	156	760	56,23	---	---
+ 1×10^{-2} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$	333	154	710	1,78	90	0,90
+ 1×10^{-3} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$	200	180	560	3,16	82	0,82
+ 1×10^{-4} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$	200	200	735	31,6	---	---
+0,1 M $Na_5P_3O_{10}$	200	200	875	56,23	---	---
+0,01 M $Na_5P_3O_{10}$	125	166	620	5,62	68	0,68
+0,001 M $Na_5P_3O_{10}$	100	200	600	5,62	68	0,68
+0,0001 M $Na_5P_3O_{10}$	250	166	590	31,6	---	---



Şekil 3. AF 11 + xM $C_6H_4Na_2O_6S_2$ derişimlerinde elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri



Şekil 4. AF 11 + xM $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ derişimlerinde elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri (85 °C)



Şekil 5. AF 11 + 1×10^{-3} M inhibitör derişimlerinde elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri 60 °C

AF11 ve bu jeotermal suya inhibitör eklendikten sonra oluşan inhibitörlü jeotermal suların pH, gerilim, iletkenlik, TDS, tuzluluk, toplam sertlik değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. AF11 ve AF11+ xM inhibitör derişimlerinde ölçülen pH, gerilim, TDS, Salt, iletkenlik ve toplam sertlik değerleri

Numune	pH	-U (mV)	TDS (ppm)	tuzluluk	İletkenlik mScm ⁻¹	Toplam sertlik FSD (ppm)
AF 11	7,6	58,9	820	0,7	1615	44
+ 0,1 M C ₄ H ₂ O ₃	2,2	268,2	10200	3,5	5860	70
+ 0,01 M C ₄ H ₂ O ₃	2,3	259,3	1020	1,0	2090	90
+ 0,001 M C ₄ H ₂ O ₃	8,7	121,1	756	0,7	1536	40
+ 0,0001 M C ₄ H ₂ O ₃	2,5	253,6	980	0,9	1983	70
+0,1 M C ₆ H ₄ Na ₂ O ₆ S ₂	7,5	53,9	1998	2,3	4300	70
+0,01 M C ₆ H ₄ Na ₂ O ₆ S ₂	8,2	93,6	910	0,9	1848	40
+0,001 M C ₆ H ₄ Na ₂ O ₆ S ₂	8,6	116,8	778	0,7	1572	36
+0,0001 M C ₆ H ₄ Na ₂ O ₆ S ₂	7,3	51,5	767	0,7	1552	70
+0,1 M Na ₅ P ₃ O ₁₀	8,5	113,5	9200	2,3	4100	70
+0,01 M Na ₅ P ₃ O ₁₀	8,1	99,8	920	0,9	1840	35
+0,001 M Na ₅ P ₃ O ₁₀	8,2	94	764	0,7	1543	30
+0,0001 M Na ₅ P ₃ O ₁₀	7,6	56,7	763	0,7	1537	60

Bu inhibitörlerde pH'ın 8'in üzerinde olması (Çizelge 3) inhibisyonda etkili olmuştur. İnhibitör eklendiğinde potansiyeller AF11'in potansiyeline göre daha negatif potansiyellere kaymış. TDS'nin 750 ile 900 ppm arasında olması inhibisyonda etkili. AF11'in toplam sertliği 44 FSD eklenen inhibitörler sertliği 40 ve daha aşağı değerlere düşürdüğünde inhibitörler etkili olmuş. Ecor değerleri AF11'in Ecor değerinden daha pozitif potansiyellere giderken etkili olmuş buda inhibitörlerin anodik inhibitör olarak etkidini göstermektedir. Tuzluluğu 0.7 ve 0,9 olanlarda inhibisyonda etkili. 85 °C'den daha düşük sıcaklıklarda inhibitörler daha az etkili (Çizelge 5-6), inhibisyon azalmaktadır. 10⁻³ M pentasodyum trifosfat ve 10⁻¹ maleik anhidrit hariç inhibitör derişimi arttıkça inhibisyon azalmaktadır. 1,3-benzendisulfonyk asitdi sodyum tuzunda inhibitör derişimi arttıkça inhibisyon artmaktadır. Pentasodyum trifosfat da inhibitör derişimin etkisi olmamaktadır. Jeotermal suların korozyon etkisi, ortamın kimyasal bileşimine çok yakından bağlıdır. Ortamdaki korozyon yapıcı iyonların yanı sıra, içindeki CO₂ 'yi kaybetmesine bağlı pH değışimleri korozyonu etkileyen diğer parametrelerdir (Çakır ,2005). Jeotermal akışkanın kimyasal bileşiminin kontrolü, özellikle pH değeri kabuklaşmayı engellemenin başka bir yoludur. pH değerini kalsit kabuklaşmasının teknik olarak mümkün olmadığı seviyeye indirmek, jeotermal akışkana HCl ilave ederek sağlansa da, pahalı bir işlemdir. Kabuk engelleyicilerinin (inhibitörler) kullanımı kabuklaşma problemleri ile başa çıkmada en yaygın ve yararlı bir metottur. Asıl problem pazara sunulan çok çeşitli kimyasallar arasından en uygun olanını seçmektir.

Söz konusu bir suda en iyi engelleyiciyi seçmek için, o ortamda kullanılması düşünülen metalik malzemelerle korozyon testleri (ağırlık kazanımı, korozyon hızı akım yoğunluğunun ölçümü gibi) yapmak, kullanılacak kimyasalların miktarının tespit

edilmesi için gerekecektir. Çoğu metallerin korozyonu pH düştükçe artar. Kuyu sularında pH önemli özelliktir. Ph <6,5 ve yüksek CO₂ konsantrasyonuna (örneğin 20 mg/l) sahip sularla temasa gelen demir ve çelikte hidrojen çıkışı ile asidik korozyon meydana gelir. pH > 8 olan sularda genel korozyondan çok bölgesel oyulma meydana gelir. Bu durum özellikle sudaki çözülmüş oksijenle artar. Buna benzer sularda kuyu parçaları karbonat çökmesi ile kabuklaşırlar. pH ve redox potansiyeli, demir kararlılık (stability) diyagramı üzerinde gösterilirse, suyun korozyon kapasitesi veya demir yüzeyini koruma gücü ile ilgili bilgiler elde edilebilir. Eğer jeotermal su parametreleri diyagramın ferrous (Fe³⁺) demir bölgesine düşerse suyun demiri çözmesi beklenir. Eğer ferik (Fe²⁺) bölgede olursa oksitlenme ürünleri ile pasifleşme sonucu korozyon önlenecek ve kabuklaşma meydana gelecektir. Akışkanın pH'ı arttıkça kabuk oluşturma reaksiyonu azalır. 8'den düşük pH'larda korozyon hızı arttığı için inhibisyonda azalmaktadır.

Su asidik olduğu için korozyonu arttırmakta, oluşan kabuklar çözünerek metal ile jeotermal akışkanın teması artmakta ve artmaktadır. Asitli sularda korozyon daha etkili olmaktadır. Çünkü metal yüzeyi çıplaktır hidroksit ve oksitlerle kaplanmamıştır. Gerilim değerleri daha katodik bölgede olmasına rağmen Ecor değerleri inhibitör eklendikçe daha pozitif potansiyellere kaymaktadır. Buda inhibitörlerin anodik olarak davrandığını göstermektedir. Anodik inhibitörler belli derişimlerde etkili olmaktadır. O derişimin üstüne çıkıldığında tehlikeli olabilmektedir. Çalışmamızda da inhibitörlerin koruyuculuğu derişimlerle değişmekte pek değişime bağlı gibi görünmemektedir. Ecor değerine en yakın değerler olan 10⁻³ M maleik anhidrit, 10⁻²M ve 10⁻³ M 1,3-benzendisulfonyk asitdi sodyum tuzu ve 10⁻² ve 10⁻³ M pentasodyum trifosfat derişimlerinde inhibisyonda etkili olmaktadır (Çizelge 2). Bu derişimlerde eklenen inhibitörlerin potansiyel değerleri Ecor değerlerine en yakın olan değerlerdir. Tuzluluk 0,7 ve 0,9 değerlerinden daha yüksek olduğu zaman % inhibisyonlar yok hatta negatif değerlerde olmaktadır .

Tuzluluk arttıkça malzeme daha çok korozyona uğramıştır. Jeotermal içinde bulunan tuzlardan (çözülmüş oksijen, H⁺ iyonu Cl⁻ iyonu, H₂S, CO₂, NH₃, SO₄²⁻, HCO₃⁻ ve CO₃²⁻ dolayı iletkenlik de arttığı için korozyonda artmaktadır. İnhibisyon azalmaktadır. TDS'nin artması korozyonu arttırmaktadır. Artan TDS, iletkenlik ve tuzluluğuda arttırmakta buda korozyonu arttırmaktadır. Geçici sertlikler CO₃²⁻ ve HCO₃⁻lardan ileri gelmektedir. Geçici sertlikler oldukça küçük ama kalıcı sertlikler neredeyse toplam sertliğe çok yakın. Kalıcı sertlikler Cl⁻ ve SO₄²⁻ iyonlarının tuzlarından kaynaklanmaktadır. Buda jeotermal akışkanın geçtiği boru içinde SO₄²⁻ ve Cl⁻ tortularının arttığını göstermektedir. Cl⁻ korozyonda özellikle çukur korozyonunda en önemli etkidir. SO₄²⁻ redükleyici bakterilerden geldiği gibi jeotermal akışkan içinde bulunan oksijenle kükürtün reaksiyona girmesiyle de oluşmuş olabilir. Yüzey kaplanma kesri 0,68 ve 0,96 civarında olmaktadır. Adsorplanan maddenin yüzeyi kapatma kesri θ→1 dolayında olabilir. Yani yüzeyin tamamına yakın bir kısmı kapatıldığından yüzeyde olması beklenen reaksiyonların hızı yavaşlar. Sıcaklığın yükselmesi kinetik hareketliliği artırır ve adsorpsiyonu zayıflatır. Yüzey adsorpsiyonu sonucu inhibisyon sağlanıyorsa zayıf adsorpsiyon daha az koruma sağlayacaktır. 60 °C ve 25 °C'de 1x10⁻³ M inhibitör derişimlerinde elde edilen korozyon karakteristikleri Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir.

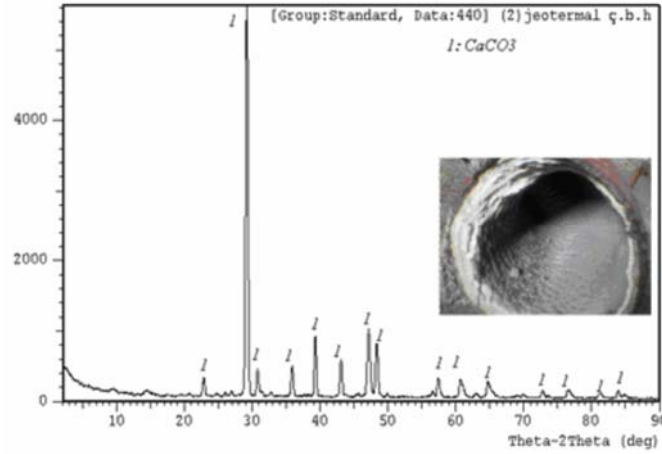
Çizelge 4. AF11 ve AF11+ 1×10^{-3} M inhibitör derişimlerinde 60 °C için ölçülen korozyon karakteristikleri

	β_a (mV)	$-\beta_c$ (mV)	$-E_{cor}$ (mV)	i_{cor} μAcm^{-2}	% İnhibisyon η	Kaplanma kesri θ
AF 11	500	625	720	31,6	---	---
+ 1×10^{-3} M $C_4H_2O_3$	250	250	585	17,78	44	0,44
+ 1×10^{-3} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$	200	250	495	17,78	44	0,44
+ 1×10^{-3} M $Na_5P_3O_{10}$	125	166	-490	7,94	75	0,75

Çizelge 5. AF11 ve AF11+ 1×10^{-3} M inhibitör derişimlerinde 25 °C için ölçülen korozyon karakteristikleri

	β_a (mV)	$-\beta_c$ (mV)	$-E_{cor}$ (mV)	i_{cor} μAcm^{-2}	% İnhibisyon η	Kaplanma kesri θ
AF 11	100	400	585	10	---	---
+ 1×10^{-3} M $C_4H_2O_3$	100	100	600	3,16	68	0,68
+ 1×10^{-3} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$	110	120	620	7,94	21	0,21
+ 1×10^{-3} M $Na_5P_3O_{10}$	100	200	600	5,62	44	0,44

Jeotermal su çıkış noktasında borunun iç kısmında oluşan kabuk örneğininin XRD analizi (Şekil 6) incelendiğinde jeotermal suyun çıkış noktasındaki borunun içinin tamamen $CaCO_3$ kabuğundan oluştuğu görülmektedir.

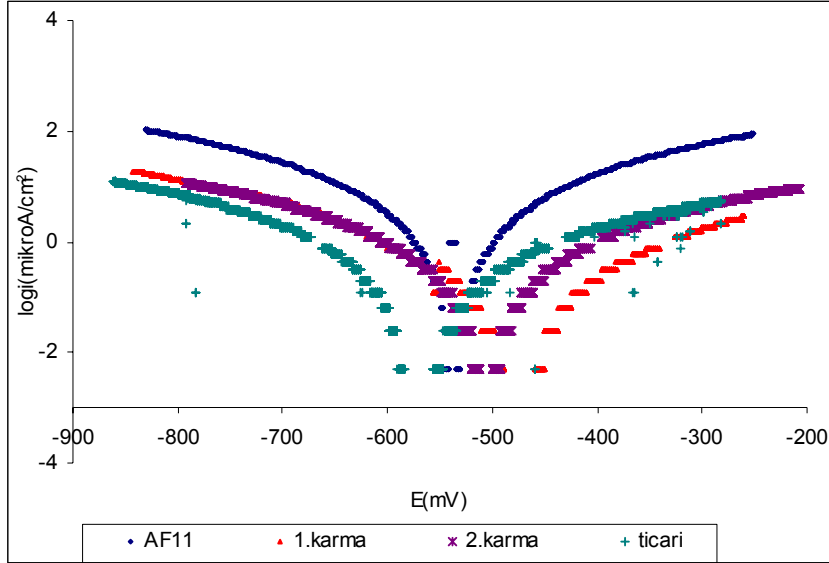


Şekil 6. Jeotermal su çıkış noktasında borunun iç kısmında oluşan kabuk örneğininin XRD analizi (Büyüksağış, 2007)

25 °C'de AF11 ve buna farklı derişimler de inhibitör karışımları eklenerek yapılan korozyon deneylerinin verileri Çizelge 6'da verilmiştir. Ayrıca derişimi 10^{-4} M olacak şekilde P3 Ferrofos 8402 ticari inhibitörünün de korozyon karakteristikleri bulunmuş ve Çizelge 6'da verilmiştir. Ayrıca akım potansiyel eğriler de Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. AF11 ve AF11 + karma inhibitör derişimlerinde korozyon karakteristikleri

	β_a (mV)	$-\beta_c$ (mV)	$-E_{cor}$ (mV)	i_{cor} μAcm^{-2}	% İnhibisyon η	Kaplanma kesri θ
AF 11	100	400	585	10		---
+ 0,001 M $C_4H_2O_3$ +0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$	222	200	535	0.4	96	0.96
+ 0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$	277	250	540	1.0	90	0.90
+ 10^{-4} M Ticari inhibitör	250	200	490	1.0	90	0.90



Şekil 7. AF11 ve AF11 + karma inhibitör derişimlerinde elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri 60 °C (1. karma: AF11 ++ 0,001 M $C_4H_2O_3$ +0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M Na_5P_3 , 2.karma: AF11+ 0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$, ticari: P3 ferrofos 8402)

Çizelge 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi AF11 ++ 0,001 M $C_4H_2O_3$ +0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$ karma inhibitör karışım çözeltilerinde sırasıyla % 96 inhibisyon sağlanmıştır. AF11+ 0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$ karma

inhibitör karışım çözeltilerinde % 90 inhibisyon sağlanmıştır. Ticari inhibitörde ise % 90 inhibisyon sağlanmıştır. İnhibitör karışımları korozyonu önlemede daha etkin olmuşlardır.

4. SONUÇLAR

1. AF11 ++ 0,001 M $C_4H_2O_3$ +0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$ ve AF11+ 0,01 M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ +0,001 M $Na_5P_3O_{10}$ karma inhibitör karışım çözeltilerinde sırasıyla %96 ve % 90 inhibisyon sağlanmıştır. Ticari inhibitörde ise % 90 inhibisyon sağlanmıştır. Kullanılan inhibitörler ticari inhibitörün yerine kullanılabilir.
2. AF11 + 1×10^{-2} M $C_6H_4Na_2O_6S_2$ inhibitörlü çözeltide % 90 inhibisyon sağlanmıştır. $C_6H_4Na_2O_6S_2$ kimyasalıda tek başına inhibitör olarak kullanılabilir.
3. Sıcaklık değişmesi inhibitör kullanımında pek etkili olmamıştır.
4. İnhibitör eklendiğinde pH 8 ve üzerinde olursa inhibisyon artmaktadır.
5. Kullanılan inhibitörler anodik inhibitör olarak davranmaktadır.
6. XRD analizi sistemde $CaCO_3$ kabuklaşması olduğunu göstermektedir.
7. TDS, tuzluluk, iletkenlik arttıkça inhibisyon azalmaktadır. Toplam sertlik ise 40'ın altında olursa inhibisyon artmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazar bu çalışmada AFJET Tesislerindeki çalışmalar sırasında bilgi ve deneyimlerini aktaran ve destekleyen AFJET yetkililerine katkılarından dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Banaş, J., Lelek-Borkowska, U., Mazurkiewicz, B. ve Solarski, W., 2007, "Effect of CO_2 and H_2S on the composition and stability of passive film on iron alloys in geothermal water", *Electrochimica Acta*, 52(18), 5704-5714
- Batis, G., Kouloumbi, N. ve Kotsakou, K., 1997, "Corrosion and protection of carbon steel in low enthalpy geothermal fluids. The case of SOUSAKI IN Greece", *Geothermics*, 26 (1), 65-82
- Büyüksağış, A. 2007, Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sisteminde Oluşan Kabuklaşma ve Korozyon, Jeoloji Mühendisleri Odası Dergisi. 2.sayı
- Corsi, R., 1986, Scaling and Corrosion in geothermal equipment: problems and preventive measures, *Geothermics* 15, 839-856
- Çakır, A. ,2005, Jeotermal Su Kullanımında Kabuklaşma Ve Korozyon Problemleri, , Jeotermal Enerji Semineri, TESKON, 303-316
- Gallup, D.L., 1993, "The use of reducing agents for control of ferric silicate scale deposition", *Geothermics*, 22 (1), 39-48
- Gallup, D.L., 1998, "Inhibition of silica precipitation ",*Applied Thermal Engineering* 18 (6), 19
- Gallup, D. L. ve Barcelon, E., 2005, "Investigations of organic inhibitors for silica scale control from geothermal brines-II", *Geothermics* 34 (6), 756-771

- Gautier, B. ve Goyeneche, O., 1990, la prevention de la corrosion en geothermie, *Reseaux et Chaleur* 5, 57-63
- Lienau, P.J. ve Rafferty, K. (1986), Piping geo-fluids, *Bulletin of the Geo-Heat Center*, 9(3), 5-8
- Morizot, A. P. ve Neville, A., 2002, "Insights into Electrodeposition of an Inhibitor Film and Its Inhibitive Effects on Calcium Carbonate Deposition", *Journal of Colloid and Interface Science*, 245, 40-49
- Parlaktuna, M. ve Okandan, E., 1989. The use of chemical inhibitors for prevention of calcium carbonate scaling, *Geothermics* 18, 214-248
- Pieri, S., Sabatelli, F. ve Tarquni, B., 1989, Field testing results of downhole scale inhibitor injection, *Geothermics* 18, 249-257
- Richter, S., Hilbert, L.R., ve Thorarinsdottir, R.I., 2006, "On-line corrosion monitoring in geothermal district heating systems. I. General corrosion rates", *Corrosion Science*, 48(7), 1770-1778
- Soylemezoglu, S. ve Harper, R. , 1982, "Oxygen ingress into geothermal steam and its effect on corrosion of low carbon steel at Broadlands, New Zealand", *Geothermics*, 11(1), 31-42
- Xyla, A. G., Mikroyannidis, J. ve Koutsoukos, P. G., 1992, The inhibition of calcium carbonate precipitation in aqueous media by organophosphorus compounds, *Journal of Colloid and Interface Science*, 153 (2), 537-551 TS 266
- Ungemach, P. ve Turon, R., 1988, Injection en fond de puits d'agents inhibiteurs de corrosion/incrustation, *Geothermics Actualities* 5, 31-40

**TERMAL SULARDAKİ SICAKLIK VE TUZ İÇERİĞİ
(Na₂SO₄, NaCl)
PARAMETRELERİNİN MERMERE OLAN ETKİSİNİN
İRDELENMESİ**

*EXAMINING THE EFFECTS OF TEMPERATURE AND SALT
CONTENT (Na₂SO₄, NaCl) PARAMETERS OF THE THERMAL
WATERS ON MARBLE*

SARIİŞİK, A.¹, ERSOY, B.¹, SARIİŞİK, G.²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği,
sariisik@aku.edu.tr, bersoy@aku.edu.tr,

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, gsariisik@aku.edu.tr,

ÖZET

Bu çalışmada Afyonkarahisar ilinde hizmet veren Sandıklı (Hüdai) kaplıca sularının sıcaklık ve tuz içeriği parametrelerinin Afyon yöresine ait Afyon Beyaz mermeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan testler ve gözlemler sonucunda termal suyun her iki (sıcaklık ve tuz içeriği) parametresindeki artışın, mermerlerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkiledikleri tesbit edilmiştir. Her iki parametredeki artışın eşzamanlı olarak hem basınç dayanımını azalttığı ve hem de kütle kaybını artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal Su, Sıcaklık, Tuz, Mermer, Basınç Dayanımı, Kütle Kaybı

ABSTRACT

This study presents the effects of the temperature and the salt (sodium sulfate and sodium chloride) content of the Thermal Water in Sandıklı Region of Afyonkarahisar on the Marble (Afyon White Marble). In this scope, the effects of the temperature and salt content of the thermal water on the mechanical (i.e., compressive strength) and physical (i.e., weight loss) properties of the afyon white marble widely used in the thermal plants in Afyon are investigated. The results showed that an increase in both the two parameters of the thermal water, temperature and salt content, affects negatively the mechanical and the physical parameters of the marbles, that is, when temperature and salt content increase the compressive strength reduces and the weight loss increases simultaneously.

Key Words: Thermal Water, Temperature, Salt, Marble, Compressive strength, Weight loss

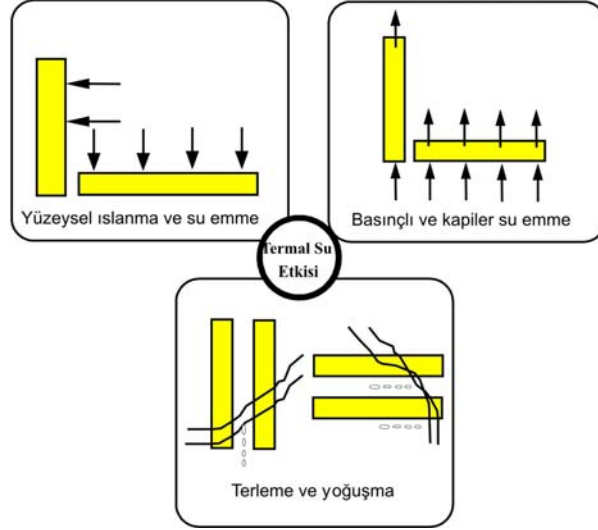
1. GİRİŞ

Afyonkarahisar Sandıklı Hüdai kaplıcaları gibi zengin termal kaynaklara sahip ve buralarda bulunan modern Otel-Motelleri ile birlikte ülkemizin Termal turizmi bakımından başta gelen illerindendir. Bu termal tesislerde mermer kaplama, merdiven basamağı, döşemelik plakalar, fayanslar, hamam ve havuzlarda doğaltaşlar kullanılmaktadır. Termal tesislerde gerek zemin ve gerekse duvar döşemelerinde genelde mermer gibi doğal taşlar kullanılmaktadır. Buralardaki doğaltaşlar diğer yerlerde kullanılan doğaltaşlara göre biraz daha farklı dış etkilere maruz kalmaktadır. Özellikle termomineral suların çözünmüş haldeki inorganik ve organik maddeler ve CO₂ içermesi bakımından doğal taş üzerinde özellikle çözünmeyle gelen kütle kaybını artırması ve daha çabuk renk değişimine yol açması gibi olumsuz etkiler yapabileceği beklenir. Bu bakımdan bu gibi yerlerde kullanılacak doğal taşların daha bir dikkatle seçilmesi gerekir (Mutlu, 1996).

Genel tabiriyle belirli bir sıcaklığa sahip Doğal Mineralli Sular dört gruba ayrılmaktadır; (i) doğal sıcaklıkları 20 °C'nin üzerinde olan ve litrede 1 gr'ın altında çözünmüş mineraller içeren Termal Sular, (ii) hem doğal sıcaklıkları 20 °C'nin üzerinde olan ve hem de litrede 1 gr'ın üzerinde çözünmüş mineral içeren Termomineral Sular, (iii) bazı özel mineralleri belirli bir konsantrasyon değerinin üzerinde olan Özel Termomineral Sular (Karbon dioksitli, Tuzlu, Radonlu, Radyumlu, Kükürtlü, İyotlu, Florürlü, Demirli, Arsenikli, Çamurlu Sular) ve (iv) yukarıda verilen herhangi bir özel su grubuna girmeyen ve genellikle klorür, sülfat ve bikarbonat gibi anyonlar ve sodyum, kalsiyum gibi katyonlar içeren Karma Sular, Afyonkarahisar ilindeki kaplıcaların (termal tesisler) su analizlerine bakıldığında Karma Sular sınıfında olduğu, sıcaklıklarının genelde 50-98 °C aralığında değiştiği ve Gazlıgöl hariç çözünmüş CO₂ miktarının genelde düşük seviyede olduğu ve görülmektedir.

Günümüzde oldukça yaygın bir sektör durumuna gelen inşaat sektöründe, yapı ve kaplama malzemeleri olarak farklı tür ve özelliklerde malzemeler kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre malzeme karakteristiğini, doğrudan etkileyen çevresel faktör ve parametreler şu şekilde sıralanabilmektedir: Mekanik deformasyonlar, aşınma, ısısal etkiler, su ve nem etkileri, akustik sorunlar, güneş ve atmosfer etkileridir.

Birçok yapı malzemesinde nem emme ve nem verme yeteneği farklı ölçülerdedir. Gözenekli malzemeler, gelen su ile çabucak ve tümüyle nemlenir. Bu tür malzemeler, suyu ancak su buharı şeklinde dışa verebilirler. Duvarlarda nem etkileri çok yönlüdür. Öncelikle zemin duvarlarının ısı yalıtım verimi düşer, bunun sonucunda da yağışma suyu oluşabilir. Nem sadece fiziksel değil kimyasal hasarlar da oluşturur. Bağlayıcı malzemelerin çözülüp, ayrılmasından başka, tuzların hacim artışının neden olduğu çatlama ve kabarmalar görülür. Yüzeyde başlayan yapısal bozuklukları içerilere doğru ilerler. Sonunda yapı elemanlarının değeri ve etkinliği azalır, yok olur. Yüzeysel ıslanma ve su emme olaylarının etkili olduğu, basınçlı su ve kapilarite olaylarının etkili olduğu, yapı elemanını çevreleyen havanın nemi ve hidrotermik olayların etkili olduğu duvarlarda görülen terleme ve buhar geçirirliliği ile doğaltaşlarda bozulmalar görülür (Şekil 1) (Sarıışık, 1998).



Şekil 1. Termal tesis yapılarında suyun etkili olduğu durumlar

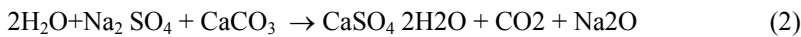
Bu olaylar yapıda duvar ve teraslarda görülen *terleme* ve *yoğuşma* (kondensasyon) sonucu ortaya çıkan su birikimleridir. Terleme, daha önce de belirtildiği gibi, yapı elemanının yüzeyinde sıcaklık düşmesi ile meydana gelen buharın su haline dönüşmesidir. Yoğuşma ise, farklı buhar basınçlarından dolayı yapı elemanının malzemeleri arasında meydana gelen buharın su haline dönüşmesi olayıdır. Ayrıca, ıslak kârgir binalarda zamana bağlı olarak görülen nemlilik de bu grup içinde yer alabilir. Terleme ve yoğuşma olayları, yapı elemanı içindeki ısı tutucu malzemenin değerini düşürmektedir.

Yapı malzemelerine zarar veren suların başında *tatlı sular*, yani sertliği az olan, içinde erimiş tuzlar ve kireç bulunmayan sular gelmektedir. Menba suyunda, dağlık yerlerde kar ile beslenen göl ve akarsularda erimiş bulunan havanın CO₂ ini bağlayacak kireç bulunmadığı için, bu sular zayıf bir karbonik asit etkisi yapar. Suyun asit karakterinde olduğu pH değerinin 7 den küçük olması ile anlaşılmaktadır. Bu şekildeki agresif tatlı sular, özellikle bünyesinde karbonat bileşiği bulunduran yapı malzemeleri için zararlı etki yapmaktadırlar. Bu olguda;



reaksiyonu ile suda erimeyen kalsiyum karbonatı, suda eriyen bikarbonat haline getirerek akıcı bir özellikte, malzemenin kısa bir sürede erimesine ve parçalanmasına sebep olmaktadır.

Yapı malzemelerine zararlı etki yapan diğer bir su çeşidi ise *Sülfatlı Sular*dır. Bu sulara, bataklıklarda, sülfatlı zeminlerde, kanalizasyonda, denizde ve termal sularında rastlanmaktadır. Bunlarla temas eden kalkerli doğaltaşlar;



2'deki gibi benzer şekillerde reaksiyona uğrayarak zamanla şişip parçalanmaktadır. Esmer renk, çürük yumurta kokusu veren şüpheli suları analize tabi tutarak sülfat miktarını tayin etmek gerekmektedir. Sudaki SO₃ miktarı %0,03'ü aştığı takdirde suyun zararlı olacağı ve koruyucu tedbir alması gerektiği kabul edilmektedir. SO₃ miktarı %0,1 oluncaya kadar tedbir alarak korunma sağlanabilmektedir. %0,1'i aşarsa hiç bir tedbir işe yaramamakta ve malzemeyi bu sudan tamamen ayırmak gerekmektedir (Kocataşkın, 1976). Sandıklı (Hüda) Kaplıcaları termal suyun içerisinde potasyum, amonyum, magnezyum, demir, alüminyum, mangan gibi katyonlar ile klorür, nitrat, iyodür, hidrofosfat ve hidrokarbonat gibi anyonlar bulunmaktadır. Ayrıca metasilikat asidi ile gazlardan serbest karbondioksite rastlanılmıştır.

Bazı topraklar ve özellikle killi arazi ve bataklık bölgeler, yüksek miktarda çeşitli tuzlar ve özellikle magnezyum, kalsiyum, sodyum ve potasyum sülfatları ihtiva ederler. Piritli arazide de bu cismin, havanın etkisi ile oksidasyonu sonucunda serbest H₂SO₄ veya sülfatlar meydana gelebilir. Bu cisimlerin kaplama taşları üzerinde çeşitli etkileri görülür. Kaplama taşı ile doğrudan doğruya temas etmeseler bile malzemenin gözenekliliği sebebiyle temel ve toprak hatından sızarak kılcallık yolu ile ve rutubetin yardımı ile kaplama taşlarının içine nüfuz ederek yukarı doğru tırmanırlar. Bu olguda, havanın ve ısının etkisi ile uygun bir konsantrasyona erişince billurlaşır. Bu billurlaşma hacim genleşmesi ile beraber olduğu için yapıya mekanik bir etki yapar ve bu etki kaplama ve döşeme malzemelerini, patlatacak kadar şiddetli olabilmektedir. Bu çeşit olaylar, yukarıda işaret edildiği gibi, ısının etkisi dolayısı ile Güney ve Akdeniz bölgeleri gibi oldukça sıcak iklimli bölgelerde daha sıkı ve belirgin olarak görülebilmektedir. Termogravimetrik şartlar değişip de denge bozulunca bu billurlaşmayı bir dehidratasyon olayı izler. Burada kaplama taşının bünyesine yerleşen tuz, sodyum sülfat ise, orta derecede bir kuraklıkta su buharının basıncı daha düşük olduğundan dolayı, amorflaşan sülfat, beyaz bir tuz haline dönüşerek, zaman içerisinde dökülmeye başlar. Bu da, malzeme bünyesinde ve yüzeyinde arzu edilmeyen bir durumdur. Bu olay sonucunda, malzemenin mekanik ve diğer karakteristik özelliklerinde önemli derecelerde bir zayıflama söz konusu olmaktadır. Yapı tekniğinde genelde bu olay, yüzeyde çiçeklenme olarak tanımlanmaktadır (Sarışık, 1998).

Termal suların mermer vb. doğaltaş üzerine etkisi konusunda literatürde çalışmaya rastlanmamış olup ancak normal suların pH değişiminin mermere etkisi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır (Singh, 2007). Bu çalışmada Sandıklı hüda kaplıcaları termal sularının sıcaklık ve tuz içeriği parametrelerinin Afyon Beyaz Mermerinin mekaniksel (basınç dayanımı), fiziksel (ağırlık kaybı) ve kimyasal (renk değişimi) özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada Afyonkarahisar ilinde hizmet veren Sandıklı (Hüda) kaplıca sularının Afyon yöresine ait Afyon Beyaz Mermeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sandıklı Hüda sularına ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. pH değerleri 6,6 ile 7,0 arasında değişen sular genel olarak, nötr bir karakter sergilerler. Sandıklı Hüda sularının toplam çözülmüş madde içeriği 1952 ile 2458 mg/l (ppm) arasında değişmektedir. Termal kaynaklar en fazla 62-68 °C'lık bir sıcaklığa erişirler.

Çizelge 1. Sandıklı Hüdai sularına ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

		Sandıklı (Hüdai) Kaplıca Sularının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri			
Termal Su Özellikleri	Fiziksel Özellikler	Renksiz, kokusuz, gazlı (serbest karbondioksit (CO ₂): 332 mg/lt)			
	Kimyasal Özellikler		mg/lt		mg/lt
		Kalsiyum Ca ⁺²	182,65	İyodür I ⁻	Eser
		Magnezyum Mg ⁺²	21,90	Florür F ⁻	4
		Sodyum Na ⁺	299,9	Klorür Cl ⁻	154,72
		Potasyum K ⁺	42,38	Sülfat SO ₄ ⁻²	122,45
		Demir Fe ⁺³	0,44	Hidrofosfat HPO ₄ ⁻²	0,9343
		Mangan Mn ⁺²	0,26	Hidroarsenat HASO ₄ ⁻²	0,0717
		Lityum Li ⁺⁴	0,046	Bikarbonat HCO ₃ ⁻	1958,24
		Amonyum NH ₄ ⁺	0,644	Kalsiyum sülfat CaSO ₄	68,70
Fiziko Kimyasal Özellikler	pH: 6,6 – 7,0				
Toplam Mineralizasyon (çözünmüş madde içeriği)	1952-2458 mg/lt				
Sıcaklık	62-68 °C				

Çalışmada Afyon yöresi mermer kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan mermerler mineralojik-petrografik, kimyasal, fiziko-mekanik analizleri konusunda bu özelliklerin belirlenmesi için DIN normlarına göre Hacim Kütleli Deneyi için 4 x 4 x 4 cm, Özgül Kütle Deneyi için 4 x 4 x 4 cm, Tek Eksenli Basınç Dayanımı testi için 7 x 7 x 7 cm, Su Emme Deneyi için 4 x 4 x 4 cm boyutlarında ve ayrıca Permeabilite deneylerinde 3.0 cm çap ve 5.0 cm yüksekliğinde numuneler hazırlanmıştır. Mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli olan ince kesitlerin hazırlanmasında MPS2-120 GMN marka cihaz kullanılmıştır. Mermerin fiziko-mekanik ve kimyasal özelliklerin sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Doğaltaşların çözünme derecesi, billurlaşma etkisiyle ağırlık kaybı analizinin yapılması sonucu belirlenebilmektedir. Doğaltaş örneklerinin kristal yapısındaki değişim ve diğer mühendislik özelliklerindeki karakteristik etkileşim incelenebilmektedir. Doğaltaşların bu olgusal değişim karakteristiği, detaylı olarak görsel ve deneysel analizlerle irdelenmiştir (Çizelge 3).

Bu çalışmada, termal sular kimyasal bileşenler açısından sembolize etmek için suni olarak ağırlıkça %1 ila 5 arası tuz ayarlaması yapılmış ve böylece tuzlu termal suyun mermere ne ölçüde etkideği detaylı olarak incelenmiştir. Mermerin hazırlanan kimyasal çözelti solüsyonları etkisinde, solüsyon emilme oranının 168 saatlik zaman sürecinde değişimi ayrı ayrı incelenmiştir. Testlerde uygulanan prensipte, 16 günlük periyodlarda

4x4x4cm boyutlarındaki mermer numuneleri, çözelti içinde bekletmeye maruz bırakılmış ve numunelerin ilk işlem sonrası ağırlıkları 0.001 gr hassasiyetle tartılmıştır. 24 saatlik bekletme sonrası numuneler, yıkanarak kurutulmuş ve tekrar çözeltide bekletilmiştir. Bu işlem 16 kez tekrarlandıktan sonra, mermer numunelerinde meydana gelen solüsyon tutma yüzdesi kaydedilmiştir. Ayrıca, makroskobik olarak renk değişimi ve yüzey görünümündeki değişiklikler fotoğraflama tekniği ile irdelenmiştir.

Çizelge 2. Afyon Beyaz mermerin fiziko-mekanik ve kimyasal özellikleri

Fiziko-Mekanik Özellikler	Birimi (SI System)	Afyon Beyazı
Hacim Kütle Deneyi	(kg/m ³)	2740
Özgül Kütle Deneyi	(kg/m ³)	2730
Hacimce Su Emme	(%)	0,16
Kütlece su Emme	(%)	0,24
Porozite	(%)	0,70
Permeabilite	(mD)	0,54x10 ⁻²
Basınç Dayanımı	Mpa	68,70
Kimyasal Analizler	Ağırlıkça	
SiO ₂	(%)	0.60
Al ₂ O ₃	(%)	0.30
Fe ₂ O ₃	(%)	0.05
MgO	(%)	0.18
CaO	(%)	55.2
Na ₂ O	(%)	<0.05
K ₂ O	(%)	0.05
TiO ₂	(%)	<0.01
P ₂ O ₅	(%)	<0.01
MnO	(%)	<0.01
Kızdırma Kaybı	(%)	43.5
Toplam	(%)	100

Çizelge 3. Farklı kaplama taşları için gerekli testler.

Kaplama Taşı	Kullanım	Billurlaşma Testi	Doygunluk Katsayısı Testi	Porozite	Nem/Kuru Ortam Testi
Doğaltaş	Genel	⊙	⌘	⌘	✓
Kumtaşı	Genel	⌘	⌘	⌘	✓
Kumtaşı	Özel durumlar	⊙	✓	✓	✓
Slate Arduvaz	Çatı	✓	✓	✓	⊙
Slate Arduvaz	Duvar tepeliği	✓	✓	✓	⊙
Slate Arduvaz	Nemli ortam döşemesi	✓	✓	✓	⊙

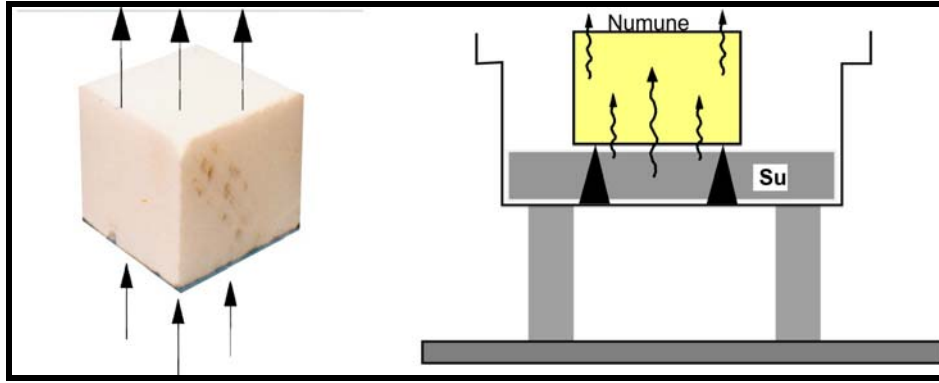
⊙ : Bu testler, doğaltaş kütle numuneleri üzerinde yapılabilir.
 ⌘ : Bu testler, özel durumlar için gerekli yapılabilir.

Doğaltaşın su emme karakteristiğine bağımlı olarak gözeneklerine emilen solüsyonu tutma değişimi, numunelerin ağırlık ölçümlerinden yararlanılarak tanımlanmaya çalışılmış olup, bu tanımlama için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\Delta st = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{\rho_{2i} - \rho_{1i}}{\rho_{1i}} \right|}{n} * 100 \quad (3)$$

Burada,

- st : Solüsyon tutma yüzdesi, %
- ρ_{1i} : Numunenin ilk ağırlığı, gr,
- ρ_{2i} : Numunenin son ağırlığı, gr,
- n : Toplam etkileşim sayısıdır



Şekil 2. Kapiler su geçirimsizlik deney düzeneği.

Deneyde mermerlerin kullanım yerine göre, değişen sıcaklığının mermer kaplamasının su emme karakteristiğine etkisini incelemek amacıyla, 20°C - 200°C sıcaklık ortamında tutulan mermer örnekleri üzerinde 168 saatlik belirli zaman süreçlerinde, her 24 saatte bir kapiler su emme değişimleri ölçülmüştür. Mermerin alt yüzü su ile temasa getirilerek, belirli bir zaman süresinde kılcal olarak yukarıya çekilen suyun miktarı, malzeme tartılarak ölçülmektedir (Şekil 2). Bu durumda, emilen su miktarı (q), malzemenin su ile temas eden yüzeyine (A), suyun diğer yüzeye geçiş süresine (t) ve malzemenin kapilarite katsayısına (k) bağlı olarak değişmektedir. Yapı ve/veya kaplama olarak kullanılan farklı tür malzemelerin su-nem ilişkisinde baz olarak kullanılan parametrik sınır değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Malzemelerin su-nem ilişkisi parametrik sınır değerleri (Eriç, 1994).

Malzeme	Ağırlıkça Su Emme %	Basınçlı Su Geçirimsizlik cm/sn	Kapiler Su Geçirimsizlik cm ² /sn
Doğaltaş	0.3-5	10 ⁻⁹ -10 ⁻¹²	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁷
Çimento harcı	30-50	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶
Beton	1-8	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵
Tuğla	8-18	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	10 ⁻² -10 ⁻⁴
Ahşap	15-100	-	-
Plastik	0.01-2	-	-

Bir malzemenin kapiler su geçirimsizlik değeri ise şu eşitlik yardımıyla tanımlanabilmektedir:

$$q = A \sqrt{k * t} \quad (4)$$

Burada,

- q : Emilen su miktarı, cm³,
- A : Malzemenin yüzeyi, cm²,
- t : Suyun malzemeden geçiş süresi, sn,
- k : Kapiler su geçirimsizlik katsayısı, cm²/sn.

Kılcallık katsayısı (kapiler su geçirimsizlik katsayısı) adını alan bu orantı katsayısı, malzemenin boşluk karakteri ile ilgili bir malzeme sabitidir. Bu karakterin çok karışık olması nedeni ile ancak detay - hassas deneysel incelemelerle belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

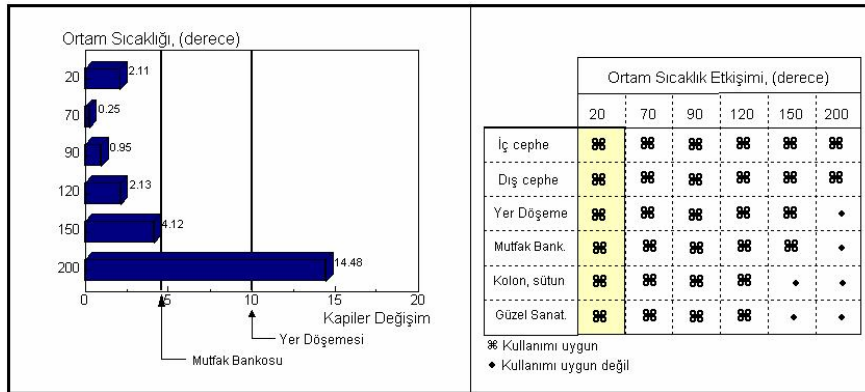
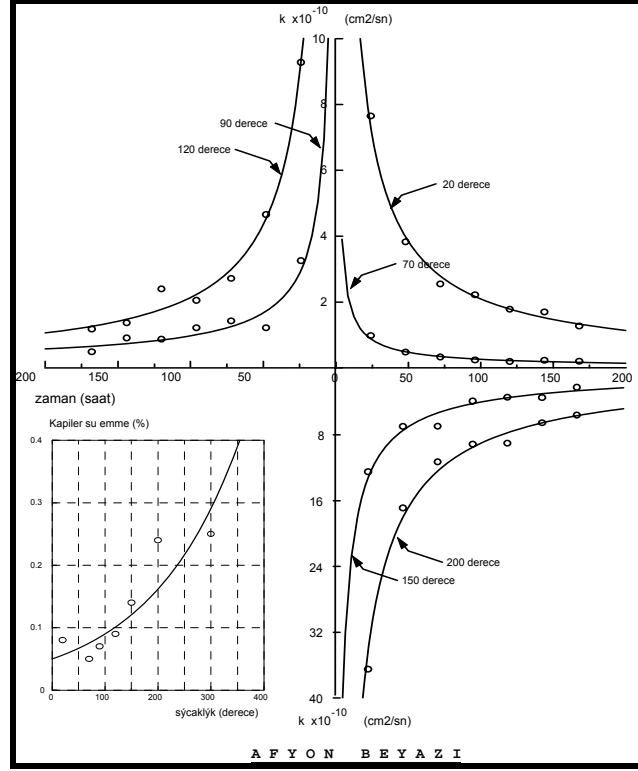
Su ile ilişki sonucu, su içinde bulunan malzemelerde su emme, yüzeysel olarak su ile temasta bulunan malzemelerde de su geçirimsizlik önemli olmaktadır. Yukarıda da değinildiği gibi su emme karakteristiği için malzemenin porozitesi önemli bir etken olmaktadır. Zira, malzeme gözeneklerine girmiş bulunan suyun sıcaklık derecesinin değişmesi ile ortaya çıkaracağı olay ise donmadır. Donmada katı hale geçerek hacim genişlemesine uğrayan su, malzeme yapısında iç gerilmelere neden olmaktadır. Burada önemli olan, malzeme boşluklarına ne oranda su dolduğu, diğer bir deyişle malzemenin doygunluk derecesinin ölçüsüdür. Bu derecenin %80'den küçük olması, malzemenin donmaya karşı dayanıklı olduğunun bir ölçütü olarak kabul edilmektedir (Kocataşkın, 1976).

3. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

3.1 Termal Su Sıcaklığının Mermer Üzerine Etkisi

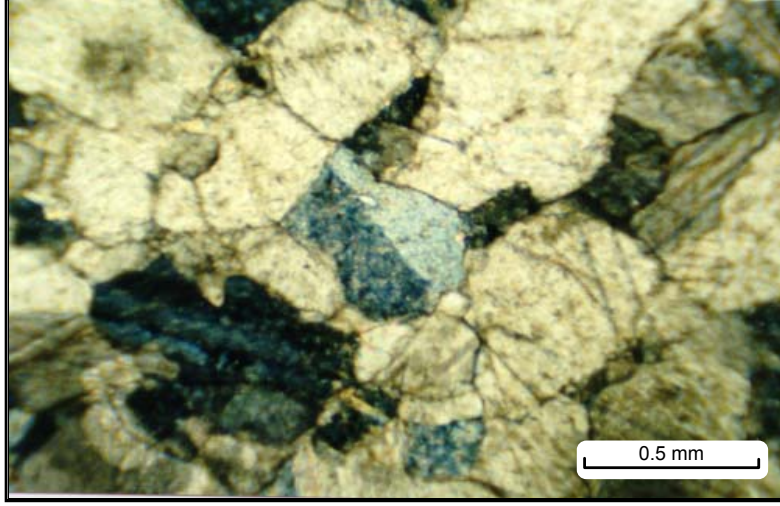
Afyon mermerinin kapiler su geçirimsizlik karakteristiği belirli zaman süreçleri bazında analiz edilmiştir. Bu incelemede, mermerin yapısal özellikleri de göz önünde bulundurularak ayrı ayrı kapiler su geçirimsizlik karakteristiklikleri sıcaklık ortamları bazında analiz edilmiştir. Bu analiz bulgularından da, incelenen doğaltaş türü üzerinde

kapiler etkileşim açısından kullanım yeri spesifikasyonları tanımlanmaya çalışılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Afyon Beyaz Mermere Etkileşim zamanı-kapilarite değişimi ve kapiler su emmeye ortam sıcaklığının etkisi.

Çalışmada ayrıca, mermerin minerolojik ve petrografik açıdan da incet kesit analizi yapılarak, kapiler su geçirimsizliğine etkiyen yapısal özellikleride detay olarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Mermere ait detay analiz bulguları, açıklamalı yorumları ile birlikte Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Afyon Beyazı mermerlerinin kapilerite etkileşimi açısından yapısal görünümü

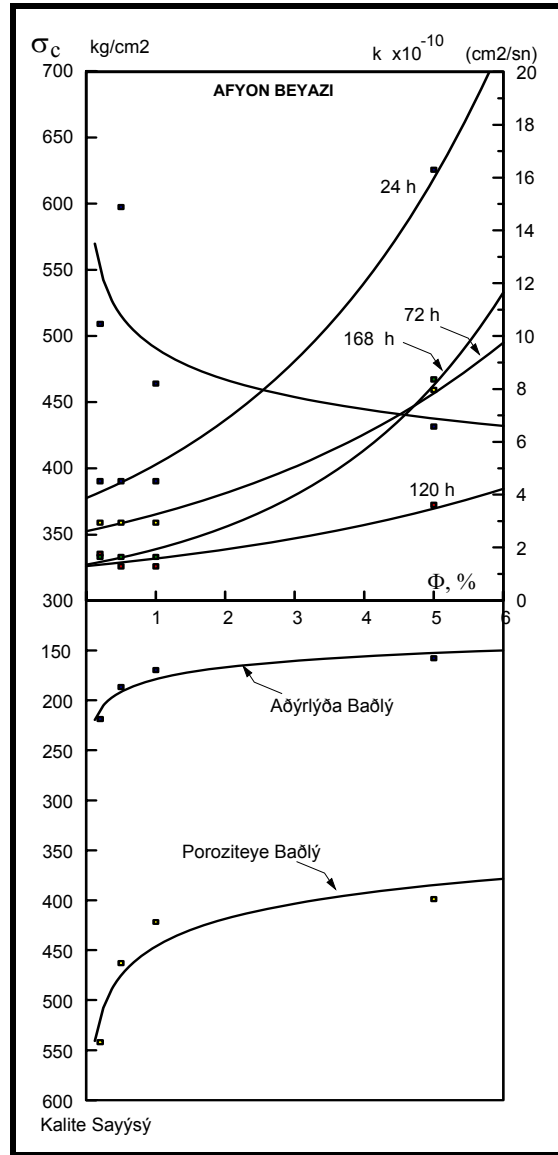
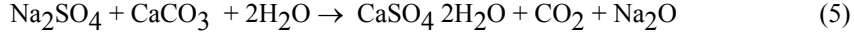
Afyon Beyazı, Afyon kaymağı olarak bilinen bu mermer, metamorfik bir kayadır. Mermer granoblastik dokuya sahiptir. İkizlenme bandlı kalsit kristalleri yapı içinde belirgin bir yer tutmaktadır. Romboedrik dilinimli ikizlenmelere sahip kalsit kristalleri öz şekilli taneler değildir. Kalsit kristallerinde herhangi bir yönlenme gözlenmektedir. Ayrıca kristallerde zonlanma görünmemektedir. Bu mermerin su emme karakteristiği, bu grub içinde düşük değerde kalmaktadır.

3.2. Termal Suların Tuz ($\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{NaCl}$) İçeriğinin Mermer Üzerine Etkisi

Diğer bir incelemede ise, sülfat derişiminde, mermer kaplamada kapiler su geçirimsizlik katsayısının değışimi analiz edilmiş ve mermer türlerine ait bulgular Şekil 5'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde görüleceği üzere, belirli zaman dilimlerinde ve artan sülfat derişimlerinde, kapilarite katsayısının değeri arttığı veya diğer bir değışle, su geçirimsizlik özelliğinin zayıfladığı gözlemlenmektedir. Farklı gözlemle, zemin nemindeki aynı sülfat derişiminde, artan zaman sürecinde, su geçirimsizlik özelliğinin iyileştiği belirlenmiştir.

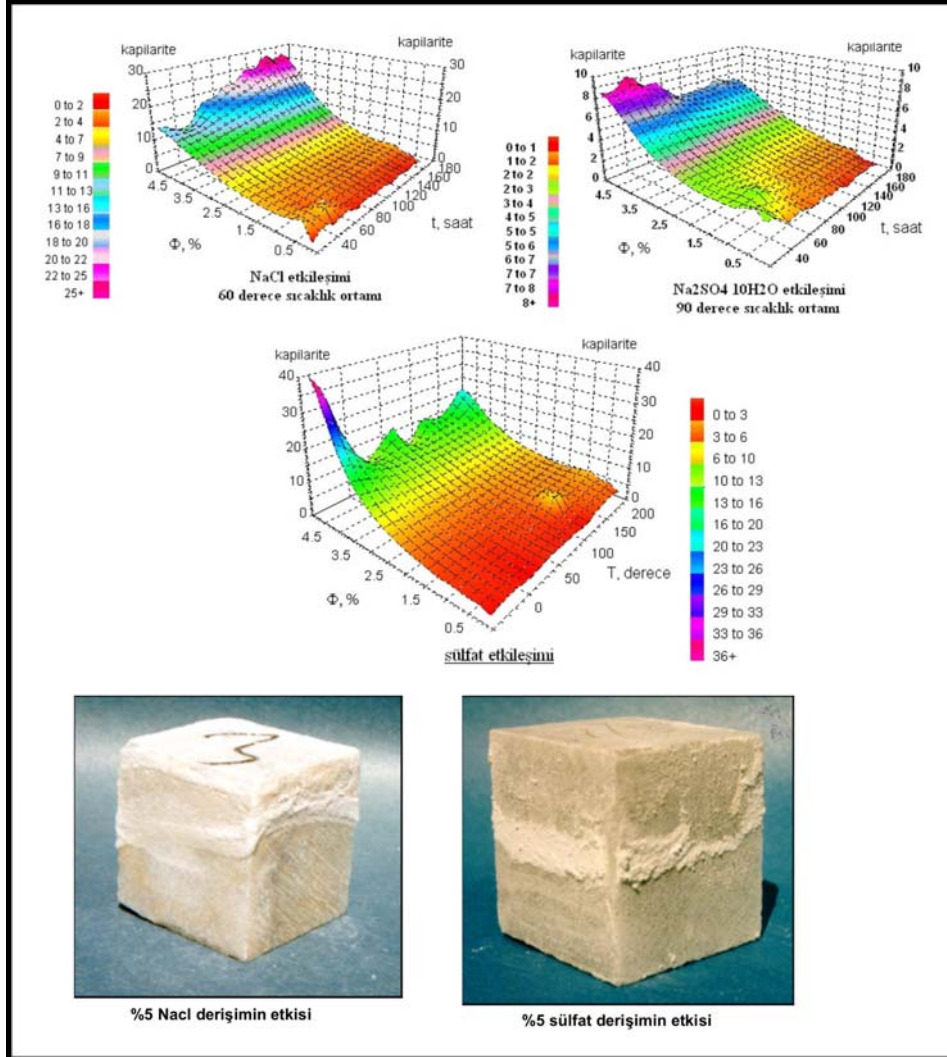
Zemin nemi bileşiminde bulunabilecek Na_2SO_4 ve/veya NaCl bileşimlerinin, mermer türlerine ne ölçülerde etkileyebileceği yukarıdaki bölümlerde detay olarak irdelenmeye çalışılmıştır. Nem veya zemin suyunda sülfat iyonu veya klor iyonu varlığının, etkileşim zamanına bağımlı karakteristik etkisi ayrı ayrı her bir mermer türü için analiz edilmiştir. Bu etkileşimler zaman-iyon derişimi-kapilarite ve sıcaklık değışimi-iyon derişimi-kapilarite değışimleri bağıl değışkenler olarak ele alındığında, Şekil 6'da üç boyutlu diyagram gösterimleri olarak kompozisyonları verilmiştir. Bu şekiller ayrı ayrı

irdelendiğinde, zemin nemi ve suyunda bulunan iyonların mermerin kimyasal bileşimi ile reaksiyona girerek sülfat iyonu ve klor iyonu için aşağıda belirlenen reaksiyon dengeleri meydana gelmektedir:



Şekil 5. Sülfat etkileşiminde Afyon Beyaz Mermerin karakteristiği

Buradaki NaCl - CaCO₃ reaksiyonu, kimyasal aktivitenin tamamlanma süreci çok uzun bir zaman alması sebebiyle, reaksiyon kinematiğine bağımlı olarak, reaksiyon sonucu ne tür bileşenlerin oluşabileceği çok çeşitlilik arz etmektedir. Bu bakımdan, buradaki kimyasal denge tamamlanmamış olup, oluşumun zaman sürecindeki değişimine göre tecrübe edilebilecektir.



Şekil 6. Afyon Beyaz doğaltaşinin sülfat ve klor iyon etkileşimlerdeki ortam koşullarına bağımlı kompozisyonel karakteristiği

5. SONUÇLAR

Termal suların sıcaklığı ve tuz (sodyum sülfat ve sodyum klorür) içeriği mermerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerinde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Termal sulara maruz kalan mermerlerin, diğer normal suya maruz kalan mermerlere göre daha fazla kütle kaybına uğramaktadır.

Termal Suyun sıcaklığının artması, kapiler su emme değerini artırmış, dolayısıyla daha fazla termal su mermerin bünyesinden geçerken çözücü tuzlarını mermerin bünyesinde çözümler yaparak, ağırlık azalmasına neden olmaktadır. Termal Suların sodyum sülfat içeriği %1'den %5'e çıkartıldığında, Afyon Beyaz Mermerin basınç dayanımı 570 kg/cm²'den 450 kg/cm²'ye ve kütle kaybı (birim hacim ağırlık) ise %0.2 oranında azaldığı tesbit edilmiştir.

Termal tesislerde kaplama ve/veya döşeme elemanı olarak kullanılacak mermerin normal zeminlerde kullanılacak mermere göre daha çok olumsuz etkiye maruz kalmaktadır. Bu sebeple, kaplıca yer ve duvar kaplamalarında kullanılacak mermer türlerinin daha bir dikkatle seçilmesi gerektiği ifade edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Mutlu H., 1996. Afyon jeotermal alanındaki termal suların jeokimyasal değerlendirilmesi; Jeotermometre uygulamaları ve akışkan mineral dengesi; Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 169 s.
- Sarışık A., 1998. Kalsiyum Karbonat Kökenli Mermerlerin Çevre Etkileşimi ile Fiziko-Mekanik Özelliklerinde Değişim Karakteristikleri. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Kocataşkın F., 1976. "Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi", İ.T.Ü. Yayını, Sayı:1060, İstanbul
- Sarışık G., 2007. Technical Characteristics of Some Turkish Natural Stones with Calcium Carbonate Root and Their Usage Fields on Structure and Restoration. Master Thesis, A.K.Ü, Institute of Sciences, Department of MineEngineering, Afyon.
- Eriş M., 1994. "Yapı Fiziği ve Malzemesi", Literatür yayınları, 2 Nisan, Ankara.
<http://afacantermalotel.tripod.com/sular/ozellik.htm>.
- Lufsky K., 1980. "Yapılarda Su İzalasyonu", Suy Mim. Müh.A.Ş., İstanbul Marmo Machine, Italy, 1984.
- Singh T.N., Sharma P.K., Khandelwal M., 2007, "Effect of pH on the Physico-Mechanical Properties of Marble" Bull Eng Geol Env (2007) 66: 81-87.

ŞİŞELENMİŞ MADEN SULARININ RADON KONSANTRASYONLARI

B. ORUNCAK, H. A. YALIM, R. ÜNAL, İ. H. SARPÜN, A. AKKURT

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Afyonkarahisar
boruncak@aku.edu.tr

ÖZET

Radon; renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan ve bilinen 28 izotopu bulunan kimyasal bir elementtir. Bu çalışmada radon ile kastedilen 3,82 günlük yarı ömre sahip ^{222}Rn 'dir. Çünkü ^{222}Rn hariç diğer izotopların yarı ömürleri milisaniye ile 14,6 saat arasında değişmektedir. Radon, kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucu oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu sebeple radon, tüm yüzey, kaya ve toprak parçalarından ortama salınabilir. Canlıların günlük hayatta maruz kaldığı doğal radyasyonun yaklaşık % 55'ini radon teşkil etmektedir. Bu bakımdan insanlar tarafından tüketilen yiyecek ve içeceklerdeki radon konsantrasyonunun bilinmesi önemlidir.

Maden suyu, jeolojik ve fiziksel olarak koruma altında olan yeraltı sularından kuyu açılarak veya kaynaktan doldurularak elde edilmiş, çözünmüş katı madde içeriği toplam 250 ppm'den daha az olmayan sulara verilen isimdir. Çözünmüş mineral tuzları çeşitli element ve gaz içerirler. Mineralli suları diğer sulardan ayıran en önemli özellik, kaynağından elde edildiği anda özel miktar ve oranlarda mineraller ve iz elementler içermeleridir. Maden suları yerin en derin katmanlarından çıkar, çıktığı yerin jeolojik özelliklerini taşır ve magmadan aldığı karbondioksit gazının basıncı vasıtası ile yeryüzüne çıkar. Bu çıkış esnasında geçtiği katmanlardan mineralleri de alarak yoluna devam eder. Yeraltındaki kayalarda bulunan radyum tuzlarının çözünmesinin bir sonucu olarak, yeraltı sularında radon bulunmaktadır.

Bu çalışmada piyasada bulunan bazı şişelenmiş maden sularının radon konsantrasyonları ve yıllık ortalama doz eşdeğerleri tespit edilmiş ve bulgular uluslararası standartlarla kıyaslanmıştır.

Anahtar kelimeler: Maden suyu, Radon, Yıllık ortalama doz

AFYONKARAHİSAR JEOTERMAL ISITMA SİSTEMİNDE OLUŞAN KABUKLAŞMA VE KOROZYONUN RYZNAR VE LANGELIER İNDEKLERİ İLE HESAPLANMASI

THE CALCULATION RYZNAR AND LANGELIER INDEX OF FORMATION DEPOSITION AND CORROSION AFYONKARAHISAR GEOTHERMAL HEATING SYSTEMS

BÜYÜKSAĞIŞ, A.^{1,*}, EROL, S.¹

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edb. Fak. Kimya Böl Afyonkarahisar
absagis@aku.edu.tr
kimyacinem@hotmail.com

ÖZET

Jeotermal ısıtma sistemlerde tortu ve korozyon hem kuyularda hemde dağıtım sistemlerinde ciddi zararlara ve ekonomik problemlere neden olmaktadır. Verilen bir akışkanın korozyon kabuklanma karakteristikleri jeotermal akışkanın bileşimine ve kuyunun operasyon parametrelerine bağlıdır. Korozyon ve kabuklanma prosesleri tamamen birbirinden ayrılamaz. Bir jeotermal akışkanda en az çözünen bileşen (CaCO₃) kabuklaşmanın görünüşü açısından çalışılmalıdır. Kabuklaşma ve korozyon prosesleri incelenirken Sıcaklık, çözünmüş CO₂, pH, çözünmüş tuz içeriği, akış hızının CaCO₃ çözünürlüğüne etkisi gibi çeşitli faktörlerin etkisi göz önüne alınmalıdır. Doygunluk indeksi sadece suyun yürütücü kuvvetini ölçer. Ryznar Kararlılık İndeksi hesaplanan değerler ile alandan elde edilen sonuçlar arasında yakın bir bağlantı sağlar ve sonuç olarak bir çok uygulamalarda Langelier indexleri ile yer değiştirmiştir. Afyonkarahisar Jeotermal ısıtma sisteminden alınan su örneklerinde pH, çözünmüş katı madde (TDS), toplam sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda Ryznar ve Langelier indeksleri hesaplanmıştır. İndex değerleri Jeotermal akışkanın korozif ve kabuk yapıcı özellikte olduğunu göstermektedir. Oluşan kabuk CaCO₃ tortusu şeklindedir.

Anahtar Kelimeler:Ryznar Index, Langelier Index, Toplam sertlik, CaCO₃ tortusu

ABSTRACT

Scaling and corrosion can cause serious damage and economic problems in the course of production, both to wells and the utilization in geothermal heating systems The corrosion and scaling characteristics of a given geothermal fluid are determined by the composition

of the geothermal fluids and the operational parameters of the well. Corrosion and scaling processes cannot be treated separately. The least soluble component in a geothermal fluid (CaCO₃), is studied from the point of view of scaling. Taking this into consideration, the influence of various factors, such as temperature, dissolved CO₂, pH, dissolved salt content and flowrate on CaCO₃ solubility, corrosion and scaling processes are investigated. The Saturation Index, however, measures only driving force of a water. The aim of this contribution is to investigate the solubility of CaCO₃ and to model scaling and corrosion in geothermal waters. The Ryznar Stability Index provides a closer correspondence between calculated predictions and results obtained in the field, and consequently has replaced the Langelier in many applications. water samples that are taken off Afyonkarahisar Geothermal Heating System are measured pH, total dissolved solid matter (TDS), total hardness. Ryznar and Langelier Indexes are calculated as a result of these measurements. The values of index show that geothermal fluid is corrosive and scale properties. Formation scale is form of CaCO₃.

Key words: Ryznar Index, Langelier Index, total hardness, CaCO₃ scale

1. GİRİŞ

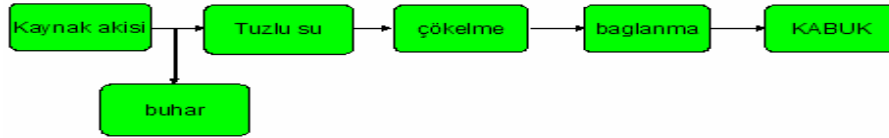
Kabuklaşma jeotermal su kullanımı sırasında ortaya çıkan, tesis veya sistemlerin ömrünü, verimliliğini etkileyen önemli oluşumlardandır. Gazlaşma, buharlaşma ve soğumaya bağlı olarak ortaya çıkan kabuklaşmanın ana sebebi CaCO₃'ün göreceli çözünmezliğidir. Kabuk oluşum mekanizmasının bilinmesi ve iyi anlaşılması buna karşı alınacak önlemlerin ve temizleme metodlarının seçiminde önemlidir (Corsi 1986). Jeotermal suların korozyon etkisi, ortamın kimyasal bileşimine çok yakından bağlıdır. Ortamdaki korozyon yapıcı iyonların yanı sıra, içindeki CO₂'i kaybetmesine bağlı pH değişimleri korozyonu etkileyen diğer parametrelerdir. Richter ve Hilbert (2006) çalışmalarında İceland jeotermal bölge ısıtma sistemlerini incelemişler. İceland jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde genellikle genel korozyon hızları oldukça düşük (1 µm.yıl⁻¹), pH yüksek (9,5), iletkenlik düşük ve çözünmüş oksijen miktarı ihmal edilebilir düzeydedir. Korozyonu önlemek için elektrokimyasal yöntemlerden lineer polarizasyon yöntemi ve elektrokimyasal empedans (EIS) deneyleri yapılmış. Lineer polarizasyon 0.001 mV/s ile çok düşük tarama hızında kabuk oluşumunu göstermemiştir. EIS ölçümleri ise 10⁻⁵ civarında difüzyon etkileri nedeni ile frekansı tamamlayamamıştır. Elektrokimyasal olmayan diferansiyel elektrik direnci ölçme yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Banas vd. (2007) H₂O-CO₂-H₂S sisteminde demir alaşımlarının korozyon davranışını incelemişler. Sonuçlar ortamda bulunan CO₂ ve H₂S seçilmiş sıcaklık ve yüksek basınç altında H₂O-CO₂-H₂S sisteminde pasif filmin kararlılığını etkilemiştir. Patzay vd. (2003) çalışmalarında çözünürlük denge programı olan GEOPROF bilgisayar programını kullanmışlardır. Gaz çıkışı noktalarında derinlik, basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Program CO₂, CH₄ ve N₂'nin kısmi basıncını belirlemek için uygulanmıştır. Jeotermal ısıtma sisteminde kullanılan malzemelerin servis ömrü tahmin edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı ısıtma kaynağı olarak jeotermal akışkanın kullanıldığı Afyonkarahisar şehir içi ısıtma şebekesindeki korozyon ve kabuklaşma eğilimlerini; su sertlik analizleri, Langelier ve Ryznar İndexlerini kullanarak belirlemektir. AFJET şehir ısıtma sisteminin Ömer-Gecek havzasında bulunan AF11, AF16, AF18, ve AF21 kuyularından, toplama havuzundan, reinjeksiyondan ve 6 bölgenin dönüş sistemlerinden

jeotermal su örnekleri alınmıştır. Sistemde katodik koruma yapılmış ama uygulanmamaktadır. Jeotermal suda P3 Ferrofos 8402 ticari inhibitör kullanılmaktadır.

2. KABUKLAŞMA

Jeotermal akışkanlar, kullanım sırasında termodinamik davranışlarıyla metal yüzeylere etki ederek, kabuklaşma ve korozyon sorunlarına neden olan çözülmüş gaz ve katı maddeler içermektedir. Kabuklaşma, jeotermal kaynaklardan yararlanma sırasında oluşan en önemli sorunlardan biridir (Gendenjamts, 2005). Jeotermal akışkanlar Si, O₂, Ca²⁺, SO₄²⁻ ve F⁻ iyonları ile doymuş haldedirler. Sıcaklık ve basınç değişiklikleri denge halindeki bu doymuş çözeltinin kabuklaşma eğilimini artırır. Kalsiyum karbonat çökmesi, jeotermal sahalarda ve bazı petrol sahalarındaki üretim veya enjeksiyon kuyularında yer altı ve yerüstü donanımlarında daralmalara ve tıkanmalara neden olarak bir takım işletim sorunlarına ve dolayısıyla ekonomik kayıplara neden olur. Gazlaşma, buharlaşma ve soğumaya bağlı olarak ortaya çıkan kabuklaşmanın ana sebebi CaCO₃'ün göreceli çözünmezliğidir (Patzay vd.,1998). Şekil 1'de kabuk oluşum mekanizması akım şeması olarak verilmiştir.

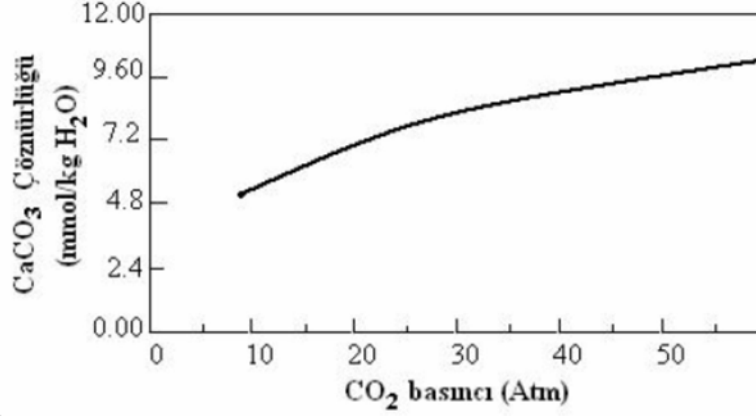


Şekil 1. Kabuk oluşumunun mekanizması

Kalsiyum karbonat çökmesini açıklamak için sudaki karbonat bileşenlerinin davranışlarının bilinmesi gerekir. Karbonatların çökmesinde doğal olarak en etkin parametre pH'dır. pH'ın yüksek olması çözeltideki karbonat iyonlarının derişimi arttıracığı için çökeltmeyi artırır. Çözülmüş CO₂ veya karbondioksitin kısmi basıncı çözeltide karbonik asit oluşmasına neden olduğu için pH değerini düşürmekte dolayısıyla CaCO₃'ün çökmesini önlemektedir (Gendenjamts, 2005). Kalsiyum karbonatın çözünürlüğü,

- sıcaklık,
- kalsiyum iyon oranı ve
- akışkan içinde çözülmüş diğer elementlere bağlıdır.

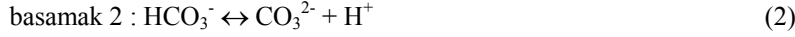
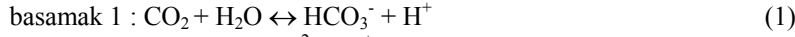
Karbonat iyon oranı ise karbonat ve bikarbonat iyonlarının dağılımını kontrol eden akışkanın pH'ına bağlıdır. Çoğu jeotermal akışkanın pH'ı karbondioksit basıncı ile kontrol edilir. Karbondioksit çıkışı akışkanın pH'ının artmasına, dolayısı ile de kalsiyum karbonatın çökmesine neden olur. Kalsiyum karbonatın akışkan içindeki çözünürlüğü azalan sıcaklık ile artar. Bunun anlamı, akışkanın basıncı, karbondioksit çıkışı önleyecek basınçta tutulursa kalsiyum karbonat çökmesi önlenebilir. Şekil 2'de karbondioksitin kısmi basıncı ile CaCO₃'ün çözünürlüğü arasında ilişki gösterilmiştir. CO₂'in basıncı arttıkça CaCO₃'ün çözünürlüğü de artmaktadır.



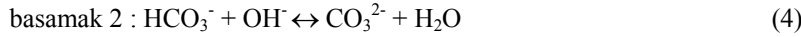
Şekil 2. 100 °C deki CaCO₃-CO₂-H₂O içinde basıncın fonksiyonu olarak CaCO₃ çözünürlüğü (Patzay vd.,1998)

Kalsiyum karbonat polimorfik bir mineral olup, yaygın bulunan üç polimorfu kalsit, aragonit ve vateritdir. Sulu bikarbonat-karbonat çözeltilerinde CO₂'in hidrasyonu ve dehidrasyonu paralel iki mekanizma ile yürür.

1. reaksiyon mekanizması (asidik mekanizma)



2. reaksiyon mekanizması (alkali mekanizma)



Toplam reaksiyon sulu bikarbonat-karbonat çözeltilerinden CO₂ desorbe olduğunda oluşur [Al-Rawajfeh vd., 2005]



2.1. Kabuklaşma ve Korozyonun Oluşumunun Langelier ve Ryznar İndexleri Kullanılarak Hesaplanması

Ryznar ve Langelier Indexleri bir suyun korozif veya kabuklaşma eğilimli olup olmadığını gösteren niceliklerdir. Aşağıdaki formüllerden hesaplanırlar (Bryne, 1995; WQA, 1993;www.edstrom.com; Stojiljkovic vd., 2006)

$$\text{Langelier Doygunluk Indexi (LSI)} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (6)$$

pH: akışkanın ölçülen pH'ı

pH_s : CaCO₃ ile doyum pH'ı

pHs değişik nomogramlar kullanılarak hesaplanabilir (Ashrae 1995, Carrier 1965) veya aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir :

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (\text{www.edstrom.com})$$

Bu eşitlikte

$$A = (\log(\text{TDS}) - 1) / 10 \quad \text{TDS ppm olarak}$$
$$B = (-13,12 \log(^{\circ}\text{C} + 273)) + 34,55 \quad \text{sıcaklık } ^{\circ}\text{C olarak}$$
$$C = (\log(\text{Kalsiyum sertliği})) - 0,4 \quad \text{kalsiyum sertliği ppm olarak}$$
$$D = \log(M \text{ alkalite}) \quad \text{M alkalite ppm olarak CaCO}_3$$

cinsinden

$$\text{Ryznar Index} : 2pH_s - pH \quad (7)$$

Langelier ve Ryznar Indexleri su işleme endüstrisinde su kaynağının doğasını tahmin etmek için genellikle kullanılır. Langelier Doygunluk indeksinin değerlendirilmesi Çizelge 1'de ve Ryznar kararlılık indeksinin değerlendirilmesi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Langelier Doygunluk İndeksinin değerlendirilmesi (Carrier, 1965)

LSI İndeks değeri	Akışkanın eğilimi
+ 2.0	Kabuk oluşumu ama korozif değil
+0.5	Hafif kabuk oluşumu ve korozif
=0.0	Dengede ama çukur(pitting) korozyonu mümkün
< -0.5	Hafif korozif ama kabuk oluşumu yok
< -2.0	Ciddi korozyon

Çizelge 2. Ryznar Kararlılık İndeksinin değerlendirilmesi (Carrier, 1965)

RSI İndeks değeri	Akışkanın eğilimi
< 4.0	Aşırı kabuklaşma
4.0-5.0	Ağır kabuk oluşumu
5.0-6.0	Hafif kabuk oluşumu
6.0-7.0	Küçük kabuk veya korozyon oluşumu
7.0-7.5	Ciddi korozyon
7.5-9.0	Ağır korozyon oluşumu
>9.0	Korozyon tolere edilemez

RSI ve LSI hesaplanarak bir akışkanın korozyon ve kabuk oluşturma eğilimi önceden tahmin edilebilir. Her iki yöntemde CaCO₃'ün doyumunu esas alır.

3. SU SERTLİĞİ

Suyun içerdiği çözülmüş kalsiyum ve magnezyum tuzları, suların sertliğini belirler. Suların sertliği, uygulamada yaygın olarak içerdikleri sertlik veren maddelerin CaCO₃ cinsinden miktarı ile (yani mg/L CaCO₃ olarak) belirlenir. Sertlik ikiye ayrılır

- Geçici sertlik (alkali sertliği)
- Kalıcı sertlik

3.1. Geçici Sertlik

Suyun içerdiği kalsiyum ve magnezyum bikarbonat tuzlarının miktarını belirler. Su ısıtıldığı zaman geçici sertlik veren maddeler karbondioksit vererek ayrışır. Kalsiyum karbonat ve magnezyum hidrosit çökerek ayrılır. (Bunların çözünürlükleri sıcaklıkla ters orantılıdır.) Bu şekilde ısıtılarak giderilen sertliğe geçici sertlik denir.

3.2. Kalıcı Sertlik

Magnezyum ve kalsiyum sülfat, klorür ve nitrat tuzlarından oluşan sertliğe ise kalıcı sertlik denir. Kalıcı sertlik veren maddeler ısı ile ayrışmaz. Bu tuzlar nötr olup, alkalite oluşturmaz ve ısı aktarım yüzeylerinde sert birikinti oluştururlar.

Geçici sertlik ile kalıcı sertliğin toplamına, **toplam sertlik (ya da sertlik bütünü)** denir. Sertlik magnezyum ve kalsiyum tuzlarından oluştuğundan bazen magnezyum ve kalsiyum sertliği diye de ikiye ayrılarak tanımlanabilirler. Yeraltı sularından çözünen kaya ve minerallerdeki Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları, suyun sert olmasına neden olur. Suyun sertliği, sertlik dereceleri olarak ifade edilir. En yaygın kullanılan Fransız, İngiliz ve Alman sertlik dereceleri vardır. Ülkemizde Fransız sertlik derecesi kullanılmaktadır (Çataltaş, 1985).

Çizelge 3. Sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması
(<http://www.kazancionline.com/>,<http://www.mayerkimya.com/endustriyel.htm>,<http://www.cevrettek.com/>,<http://www.coskunaritma.com/anatur.asp>,
<http://www.detayaritma.com/>)

Suyun sertliği	Alman	Fransız	İngiliz
Çok yumuşak	0-4	0-7.2	0-5
Yumuşak	5-8	7.3-14.2	6-10
Orta sert	9-12	14.3-21.5	11-15
Oldukça sert	13-18	21.6-32.5	16-22.5
Sert	19-30	32.6-54.0	22.5-37.5
Çok sert	30'dan fazla	54'den fazla	37.5'tan fazla

1 Fransız SD=0,56 Alman SD=0,7 İngiliz SD

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Su Analizleri

Korozyon olayı ve kabuklaşmanın incelenmesi için jeotermal kaynak su örneği ve şehir içi geri dönüş hatlarından su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin pH, gerilim değerleri

WTW pH 330i/SET pH metre ile, iletkenlik, TDS ve tuzluluk değerleri WTW cond 330i/SET kondüktometre ile ölçülmüştür.

a) **Toplam sertlik** deneyleri TS 266'ya göre yapılmıştır. Buna göre 10 ml jeotermal su erlene alınır üzerine 0,2 ml $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ tampon çözeltisi, spatül ucu ile çok az eriochromo black T indikatörü ilave edilerek 0,01 M EDTA çözeltisi ile renk şarap kırmızısından maviye dönene kadar titre edilir. Toplam sertlik aşağıdaki formülden bulunur;

$$\text{Toplamsertlik(FSD)} = \frac{V_{\text{EDTA}}(\text{ml}) \times M_{\text{EDTA}}(\text{mol/L}) \times MA_{\text{CaCO}_3}(\text{g/mol})}{V_{\text{örnek}}(\text{ml}) \times 10} \times 1000 \quad (8)$$

V_{EDTA} : Harcanan 0,01 M EDTA çözeltisi
 M_{EDTA} : 0,01 M EDTA çözeltisi molaritesi
 MA_{CaCO_3} : CaCO_3 'ün mol kütlesi
 $V_{\text{örnek}}$: Alınan jeotermal su miktarı ml olarak

b) **Geçici sertlik**: 10 ml jeotermal su erlene alınır. 2 damla metil oranj indikatörü damlatılır. 0,02 N H_2SO_4 ile renk sarıdan portakal rengine dönünceye kadar titre edilir. Aşağıdaki formüllerden metil oranj alkanitesi ve geçici sertlik bulunur.

$$\text{Metiloranjalkanitesi} : V_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{ml}) \times 20(\text{mg/L}) \quad (9)$$

$$\text{Geçice sertlik(FSD)} = \frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{ml}) \times 20(\text{mg/L})}{V_{\text{örnek}}} \quad (10)$$

$\text{V}_{\text{H}_2\text{SO}_4}$: Harcanan 0,02 N H_2SO_4 miktarı ml olarak
20 : çevirme faktörü
 $V_{\text{örnek}}$: Alınan jeotermal su miktarı ml olarak

c) **Ca^{2+} sertliği**: Aşağıdaki gibi bulunur.
Saf su için harcanan 0,01 M EDTA (ml): a
0,01 N CaCO_3 için harcanan 0,01 M EDTA (ml) : b
Jeotermal su örneği için harcanan 0,01 M EDTA (ml) : c

$$\text{Ca}^{2+} \text{ sertliği} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \text{ olarak} \right) = \left[\frac{(c - a)}{(b - a)} \right] \times 100 \quad (11)$$

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen pH, TDS, Ca^{2+} sertliği, alkali sertliği ve toplam sertlik, pH ölçüm değerleri ve hesaplanan pHs değerleri Çizelge 4'de, Langelier doygunluk indeksi ve Rynar Kararlılık Index değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. Jeotermal akışkan içeren örneklerin TDS, Ca²⁺ sertliği, alkali sertliği ve toplam sertlik pH ölçüm değerleri ve hesaplanan pHs değerleri

	TDS (ppm)	Ca ²⁺ sertliği (ppm)	Alkali sertlik (ppm)	Toplam Sertlik (FSD)	pH	pH _s
AF21	798	633	17.0	55	8.08	7.950
AF16	805	633	15.4	46	7.90	7.990
AF18	802	717	21.0	64	7.50	7.820
AF11	798	717	31.6	76	8.00	7.616
Reinjeksiyon	807	750	16.0	43	7.80	7.911
Toplama havuzu	802	550	16.0	50	7.90	8.040
1.bölge dönüş	803	633	19.4	50	7.80	7.890
2.bölge dönüş	805	633	20.0	55	8.00	7.881
3.bölge dönüş	805	633	21.0	60	7.90	7.861
4.bölge dönüş	880	550	23.0	70	8.10	7.884
5.bölge dönüş	803	717	18.0	70	7.90	7.860
6.bölge dönüş	547	217	11.0	45	7.80	8.584

Ca²⁺ ve Mg²⁺ sularında sertlik oluştururlar. Tek başına sertlik herhangi bir problem yaratmaz. Bir kalsiyum çözeltisi pH 3’de sertliğe neden olur ama tortu oluşturmaz. Ca²⁺, Mg²⁺ ve alkalite (CO₂) kombinasyonunun varlığı su içinde sertliğe neden olur ve kabuk oluşumuna sebep olabilir (WQA,1993). Isı transfer yüzeylerinde kabuk oluşumu ısı transferini azaltır. Kabuk borunun içinde ise akışkan akışını sınırlar. Jeotermal suda CaCO₃ ve Mg(OH)₂ oluşma hızı sıcaklık, pH, bikarbonat iyonlarının derişimi, CO₂’in serbest bırakılma hızı, Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarının derişimi ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarına bağlıdır. TDS su kaynağının kalitesinin genel bir göstergesidir. TDS arttıkça suyun kalitesi bozulur (www.edstrom.com).

Tüm örnekler için LSI değerleri incelendiğinde pH=7.8 ve 7.9 olduğunda indeks değerleri (Çizelge 1, Şekil 4) jeotermal akışkanın hafif korozif olduğunu ve kabuk oluşmadığını göstermektedir. Bu bölgeler AF16, AF18 kuyusu, reinjeksiyon, toplama havuzu ve 1. bölge dönüşleridir. AF21 kuyusunda ise pH 8.08 (Çizelge 4) ve LSI +0,130 bu değerler jeotermal akışkanın dengede olduğunu ama pitting (çukur) korozyonunun mümkün olabileceğini göstermektedir. 6. bölge dönüşünde ise LSI değerleri ciddi korozyon olduğunu göstermektedir. TDS değerlerinin (Çizelge 4) LSI değerlerinin hesaplanmasında pek etkili olmadığı görülmektedir. Sadece su kaçaklarının olmadığı 6. bölgede TDS değerinin en küçük olması ciddi korozyona neden olmuştur. Ca²⁺ sertliği (Çizelge 4) 6. bölgede çok az . 6. bölgede sadece korozyon olmakta kabuk oluşmamaktadır. Ca²⁺ sertliği toplama havuzunda 550 ppm LSI değerlerine göre sistem dengede ama çukur korozyonu mümkün. Alkali sertlik (Çizelge 4) AF11’de en yüksek değerde olmakla birlikte LSI değeri sistemin dengede olduğunu ama pitting korozyonu olabileceğini tahmin etmektedir.

Çizelge 5. Jeotermal akışkan içeren örneklerin hesaplanan LSI-RSI değerleri ve yorumları.

	LSI index	RSI index	Yorum LSI	Yorum RSI
AF21	+0.130	7.820	kabuk oluşumu ama korozif değil	Ağır korozyon
AF16	-0.091	8.082	Hafif korozif ama kabuk oluşumu yok	Ağır korozyon
AF18	-0.320	8.140	Hafif korozif ama kabuk oluşumu yok	Ağır korozyon
AF11	+0.384	7.232	Dengede ama çukur(pitting) korozyonu mümkün	Ciddi korozyon
Reinjeksiyon	-0.111	8.022	Hafif korozif ama kabuk oluşumu yok	Ağır korozyon
Toplama havuzu	-0.140	8.180	Hafif korozif ama kabuk oluşumu yok	Ağır korozyon
1.bölge dönüş	-0.090	7.980	Hafif korozif ama kabuk oluşumu yok	Ağır korozyon
2.bölge dönüş	+0.119	7.762	Dengede ama çukur(pitting) korozyonu mümkün	Ağır korozyon
3.bölge dönüş	+0.039	7.822	Dengede ama çukur(pitting) korozyonu mümkün	Ağır korozyon
4.bölge dönüş	+0.216	7.668	Dengede ama çukur(pitting) korozyonu mümkün	Ağır korozyon
5.bölge dönüş	+0.040	7.820	Dengede ama çukur(pitting) korozyonu mümkün	Ağır korozyon
6.bölge dönüş	-0.784	9.368	Ciddi korozyon	Korozyon tolere edilemez

RSI değerleri (Çizelge 2, Şekil 5) 7 ile 9,368 arasında değişmektedir. AF11 akışkanında pH=8 ve alkali sertliği en fazla ciddi korozyon olmaktadır. 6. bölgede ise RSI değeri 9,368 korozyon tolere edilemez. Alkali sertliği 6. bölgede en az. Kabuk oluşumu pH=8'den sonra oluyor. Diğer bölgelerde ise ağır korozyon olmaktadır.

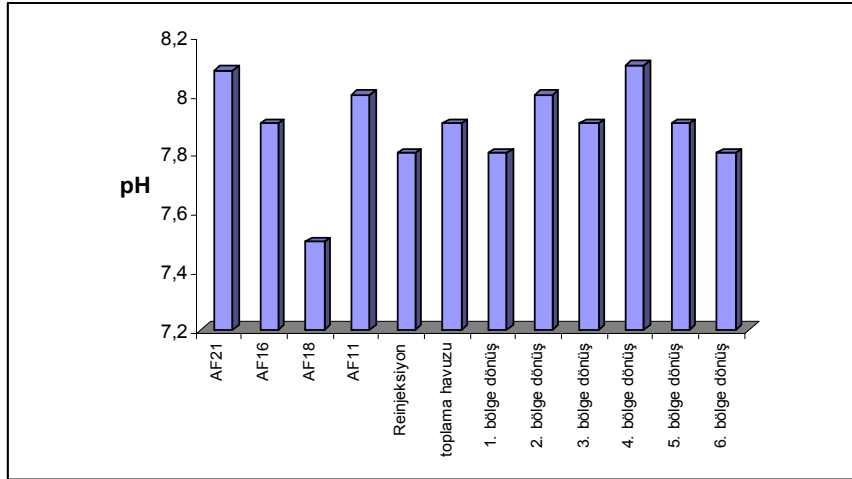
AFJET jeotermal ısıtma sisteminde genel olarak bütün kuyulardan gelen sular toplama havuzunda toplanıp inhibitör ilave edilmektedir. İçinde çözünmüş olarak bulunan gazlar (O₂, CO₂, H₂S, NH₃ vs.) uzaklaştırıldıktan sonra jeotermal akışkan taşınmaktadır. Şehirde ısıtma amaçlı kullanılan jeotermal akışkan tekrar gelerek reinjeksiyon ile ısıtma sistemine tekrar basılmaktadır. Bunun nedeni kısmen de olsa uzaklaşan CO₂ sisteme tekrar katarak pH'ın artmasına engel olmak ve kabuk oluşumu azaltmaktır.

Tüm sistemde toplam sertlik değerleri (Çizelge 4, çizelge 3) incelendiğinde suların hepsinin sert su olduğu hatta AF21, AF18, AF11, 2., 3., 4.ve 5. bölgelerin geri dönüş sularında çok sert olduğu görülmektedir. FSD değerlerine göre sertlikleri 32,6-54 arası olan sular sert sular (Çizelge 3) 54 den büyük olan sular çok sert sular olarak tanımlanmaktadır. Suların sertliği çok yüksek olduğu için kabuk oluşumunda olmaktadır. Geçici sertlikleri çok düşük , kalıcı sertlikleri çok fazla. Kalıcı sertlik suda çözünmüş olan Ca²⁺ ve Mg²⁺ tuzlarının klorür ve sülfat iyonlarından geçici sertlik ile HCO₃⁻ tuzlarından kaynaklanmaktadır.

Toplama havuzu ve reinjeksiyon kuyusunun değerlerini (Çizelge 4) karşılaştırılacak olursa ; pH değerleri arasında 0.1'lik bir fark var. TDS miktarları da hemen hemen aynı ama toplama havuzunda Ca²⁺ sertliği 550 ppm iken reinjeksiyonda 750 ppm olarak

bulunmuştur. Buda sistemde jeotermal akışkanın boruyu oluşturan bileşenleri çözdüğünü veya önceden oluşan kabukları çözdüğünü göstermektedir. Toplama havuzunda CO₂ gazının uzaklaşması da kabuk oluşumunu desteklemiştir. Toplam sertlik toplama havuzunda 50 FSD iken reinjeksiyonda toplam sertlik azalmış ama Ca²⁺ sertliği artmış. Buda sistemde CaCO₃ kabuklaşması olduğunu göstermektedir.

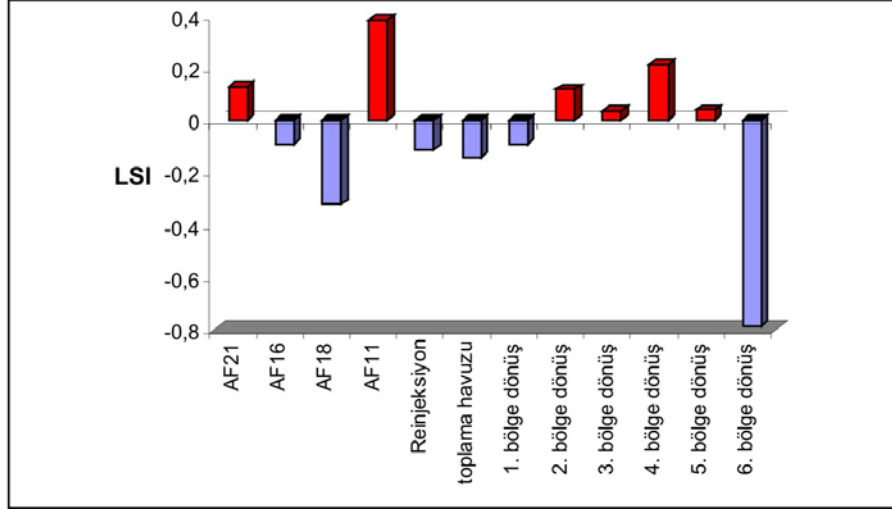
Gerçek pH değeri doygunluk pHs değerinden küçük ise LSI negatif olur ve su çok sınırlı tortu potansiyelindedir. Gerçek pH, pHs den büyük ise LSI pozitifdir su CaCO₃ ile doygun ve kabuk oluşumu eğilimindedir. Artan pozitif LSI değerleri kabuk oluşum potansiyelini artırır. LSI sadece suyun yürütücü kuvvetini gösterir. Ca'un daha yüksek derişimi, TDS ve alkalinite kabuk oluşum eğilimini artırır. RSI ve LSI değerleri (Çizelge 1,2; Şekil 4,5,6) tüm sistem için karşılaştırıldığında iki değer de korozyon olmaktadır. RSI'de tüm sistemde genelde ağır korozyon olduğunu göstermektedir. Şehir içi dağıtım bölge suları karşılaştırıldığında 2,3,4,5. bölgelerde LSI değerleri (Çizelge1, Şekil 4) sistemin dengede olduğunu ama pitting korozyonu olabileceğini göstermektedir. 1. bölgede ise hafif korozyon oluşumu var ama kabuk olmamaktadır. 6. bölgede ise RSI ve LSI değerleri (Çizelge 1,2; Şekil 4,5,6) ciddi ve ağır korozyon olduğunu göstermektedir. Şekil 3 bölgelere göre jeotermal akışkanların pH değişimleri görülmektedir.



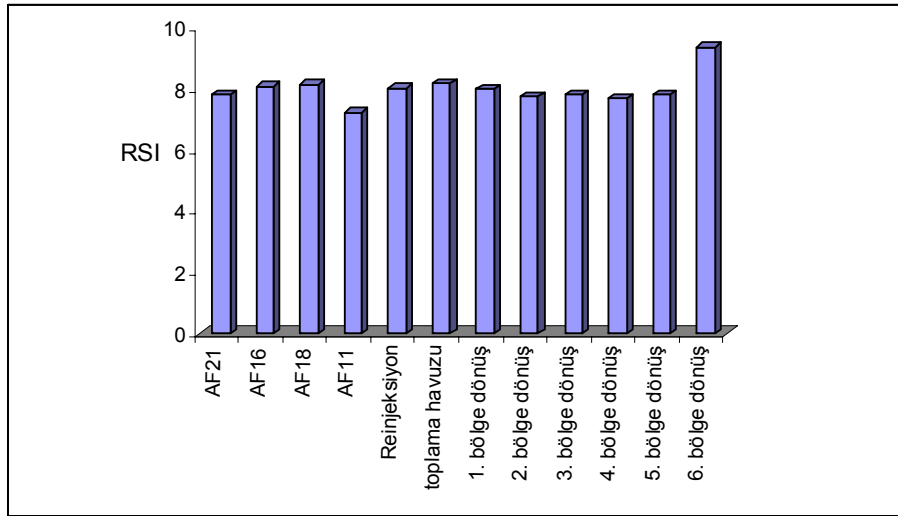
Şekil 3. Bölgelere göre jeotermal akışkanların pH değişimleri

Şekil 4 ve 5'de sırayla bölgelere göre Langelier ve Ryznar indexlerinin bölgelere göre değişimi verilmektedir.

RSI ve LSI değerleri (Çizelge 1,2; Şekil 4,5,6) korozyon ve kabuk oluşumu hakkında bilgi vermektedir. Daha çok kabuk oluşumunun doğruluğu hakkında önemli bilgiler verirler. pHs değerleri 7,616 ile 8,584 arasında değişmektedir. Sadece AF21 kuyusunda hafif kabuk oluşumu olmakta diğer sistemlerde korozyon olmaktadır. Kabuk oluşumu için pHs CaCO₃'ın doygunluk değerine yakın olursa her an kabuk oluşabilir değeridir.

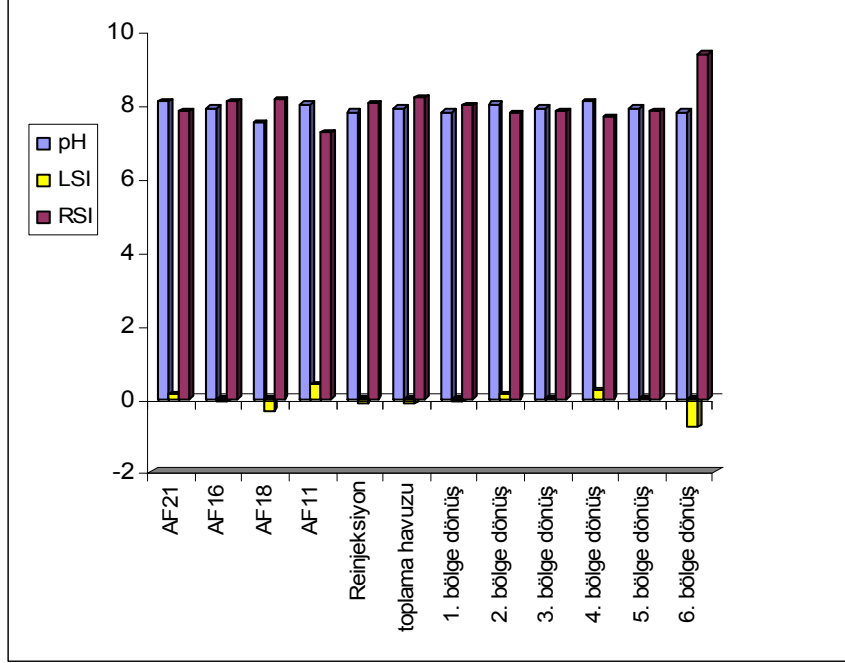


Şekil 4. Bölgelere göre Langelier indexlerinin değişimi



Şekil 5. Bölgelere göre Ryznar indexlerinin değişimi

Sistemde kullanılan akışkan daha çok korozif özelliktedir. Kabuk oluşumu pek az olmaktadır. Afjet jeotermal ısıtma sisteminde kullanılan jeotermal akışkan kabuk oluşumundan ziyade korozif özelliği ile değerlendirilmelidir. Şekil 6'da ise bölgelere göre pH, Langelier index ve Ryznar İndexlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6. Bölgelere göre pH, Langelier index ve Ryznar İndexlerinin değişimi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Hesaplanan LSI ve RSI değerlerine göre jeotermal akışkan korozif özellik taşımaktadır.
2. Kabuk oluşumu sınırdadır ve ya çok az olmaktadır.
3. Artan TDS, alkalite ve sertlik kabul oluşumunu desteklemektedir.

Kalsiyum karbonat kabuklaşması alttaki işlemlerle engellenebilir:

- a) Sıvıyı basınç altında tutarak gaz kaçışlarını engellenebilir,
- b) pH ve CO₂ nin kısmi basınçlarını kontrol edilerek karbonat/bikarbonat dengesini kontrol edilebilir,
- c) Kabuklaşmayı engelleyen kimyasallar (inhibitörler) ilave edilebilir,
- d) Koruyucu kaplamalar kullanılabilir,
- e) Maddi olanaklar çerçevesinde elyaf desteklenmiş fiberglas plastik (FRP) boruların kullanımı hem maliyet hem de işletme kolaylığı ve korozyona dayanıklılık açısından tercih edilebilir. f) Bunlara ek olarak boru hattı korozyona karşı katodik koruma uygulaması ile korunmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmada AFJET Tesislerindeki çalışmalar sırasında bilgi ve deneyimlerini aktaran ve destekleyen AFJET yetkililerine katkılarından dolayı teşekkür eder.

7.KAYNAKLAR

- Al-Rawajfeh, A. E., Gladeb, H., Ulrich, J., 2005. Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO₂ release, *Desalination*, 182, 209–219
- Ashrae, A., 1995, Chapter 44-Corrosion control and Water Treatment, handbook of HVAC Applications, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, G.A.
- Byrne, W., 1995, Reverse Osmosis, A practical guide for Industrial user, Tall oaks, Publishing Inc. Littleton CO, p:111-114,
- Banaś, J., Lelek-Borkowska, U., Mazurkiewicz, B. ve Solarski, W., 2007. “Effect of CO₂ and H₂S on the composition and stability of passive film on iron alloys in geothermal water”, *Electrochimica Acta*, 52(18), 5704-5714
- Carrier Air Conditioning Company, 1965. Handbook of Air Conditioning System Design, McGraw-Hill Books, New York
- Corsi, R., 1986, Scaling and corrosion in geothermal equipment; problems and preventive measures, *Geothermics*, 15(5-6), 839-856
- Çataltaş, İ., 1985. Kimyasal Proses Endüstrileri 1, İnkılap Kitabevi, İstanbul, 500 sayfa
- Gendenjamts, OE., 2005 The United Nations University, Geothermal Training Programme, ‘Interpretation Of Chemical Composition Of Geothermal Fluids From Árskógsströnd, Dalvík, And Hrísey, Niceland And In The Khangai Area, Mongolia’, Reports Number 10, Reykjavik, Iceland
- Patzay, G., Stahl, G., Karman, F.H. And Kalman, E., 1998. Modeling of scale formation and corrosion from geothermal water, *Electrochim. Acta*, 43, p.137-147
- Patzay, G., Karman, F.H., Rota, G., 2003. Preliminary investigations of scaling and corrosion in high enthalpy geothermal wells in Hungary, *Geothermics*, 32, 627-638
- Richter, S., Hilbert, L.R., ve Thorarinsdottir, R.I., 2006. “On-line corrosion monitoring in geothermal district heating systems. I. General corrosion rates”, *Corrosion Science*, 48(7), 1770-1778
- Stojiljkovic, D.T., Stojiljkovic, S.T., Mitic, N.C., Pejic, D.M. and Petrovic, M.D., 2006. Pilot plant for exploitation of geothermal waters, *Thermal Science*, 10(4), 195-203
TS 266
- (<http://www.kazancionline.com/>)
- <http://www.mayerkimya.com/endustriyel.htm>
- <http://www.cevrotek.com/>
- <http://www.coskunaritma.com/anatur.asp>
- <http://www.detayaritma.com/>)
- <http://www.edstrom.com>

POLONYA'DAKİ JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI

GEOHERMAL ENERGY SOURCES IN POLAND

PIEŃKOWSKI, C. A.

Poland

ÖZET

Bu çalışma yenilenebilir enerji kaynaklarının popülerliğinin artışıdaki faktörleri kapsamaktadır. Polonya'da üretilen toplam enerji içerisinde yenilenebilir enerjinin, bilhassa jeotermal su yataklarının, oranı hala düşüktür. Bu çalışmada, Polonya'daki altı jeotermal enerji üretim santrallerini kapsayan jeotermal jeneratörün teknolojik planı ve bunların uygulama riskleri anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal güç, ısıtma sistemleri ve aktiviteleri.

ABSTRACT

The study presents the factors in increasing popularity of renewable energy sources. It has been noted that the contribution of renewables - including thermal water deposits - in the overall energy generation in Poland, is still small. Basing on one of the six geothermal heat plants in Poland, the technological plan of a geothermal generator, and its operational risks, have been presented in the paper.

Key Words: Renewable energy sources, geothermal power, heating systems and facilities.

1. INTRODUCTION

In Poland, renewable energy sources like solar power, hydro power, geothermal power, wind power and biomass amount to 3% of all energy used. Despite the fact that Poland has advantageous geothermal properties, the remaining 97% of energy comes from traditional fossil fuels. Geothermal power can be used to generate electricity and heat. It is possible to exploit geothermal resources in 80% of the country. The manufacturing cost of geothermal power is 0,5 - 5 USA cents for 1kWh of thermal power, 2 - 5 USA cents for 1kWh of electric power, which makes it the cheapest of all renewables. The investment cost of installations and facilities is less than \$1000 for 1KW of power.

2. THE MOTIVATION FOR INCREASING POPULARITY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES.

Before the admission to the European Union in 2004, The Government of the Republic

of Poland pledged to increase the consumption of clean energy to 7.5% of all energy consumed by 2010. In the beginning of 2007, clean energy supplied only 2,5 - 3,5% of all power used. The Directive of the EU of 1993 on CO₂ emission. The steps taken in the framework of the directive were judged to be insufficient. Thus The European Parliament drew up the next directive (2002/91/EC, 2002). Both directives define requirements in respect to raised standards of energy utilization in buildings in the European Union. Residential and commercial buildings consume more than 40% of all energy used in the EU. Hence the European Community's operational plan is executed in two directions:

- curbing the overall use of energy;
- increasing the employment of renewable energy sources.

The Sejm of the Republic of Poland aims to accelerate the development of power engineering that uses renewables. Appropriate legislation is being drawn up. Currently, legislators are gathering experts' opinions. In one of the drafts of the government's "The strategy for developing power engineering based on renewables by 2025" directive, it has been stated that by 2010, the use of renewable energy in Poland should amount to at least 12,5%. The plan is in accordance with the Directive no. 2001/77/WE, (2001/77/WE, 2001) - on supporting generation of electricity from renewable energy sources. The latest directives of the European Council setting the limit up to 20% of clean energy employment by 2020 result in stricter requirements that have to be met by the member states.

3. THE USE OF GEOTHERMAL WATERS FOR ENERGY IN POLAND

It was only in the last decade that geothermal waters started to be used as an energy source in Poland. Up to the 1990s, warm thermal waters were used for recreation and medicinal baths.

Six geothermal generators were built and put into use between 1993 and 2004 (See Table 1). Several years of operation of the generators allows for evaluation of their performance. The evaluation presented later in this paper has been written basing on the example of the geothermal heat plant in Pырzyce in the North-West part of Poland.

4. OPERATIONAL RISKS OF GEOTHERMAL HEAT PLANTS

4.1 The technological plan of the geothermal heat plant in Pырzyce

The main generator, which has the thermal water intake of the maximum power at 13MW - with peak - demand gas boilers, is located in Pырzyce. The plant works together with two geothermal doublets (GT -1/2 and GT - 3/4) exploiting thermal water resources of the average container temperature of 60 - 65 C - located at the depth of 1500 - 1650m. The plan of the installation is presented in the Fig. 1.

Heat is absorbed from thermal waters in two heat exchangers. The first one's power capacity is 8,5 MW. The second, the heat absorption pumps exchanger, has the power capacity of 6,3 MW. The installation uses big - capacity heat pumps (8MW) powered by high - temperature boilers (16MW) with economizers (2MW). The plant is equipped

with low – temperature peak – demand water boilers with the combined power capacity of 20MW – with economizers’ power capacity of 2,4 MW.

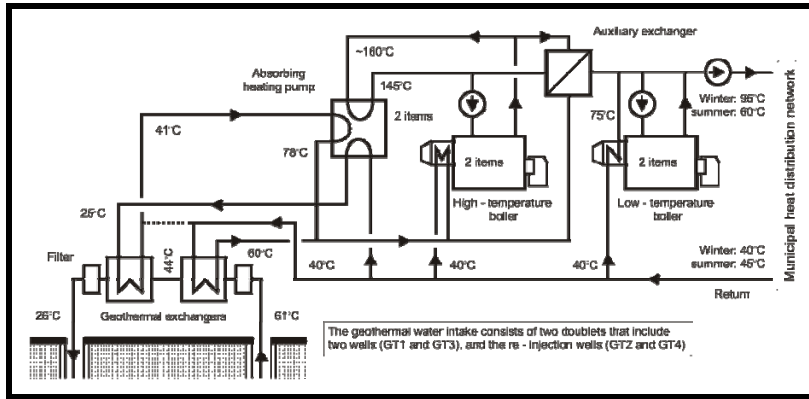


Fig. 1 The schematic diagram of the geothermal heat – energy plant in Pyrzyce.(Nowak and Stachel, 2005).

Table.1 Basic information about the geothermal heat plants in Poland.

Parameters	Localization	Bańska – B.Dunajec	Pyrzyce	Mszczanów	Uniejów	Bańska N; B.Dunajec	Słomniki
Opening date		1994	1996	1999	2001	2001	2002
Water temperature	C	86	61	40	67-70	76-80	17
Depth of deposit	M	2000-3000	1500-1650	1600-1700	2000	2500	300
Mineralization	g/l	3,0	120	0,5	6,8-8,8	3,0	
Production Capacity	Sq.m./h	120	2x170	60	68	550	260
Overall power	MWt	9	50	12	4,6	125	3,5

Hot water is delivered to recipients through the pipe – networks forming a low – temperature municipal heat distribution network. Temperature of circulating water varies from 60 C (summer) to 95 C (winter) – reaching the short – lasting maximum of 100 C. Heat recipients use heating systems coordinated with the municipal heat distribution network. Their work is based on plate heat exchangers powering central heating, and supplying warm running water. Every exchanger is equipped with a device regulating the temperature in the central heating system, and that of warm running water. Every system is equipped with a control device allowing for weather adjustment.

4.2 Operational risks of geothermal heat plants

Using modern heat distribution units, the heating network powers old central heating systems designed for high – temperature powering waters (95/70 C). The temperature of

reverse network water should be as low as possible. High temperature of reverse network water decreases efficiency of geothermal heat. One possible solution is to modernize existing heating systems by replacing high – temperature installations for those based on low – temperature powering waters. Because of the practical inconvenience, or even impossibility, of such actions, it is necessary to seek other solutions which would lower the temperature of reverse network waters. One option is to join high and low – temperature installations. Greater use of low – temperature heating increases the efficiency of using geothermal power in overall heat consumption.

In order to minimize costs of operation of a geothermal heat plant, it is advisable to put geothermal power into complex use – best in the cascade system of heat distribution. It is important to modernize existing heating systems and facilities while developing a geothermal heat plant.

5. CONCLUSIONS

The issues of using thermal waters for energy, and operational risks of geothermal heat plants presented herein on the example of the plant in Pyrzyce can be referred to other generators powered by thermal waters in Poland.

Any solutions for employing geothermal power are determined by local conditions.

The amount of heat absorbed in geothermal exchangers rise together with the increase of temperature of thermal water absorbed, and the decrease of temperature of reverse network water.

It is advisable to adapt heating systems for low – temperature heating – especially when the temperature of thermal water is relatively low.

It is very efficient when a geothermal heat plant has separate installations for low and high – temperature heating.

REFERENCES

- Sokołowski J., Kozłowski R.H. and Zimny J., (2005). Poland in the XXI c. – the new vision and strategy of development, The foundation of family support.
- UE93/76/EEC, (1993). The directive UE 93/76/EEC of 13.09.1993 on reducing CO2 emission through increasing energy management efficiency.
- 2002/91/EC, (2002). The directive of the European Council 2002/91/EC of 16.12.2002 on raised standards of energy utilization in buildings.
- 2001/77/WE, (2001). The directive of the European Community 2001/77/WE of 2001 on supporting the employment of renewable energy sources for generating electricity.
- The summit of The European Council on 8 – 9 March, hosted by Germany.
- Nowak W., Stachel A.A.,(2005). The ways of development of heating installations powered by geothermal heat plants, XI International Conference AJR Conditioning Protection and District Heating, Wrocław – Szklarska Poręba.
- Nowak W, Stachel A., (2004). The possibility of using some renewable energy sources in Poland. The Academic Publishing Office of the Szczecin Polytechnic, Szczecin.

GÖNEN TERMAL SULARININ KULLANIM ALANLARININ VE BÖLGEYE KATKILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF USE FIELDS OF THERMAL WATER SUPPLIES IN GONEN AND CONTRIBUTIONS TO THE REGION

ASLAN, A.¹, YÜKSEL, B.², ASIMGİL, B.³, AKYOL, T.⁴

¹Balıkesir Üniversitesi, Gönen Meslek Yüksekokulu, Gönen
asiye_aslan@yahoo.com

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
byuksel@balikesir.edu.tr

³Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Balıkesir
basimgil@balikesir.edu.tr

⁴Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
akyol@balikesir.edu.tr

ÖZET

Jeotermal enerji dünyada ve ülkemizde önemi gittikçe artan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerjinin kullanım alanları genel olarak iki gruba ayrılabilir: yüksek sıcaklıklı kaynaklar-elektrik üretimi, orta ve düşük sıcaklıklı kaynaklar direkt kullanım uygulamaları. Büyük jeotermal kaynak kapasitelerine sahip ülkemizde, özellikle son yıllarda, gerek doğrudan kullanım gerekse elektrik üretimi konularında ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Bunun sonucu, özellikle doğrudan kullanım uygulamalarında, Türkiye dünyadaki ilk beş ülke içerisinde yer almaktadır. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları; bireysel hacim ısıtmasından, bölge ısıtmaya, sera ısıtmasından, endüstriyel kullanıma, modern balneoloji ve fizik tedavi uygulamalarına kadar uzanmaktadır.

Gönen jeotermal sahası kaplıca tedavisi açısından kullanılan en eski termal alanlardan biridir. Günümüz itibarıyla Gönen'deki termal sular; 2540 konutun ve 795 yatak kapasiteli toplam beş termal otelin ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamakta, toplam 7 termal havuzun su ihtiyacını sağlamakta, ayrıca 75 hasta kapasiteli fizik tedavi ünitesinin termal tedavi su gereksinimini ve 40 adet tabakhane tesisinin proses suyunu sağlamaktadır. Yapılan çalışma ile, Gönen termal sularının kullanım alanları ve bölgeye katkıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Doğrudan kullanım

ABSTRACT

Geothermal energy is a renewable energy resource whose importance is increasing gradually in the world and in our country. The use of geothermal resources can be divided into two general categories: high temperature electric power generation, intermediate and low temperature direct use applications. In our country, which has a great geothermal energy capacity, there are significant investments both in the fields of direct use and power generation, recently. As a result, particularly in the fields of direct use, Turkey takes place in the first five countries in the world. The direct use applications of geothermal energy varies from individual heating to district heating, greenhouse heating, industrial use, modern balneology and physiotherapy.

Gonen geothermal area is one of the earliest thermal areas which has been being used for many years in terms of thermal therapy. Today, the thermal resources in Gonen provide heating and hot water requirements for 2540 residences and a total of five hotels with the capacity of 795 beds, providing thermal resources to seven thermal pools, supply thermal water demand to a thermal therapy unit with the capacity of 75 beds and also process water to 40 tanneries. With this study, the application fields of thermal water supplies in Gonen and their contributions to the region were investigated.

Key Words: Geothermal energy, Direct use

1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınma ve büyüme hızına bağlı olarak enerji ihtiyaçları da sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde enerji tüketimi gelişmişlik düzeyi ile eş tutulmaktadır. Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %90'ını fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğal gazdan karşılanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenmesi ve yakıldığında havaya verdiği yüksek orandaki zararlı emisyonların kirlilik yaratması, alternatif enerji kaynaklarının devreye girmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle son yıllarda fosil yakıtların yerini alabilecek alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve bunlardan yararlanılması konusundaki çalışmalar hızlanmıştır (Arslan vd., 2001).

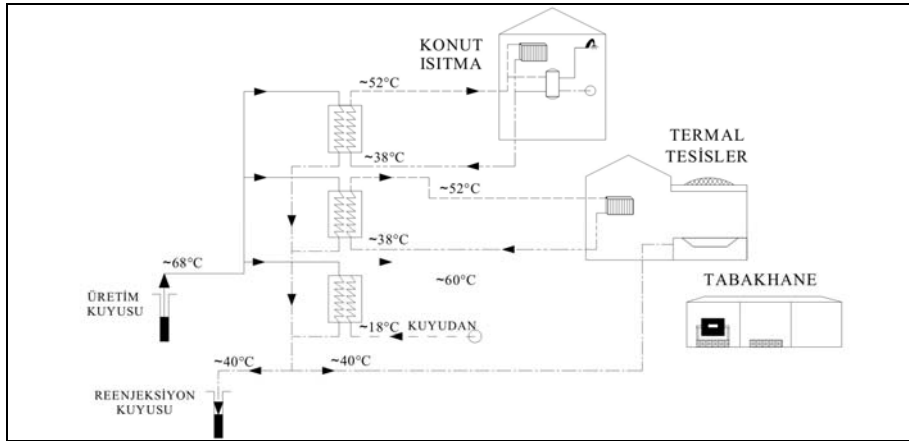
Jeotermal enerji, hem düşük karbondioksit emisyon oranı ile hava kirliliği yaratmaması ve hem de yenilenebilir olması nedeniyle önemli bir alternatif kaynaktır. Güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında jeotermal enerji kesintisiz olmasından dolayı avantajlı bir konuma sahiptir (Arslan vd., 2001).

Türkiye jeotermal enerji potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Özellikle doğrudan kullanım uygulamalarında Avrupa'da ilk, dünya'da ise beşinci ülke konumundadır. Türkiye'nin jeotermal ısıtma kapasitesi olan 827 MWt'in 635 MWt'lik kısmını şehir-konut, bina ısıtması ile termal tesis ısıtması, 192 MWt'lik bölümünü ise sera ısıtması oluşturmaktadır. Ayrıca, 402 MWt kapasitede termal turizm (kaplıca) amaçlı kullanılmaktadır. Dolayısıyla toplam doğrudan kullanım miktarı 1229 MWt'dir. Elektrik üretimine yönelik ise 20.4 MWe'lik kapasite mevcuttur (Yüksel, 2007).

Türkiye'deki jeotermal kaynakların büyük bir bölümü Ege, İç Anadolu ve Marmara Bölgesinde yer almaktadır (Anon, 2008 a). Gonen, Güney Marmara Bölgesi içinde Balıkesir İline bağlı yaklaşık 41000 nüfusa sahip bir ilçedir.

2. GÖNEN TERMAL SU KAYNAKLARININ KULLANIM ALANLARI

Gönen'deki jeotermal kaynakların kullanım tarihi çok eskilere dayanır. Kaplıca Mısırlılar, Romalılar ve Bizanslılar zamanında işletilmiştir. Yörede yapılan kazılarda çıkarılan termalizmle ilgili tarihi eserler Gönen Açık Hava Müzesinde bulunmaktadır. Gönen jeotermal suların kullanılması ve işletilmesi %86 Gönen belediyesinin pay sahibi olduğu Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş.'ye aittir. Günümüz itibariyle jeotermal enerjinin kullanımı konut ısıtmacılığı, termal turizm amaçlı ve endüstriyel kullanım olmak üzere üç farklı alandır. Gönen ilçesinde 2540 konut eşdeğeri ısıtma ve sıcak su ihtiyacı jeotermal bölge ısıtma sistemi ile sağlanmaktadır. 795 yatak kapasitesi, 7 termal havuz ve 75 hasta kapasiteli fizik tedavi ünitesine sahip 4 otelden oluşan termal kompleksin ısıtma ve sıcak su ihtiyacı yine jeotermal enerji ile karşılanmaktadır. Buna ilaveten Gönen, Karşıyaka mahallesinde bulunan 40 adet tabakhane işletmesinin proses suyu jeotermal enerji ile temin edilmektedir. Sistemde gerekli ısıtma enerjisinin sağlanması ve oteller için kullanım amaçlı sıcak su elde edilmesi entegre olarak gerçekleşmektedir. Isıtımda, ısı eşanjörü kullanılarak termal suyun enerjisinden faydalanılmaktadır. Isısı alınan termal su otel banyo ve havuzlarına direkt olarak verilmekte, kullanımdan arta kalan kısım ise reenjeksiyon olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Gönen jeotermal enerji kullanım alanları

Gönen'de, 133-800 m derinliklerden termal suyu alan 17 kuyu mevcuttur. Sistemdeki 9 kuyu üretim, 3 kuyu reenjeksiyon amaçlı olarak kullanılmakta, geri kalanlar ise atıldır. Kuyu başı sıcaklıkları 53-94°C, debi değerleri ise 18-90 m³/h arasında değişmektedir. Kuyulardan elde edilen termal suyun eşanjöre giriş sıcaklığı ortalama 68°C, çıkış sıcaklığı ise 40°C'dir. 4 adet eşanjör konut ısıtımında, 2 adet eşanjör otel ısıtımında, 1 adet eşanjörde tabakhane sıcak su hattı için kullanılmaktadır.

2.1. Konut Isıtma

Ülkemizde doğrudan kullanım yönüyle jeotermal enerji yaygın olarak konut ısıtımında kullanılmaktadır. Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi Türkiye'nin ilk bölge ısıtma

sistemidir. Sistem ilk olarak 1987 yılında 600 konut eşdeğer ısıtma yapacak şekilde devreye alınmış, daha sonra sistem kapasitesi 1995 yılında 1600 konut eşdeğer ve günümüz itibarıyla 2540 konut eşdeğer ısıtma yapabilecek şekilde genişletilmiştir. Bu değerlerin 2397 adeti konut, 123 adeti işyeri, 8 adeti resmi daire, 5 adeti okul ve 7 adeti camii den oluşmaktadır.

2.2. Termal Turizm ve Sağlık Amaçlı Kullanım

Bilindiği gibi, jeotermal enerjinin ilk kullanım biçimi tedavi amaçlıdır. Antik çağlardan bu yana Anadolu'da kurulan tüm uygarlıklar doğal olarak yüzeye çıkan termal suların yararlanmışlardır. Günümüzde bu yararlanma biçimi turizm faaliyetleriyle birleşerek çok önemli bir sektör haline gelmiştir. Gönen Kaplıcası en eski ve en çağdaş kaplıca tedavi merkezlerinden birisidir. Termal su turistik tesislerde ve fizik tedavi ünitesinde sağlık amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Gönen termal suların temel balneolojik karakteri termal ve mineralli bir su olarak tanımlanmaktadır. Doğal sıcaklıkları 35°C'nin üzerinde (53-94°C) olduğundan termal ve toplam mineralizasyonları 1 g/L'nin üzerinde (1.5-2 g/L) olduğundan mineralli su niteliğindedir. Kimyasal sınıflandırmada ise, Gönen su kaynakları %20 milival'i aşan iyonlarına göre sodyum, sülfat, bikarbonat, klorürlü ve eşik değeri (1 mg/L) aşan florür düzeyi (4-6 mg/L) nedeniyle de florürlü "doğal şifalı su" niteliğindedir (Karagülle, 2001).

Gönen kaplıca kürünün hangi hastalıklarda yararlı olduğu ve olabileceği yönünde bilgi ve değerlendirmeler derlenerek hastalık grubunu içeren Çizelge 1'de verilmiştir (Karagülle, 2001).

Çizelge 1. Gönen kaplıca kürü hastalık grubu

Önerilen İndikasyonlar	Kanıtlanan İndikasyonlar
Romatizmal hastalıklar Kadın hastalıkları Sinir sistemi hastalıkları İdrar yolları hastalıkları Kalp Damar hastalıkları Sindirim sistemi hastalıkları Solunum sistemi hastalıkları	Kronik bel ağrısı Fibromyalji

2.3. Endüstriyel Kullanım

Gönen'de jeotermal enerjinin endüstriyel amaçlı kullanımı, Karşıyaka Mahallesi'nde bulunan 40 adet Tabakhane tesisinin sıcak su ihtiyacını karşılama şeklindedir. Ortalama 60°C'ye kadar ısıtılan su, tabakhane tesislerine ihtiyaç doğrultusunda gönderilmektedir. Gönen Tabakhane İşletmelerinde kelle, oğlak, sığır ve kuzu derisi işlenmektedir. Kelle derisi ayakkabıcılık, oğlak derisi giyim, sığır derisi mont ve döşeme işletmelerinde kullanılmakta ve iç piyasada değerlendirilmektedir. Kuzu derisi ise kürk işletmelerinde değerlendirilerek ve Rusya'ya ihracat edilmektedir. Sanayide yaklaşık 600 kişi çalışmakta, iş sezonunda ise bu sayı 1500'e kadar çıkmaktadır.

3. BÖLGEYE OLAN KATKILAR

Gönen'de jeotermal enerjinin bölge ısıtma sistemi, termal tesisler ve tabakhane işletmelerinde kullanımı ülke ekonomisinin yanı sıra ilçe ve yöre içinde yarattığı gerek istihdam olanakları gerekse katma değerle büyük bir ekonomik potansiyel güç olma özelliğine sahiptir.

Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş. bünyesinde ücret karşılığı hizmet veren 250 işçi, yıllık toplam satılabilir 138.700 oda ve 289.810 yatak kapasitesi ile 2007 T.yılı gelir Çizelgesunda görünen yıllık gayri safi hasılatı 9.031.000,00 YTL'dır. Asgari bu rakam kadar bir değer de çevrede oluşan ve şirket hizmetlerinden yararlanan Pansiyonculuk sektörünce paylaşılmaktadır. Ayrıca gerek Şirket tesislerinde, gerekse mevcut pansiyonlarda konaklayan misafirlerin Gönen çarşısı ve esnafına yaptıkları harcamalar ile yarattıkları katma değer bu rakamların çok üzerindedir. Yapılan hesaplamada Gönen İlçe nüfusu 41.000 kişi olarak göz önüne alındığında fert başına yıllık gayri safi milli hasıla dışında ek 600 YTL katma değer oluşturulmaktadır (Çobanoğlu, 2008).

Yarım asra yakın bir zaman diliminde, termal turizmde hizmet sürdürülmesinin yanı sıra 20 yılı aşkın süredir bölge ısıtma sisteminde jeotermal enerjinin kullanımı bölgeye ve beraberinde ülkemize, fosil yakıt tüketimindeki azalma ile birlikte parasal katkı sağlamakta, çevre kirliliğini asgari ölçülere indirmek ve kullanıcıların enerji giderlerinde tasarruf sağlamaktadır.

Gönen'de bulunan bölge ısıtma sistemi dışında kalan konutların kullandığı yakıtlar incelendiğinde, tamamına yakınının kömür olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan kömür çeşitlerinin ise; ağırlıklı olarak, Çan, Soma linyitleri ve ithal kömür olduğu belirlenmiştir. Otellerde ise jeotermal sistemde meydana gelebilecek problemler dikkate alınarak yedek fuel-oil yakan kazan sistemi bulunmaktadır. Jeotermal sistemden yararlanmayan tabakhane tesislerinin büyük bir çoğunluğu yine Çan linyit kömürü kullanmaktadır.

Çizelge 2. Kullanım yerleri enerji ihtiyaç değerleri

Jeotermal Enerji Kullanılan Alanlar	Mevcut Kapasite (KE)	Enerji İhtiyacı (kW)
Konut ısıtma	2540	21082.0
Otel ısıtma	400	3320.0
Otel sıcak su ihtiyacı	155	1286.5
Tabakhane sıcak su ihtiyacı	45	373.5

Jeotermal enerjinin Gönen'de çevreye olan olumlu katkısını belirlemek amacıyla, sistemdeki konutların ısıtma ve sıcak su ihtiyacını ve tabakhane tesislerinin sıcak su ihtiyacını karşılayacak Çan linyit kömürü, otellerin ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için ise fuel-oil kullanıldığı kabul edilmiştir ve ihtiyaç duyulan yakıt miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca, jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde zararlı emisyon miktarları sıfır kabul edilmektedir, katı ve sıvı yakıt kullanıldığında açığa çıkan yanma ürünleri ise hesaplanmıştır. Sistem konut eşdeğeri kapasitesi ve bu konutların tüketeceği enerji miktarları hesaplanarak Çizelge 2' de verilmiştir.

Konut, otel ve tabakhane sıcak su ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanırken, 1 KE (konut eşdeğer) ısı yükü 6.4 kW esas alınarak yapılmıştır. Bu değer, konut iç ortam sıcaklığı 20°C ve dış hava sıcaklığı 0°C alınarak, 100 m² alana sahip, normal kat yüksekliği 2.8 m, toplam hacmi 280 m³ olan bir konutun kış sezonunda ısıtma ve sıcak su (4 kişilik aile) ihtiyacını karşılayacak şekilde hesaplanmıştır (Oktay vd., 2007). Gönen için bu değer dış hava sıcaklığı, (MMO Kalorifer Tesisatı, 2006) ısı kaybı hesabına esas projelendirme dış sıcaklık değerleri dikkate alınarak hesaplanmış ve 8.3 kW olarak kullanılmıştır. Otel, termal sıcak su ihtiyacı, jeotermal su eşanjör termal çıkış suyu ile sağlanmaktadır. Ancak otel için fuel-oil yakıtlı kazan kullanılması durumunda kullanım sıcak suyu elde etmek içinde enerji ihtiyacı dikkate alınarak bu değerde hesaba katılmıştır. Çizelge 3. Çan kömürü, Çizelge 4. fuel-oil analizine göre yakıt bileşenlerinin değerlerini göstermektedir.

Çizelge 3. Çan kömürü bileşenleri (Parlak, 1998; Anon, 2008 b; c)

Bileşen	C	H	O	N	S	Hu
Oran %	48.72	4.80	13.20	0.90	1.59	20065 kJ/kg

Çizelge 4. Fuel-oil bileşenleri (Borat, 1992 ;Müezzinoğlu, 1987)

Bileşen	C	H	O	N	S	Hu
Oran %	85	11.7	1.0	0.2	1.5	40500 kJ/kg

Çan kömürünün %70, Fuel-oil %80 verimle yandığı kabul edilerek, kullanım yerlerine ait gerekli yakıt miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Kullanılacak yakıt miktarları.

Kullanım Yeri	Kömür (kg/h)	Fuel-oil (kg/h)
Konut ısıtma	5403.50	-
Tabakhane sıcak su	95.73	-
Otel ısıtma	-	368.88
Otel sıcak su	-	142.90
Toplam	5599.23	511.78

Kullanılan yakıtların tam yandığı kabul edilerek çevreye zararlı olabilecek yanma ürünleri hesaplandı. H₂O (su buharı) kendi başına kirlenici emisyon olmasa da atmosferde diğer kirlenicilerle reaksiyona girerek asit yağmuru ve benzeri olaylara sebep olmaktadır. Bu nedenle H₂O değerleri de hesaplanmıştır. Partikül madde (PM) miktarı, kullanılan yakıt cinsine göre emisyon faktörleri esas alınarak (Çizelge 6) hesaplanmıştır. Hesaplanan kirlenici emisyonlar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. PM emisyon faktörleri (Borat, 1992)

Bileşen	Kömür	Fuel-oil
CO ₂ (kg/h)	2727.94	435.01
SO ₂ (kg/h)	89.02	7.67
H ₂ O(kg/h)	268.76	59.87
PM(kg/h)	419.94	0.80

Çizelge 7. Kirletici Emisyon Değerleri

	Kömür	Fuel-oil
PM (kg/ton-yakıt)	75	1.57

Jeotermal alanlardaki önemli çevre problemlerden biri de atık akışkanın verdiği zarardır. Jeotermal enerjiden yararlanıldıktan sonra reenjeksiyon yapılmaması; teknik, jeolojik ve çevresel açıdan olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Bunlar, sistemde basıncın düşmesi, çevredeki diğer termal kaynak çıkışlarında azalma ve kuruma, yüzeysel sulara karışma ve yayılmadır. Bunlardan özellikle basınç düşmeleri nihayetinde üretim verimi kayıpları şeklinde kendisini göstermektedir. Jeotermal sistemdeki değişimlerin en aza indirgenebilmesi atık termal suyun reenjeksiyonu ile mümkündür. Reenjeksiyon, sistemin sürdürülebilirliği ve çevresel etkilerin bertarafı açısından önem kazanmaktadır (Anon, 2008 d). Gönen'de jeotermal enerji ısı alındıktan sonra otellerde sıcak su amaçlı değerlendirilmekte, kalan kısmı ise reenjeksiyon işlemine tabi tutulmaktadır. Böylece hem sürdürülebilirlik sağlanmakta, hem de çevreye karşı kirletici unsurlar azaltılmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada enerji önem kazanmıştır. Konvansiyonel enerji kaynaklarının tükeniyor olması ve küresel ısınma gibi insan yaşamını tehdit eder boyuta ulaşan negatif çevresel etkileri alternatif enerji kaynaklarına olan eğilimi hızlandırmıştır. Önemli bir alternatif enerji kaynağı olan jeotermal enerji bakımından Türkiye zengin bir ülkedir ve jeotermal kaynakların büyük çoğunluğu batı bölgelerde toplanmıştır. Gönen'de jeotermal enerji, konut ısıtmacılığı, termal turizm ve endüstriyel kullanım olmak üzere üç temel alanda kullanılmaktadır.

Gönen'de jeotermal enerji yerine alternatif olarak, konut ısıtma ve tabakhane sıcak su ihtiyacını karşılamak için Çan linyit kömürü, otel ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için ise fuel-oil kullanılması durumunda; 5599.23 kg/h kömür, 511.78 kg/h fuel-oil ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Günde 10 saat ve yılda 200 gün (Oktay vd., 2007) ısıtma yapılması durumunda konut ısıtma için 5403.5 ton/yıl kömür, otel ısıtma için 368.8 ton/yıl fuel-oil yakıt ihtiyacı sözkonusu olacaktır. Tabakhane sıcak su ihtiyacı ve otel sıcak su ihtiyacı dikkate alınırca bu değer daha da artacaktır. Kömür yakılması durumunda oluşan kirletici emisyon değerleri, 2727.94 kg/h CO₂, 89.02 kg/h SO₂, 268.76 kg/h H₂O ve 419.94 kg/h PM ve fuel-oil yakılması durumunda oluşan kirletici emisyon değerleri, 435.01 kg/h CO₂, 7.67 kg/h SO₂, 59.87 kg/h H₂O ve 0.80 kg/h PM

değerindedir. Gönen jeotermal sisteminde reenjeksiyon uygulaması yapılması çevre üzerinde oluşabilecek önemli bir olumsuz etkeni de ortadan kaldırmaktadır.

Ülkemizde, sera üreticileri ısıtma amacıyla genellikle mazot, fuel-oil, gaz (LPG) ve kömür gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadırlar. Seracılıkta artan ısıtma masrafları, fosil yakıtlar dışındaki alternatif enerji kaynaklarına ilginin artmasına neden olmuştur. Son yıllarda jeotermal enerjinin sera ısıtılmasında kullanımı konusunda çalışmalar artmıştır. Gönen Jeotermal sisteminde ısısı alınan termal suyun bir kısmı otel banyo ve havuzlarında kullanılmakta, bir kısmı ise reenjekte edilmektedir. Reenjekte edilen su sıcaklığı ortalama 40°C'dir. Bu enerjinin sera sistemlerinde kullanıldıktan sonra reenjeksiyonu yapılması durumunda bu noktada atık enerjinin geri kazanımı söz konusu olacaktır. Jeotermal kaynaklı ısı pompası sistemleri, düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakların kullanıldığı sistemlerdir. Gönen'de ısısı alınan termal suyun reenjekte edilmeden önce, ısı pompası sisteminde kullanılması alternatif bir uygulama olarak düşünülebilir. Kaplıca otelleri bu uygulama için uygun konumdadır. Toplam beş termal otelin ısıtma ihtiyacının bu şekilde karşılanması önemli bir kazanç sağlayacaktır. Jeotermal enerji kaynaklarına gereken önemin verilmesi ve bu kaynakların verimli kullanılması bölgemiz ve ülkemizin geleceği açısından son derece önemlidir. Jeotermal enerjinin kullanımı bölgeye ve beraberinde ülkemize fosil yakıt tüketimindeki azalma ile birlikte parasal katkı sağlamakta, çevre kirliliğini asgari ölçülere indirgemekte ve kullanıcıların enerji giderlerinde tasarruf sağlamaktadır. Bu nedenle jeotermal kullanımının yaygınlaştırılması ve entegre kullanımların artırılması sağlanmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Anonymous, 2008 a.,
http://www.eie.gov.tr/turkce/jeoloji/jeotermal/10jeotermal_enerji.html
- Anonymous, 2008 b., <http://ekutup.dpt.gov.tr/cevre/eylemler/ekincie/havakir3.pdf>
- Anonymous, 2008 c., http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/9a8a8976abcdfe_ek.pdf
- Anonymous, 2008 d., http://www.izmir-dikili.bel.tr/haber/yukle/down/sevgi_tokgoz.doc
- Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç., 2001, 'Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli', Teskon, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir
- Borat O., 1992, Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Teknik Eğt. Vakfı Yay., 3, s.116
- Çobanoğlu, R., 2008, Kişisel Görüşme, Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş. Genel Sekreteri, Gönen
- Karagülle, Z., 2001, 'Gönen'de Kaplıca Tedavisi; Etkileri ve Etkinliği', Birinci Ulusal Kaplıca Turizmi Sempozyumu, Gönen
- Kalorifer Tesisatı, 2006, MMO/352/3
- Müezzinoğlu A., 1987, Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, s.134
- Oktay Z., Aslan A., 2007, 'Geothermal District Heating in Turkey: The Gonen Case Study', Geothermics, 36,167-182
- Parlak T., 1998, 'Çan Kömürlerinin Analiz Kriterleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması', Türkiye 11. Kömür Kongresi, Bartın Amasra
- Yüksel, İ., 2007, 'Global Warming and Renewable Energy Sources for Sustainable Development in Turkey', Renewable Energy

**KÜTAHYA-SİMAV'DA JEOTERMAL ENERJİNİN
SERACILIKTA
KULLANIMI SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

*THE PROBLEMS AND SUGGESTIONS FOR JEOTERMAL ENERGY
USE IN GREENHOUSE, IN KÜTAHYA-SİMAV PROVINCE*

PAKSOY, M. ¹, TÜRKMEN, Ö. ¹ ve DİREK, M. ²

¹Doç.Dr., Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Konya-Türkiye
paksos@selcuk.edu.tr ; turkmenonder@hotmail.com

²Yrd.Doç.Dr., Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Konya-Türkiye
mdirek@selcuk.edu.tr

ÖZET

Türkiye'de jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımına güzel bir örnek oluşturan Kütahya ili Simav ilçesi jeotermal enerji ile ısıtılan sera işletmeleri araştırma konusunu oluşturmuştur. 2006-2007 yıllarında yörede faaliyet gösteren ve jeotermal enerji ile ısıtılan 43 sera işletmesi ziyaret edilmiş ve hazırlanan anket sorularının işletmeciler tarafından cevaplandırılması sağlanmıştır. Ayrıca yörenin ekolojik özellikleri incelenmiş ve anketlerden elde edilen bilgiler ile yöre seracılığının mevcut durumu, problemleri ve gelişme olanakları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda;(1)Üreticilerin %38'i lise mezunu ve bu üreticilerin %18'i üretimini 8 yıldır sürdürmektedir. (2)Üretim yapılan seraların %70'i plastik sera ve %74'ünün büyüklüğü 2000-4000 m² dir. (3)Üretimin %47'sini domates, %40'ını ise hıyar türü oluşturmaktadır. (4)Seralarda üretim için ortalama sıcaklık yeterli olduğundan bitki gelişim düzenleyicileri kullanılmamakta, sebzelerin tozlanma ve döllenesinde bombus arıları kullanılmaktadır. (5)Elde edilen ürünlerde pazarlama sorunu bulunmamaktadır. (6)En önemli sorunları ise teknik bilgi eksikliğidir.

Anahtar kelimeler: Jeotermal enerji, seracılık

ABSTRACT

The study was conducted in Kütahya city Simav province where it is very good sample of geothermal water uses in greenhouses. Data were obtained from 46 greenhouses heated by geothermal water was researched by using the survey techniques between 2006-2007 years. In addition, ecological status of this province was described by the view of present situation of greenhouses, problems and development levels from the survey data. As a results; (1)The results showed that 38% of producers were graduated from high school

and 18% of them had 8 years experiences about greenhouses. (2)The majority of greenhouses were covered plastics (70%), and 74% of them were 2000-4000 m² sizes. (3)The percentage of tomato and cucumber production was 47% and 40% in such greenhouse, respectively. (4)The average temperature is sufficient for greenhouse production so, hormone never uses as well as pollination and fertility are supplied by bombus bees. (5)There is not a marketing problem for products. (6)The most important problems faced by greenhouse owner was having poor technical information.

Key words: Geothermal energy, greenhouse production.

1. GİRİŞ

Örtüaltı yetiştiriciliği ticari olarak 19. yüzyılın başlarında kuzey Avrupa ülkelerinde başlamış ancak 2. Dünya Savaşı'ndan sonra gelişme göstermiştir. 1960'lı yıllarda plastiğin tarımda kullanılmaya başlanmasıyla ılıman (Akdeniz) iklimin hüküm sürdüğü bölgelere kaymış, 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinden sonra ısıtma giderlerinin yükselmesiyle birlikte örtüaltı yetiştiriciliği Akdeniz havzasında daha da hızlı yayılmıştır. Son yıllarda Asya ülkelerinde de örtüaltı tarımının yaygınlaştığı görülmektedir. 2002 yılı itibariyle Çin'deki toplam örtüaltı alanı 1.963.000 ha olarak bildirilmektedir (Jiang ve Yu 2004). Ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz iklim kuşağı ülkelerinde ise toplam örtüaltı alanının 300.000 ha'dan fazla olduğu; sera ve yüksek tünel alanlarının ise 170.000 ha dolaylarında olduğu bildirilmektedir (Pardossi vd., 2004).

İklim özellikleri bakımından dünyada iki seracılık iklim kuşağı oluşmuştur. Bunlardan birincisi soğuk iklim kuşağı, diğeri ise sıcak iklim kuşağıdır. Soğuk iklim kuşağında seracılık iklim kontrollü seralarda modern teknoloji ile yapılmaktadır. Sıcak iklim kuşağındaki seralarda ise sera yapıları ve teknoloji kullanım düzeyi düşüktür.

Akdeniz Havzasında Türkiye sıcak iklim seracılık kuşağında içinde yer almakta ve toplam sera alanı bakımından İspanya ve İtalya'dan sonra üçüncü sırada bulunmakta, sebze yetiştirilen sera alanı bakımından ise İspanya'dan sonra ikinci sırada gelmektedir (Tüzel vd., 2005).

Türkiye'de seracılık faaliyetleri 1940'lı yıllarda Antalya'da başlamıştır. 2004 yılı verilerine göre, toplam sera alanı 30718.6 ha'dır. Toplam sera alanı içerisinde cam seralar %23, plastik seralar ise %77 paya sahiptir. Ülkemizde seralar ekolojik koşullara bağımlı bir gelişme göstererek, özellikle Akdeniz sahil şeridinde yoğunlaşmıştır. Mevcut sera varlığımızın %83.54'ünün Akdeniz, %10.68'inin ise Ege Bölgesinde yer almaktadır. İller bazında sera alanının %51.1'i Antalya'da, %29.8'i İçel'de ve %6.5'i Muğla'da (Fethiye ilçesinde) yer almaktadır (Anonim, 2005a; Tüzel vd., 2005).

Türkiye'de seralar ekseriyetle iklim kontrolü bulunmayan geleneksel sera işletmeleri şeklinde olup üretim çoğunlukla don zararından korunmaya yönelik önlemlerle basit yapılarda yapılmaktadır. Modern sera işletmelerinin oranı oldukça düşük olup iklimlendirme sistemi mevcuttur. Bu işletmelerin bazıları jeotermal enerji ile ısıtılmakta, diğeri ise merkezi ısıtma sistemlidir ve ısı kaynağı olarak LPG, motorin veya kömür kullanılmaktadır (Eltez, 2006; Tüzel vd., 2005).

Yetiştirme mevsimi, ürün çeşidi ve seranın konumuna bağlı olarak sera üretim harcamaları içinde ısıtmanın payı %40-80'lere kadar çıkabilmektedir. Bu bağlamda iklim kontrollü seracılıkta jeotermal enerji gibi ucuz enerji kaynaklarının kullanımı karlılık açısından önemlidir. Ülkemiz jeotermal enerji yönünden oldukça zengin olup jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyada yedinci, Avrupa'da ise birinci sırada yer almaktadır (Sevgican, 1999; Mertoğlu vd., 2000).

Dünya'da jeotermal enerji ile sera ısıtması 1995 yılında 1085 MWt iken 2005 yılında %24 artışla 1348 MWt'a ulaşmıştır. Dünya genelinde 10 000 da olan jeotermal sera alanı, Türkiye'de Şanlıurfa, İzmir'in Dikili ve Balçova ilçeleri başta olmak üzere toplam 780 da kadardır. Jeotermalle ısıtılan bu sera varlığı toplam sera alanı içinde sadece %0.26'lık bir paya sahiptir. Bu değer 10 yıl içinde 10 000 da'a ulaşması hedeflenmektedir. Türkiye'nin 31 500 MWth jeotermal enerji kapasitesi olduğu ve 150 000 da sera alanının ısıtılacağı bildirilmektedir (Günerhan vd., 2000; Karaman ve Kurunç, 2004; Eltez, 2006).

Jeotermal enerji yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz ve ya sıcak kuru kayaların içerisindeki ısı enerjisidir. Bir başka yaklaşımla jeotermal enerji, yerkürenin ısıdır. Jeotermal, akışkanı meydana getiren sular, genellikle meteorik kökenli olduklarından yeraltındaki rezervuarlar sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Bu nedenle pratikte beslenmenin üzerinde kullanma olmadıkça jeotermal kaynakların azalması söz konusu değildir (Sevgican, 1999).

Akışkan sıcaklığına göre jeotermal enerji belli başlı, elektrik enerjisi elde etmede, endüstrinin çeşitli kollarında ısıtma ve kurutmada (Şeker, kağıt, tekstil, bira, ilaç, konservecilik, deri, süt, orman ürünleri gibi), merkezi ısıtma veya soğutmada (sera, konut ve termal tesis), kimyasal maddelerin elde edilmesinde (Kimyasal tuzlar, tatlı su, CO₂ buzu, ağır su, asit, v.b.) ve turistik tesislerde (Kaplıca, yüzme havuzu vb) kullanılmaktadır (Ergün ve Civek, 2007).

Bu enerji türünün genel avantajlarından en önemlileri, yenilenebilir oluşu, diğer enerji kaynaklarına kıyasla çok ucuz oluşu, gerekli teknoloji düzeyinin çok yüksek olmayışı, aynı anda yararlanma olanağının oluşu, hiç çevre kirliliği yaratmamasıdır (Eltez, 2006).

Jeotermal akışkanların dezavantajı 'Kabuklaşma' olarak ifade edilen CaCO₃ birikmeleridir. Kabuklaşma akışkan hızında düşmeye, enerji kaybına ve sonuç olarak da kuyu üretimi ve santral işlemlerinde kesintiye neden olur. Polimer teknolojisindeki son gelişmeler, üretimi durdurmadan, yıllarca çalışabilmeye olanak sağlamıştır. Kabuklaşma inhibitörleri, çok düşük dozlarda kullanılabilen ve kabuklaşmayı en aza indiren polimerlerdir. Bunların kullanımı için bir program gereklidir. Program yapılmadan önce, akışkanın karakteristiği ve işletme biçimleri kabuklaşma miktarını etkilediği için akışkan yeryüzüne çıkmadan önce ve sonra komple bir analizi yapılmalıdır (Sevgican, 1999; Anonim, 1993b).

Yapılmış olan çalışmalar sonucunda Kütahya ilinde önemli potansiyele sahip on jeotermal alan olduğu belirlenmiştir. Bunlar Simav – Eynal – Çitgöl – Naşa, Gediz – Abide, Muratdağı, Yoncalı, Emet, Yeniceköy, Dereli, Göbel, Ilıca (Harlek), Hisarcık (Sefaköy, Hamamköy ve Yukarı Yoncağaç) ve Şaphane'dir. Kütahya'nın batısında yer

alan Simav İlçesi, Türkiye'nin sayılı jeotermal alanlarından biridir (Ergün ve Civek, 2007).

Kütahya ili Simav bölgesinde son yıllarda jeotermal enerjinin sera ısıtılmasında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bölge koşullarına uygun sera konstrüksiyonunun geliştirilmesi, ısıtma borularında kabuklaşma ve benzeri problemlerin çözülmesi yörede seracılığın yaygınlaşmasına hizmet edecektir (Kıratlı, 2003). Kütahya ili, Simav ilçesi, Eynal yöresinde jeotermal kaynaklar, ilk önce konut ısıtılmasında kullanılmış, olumlu sonuç alınmasının ardından 1995 yılında da seracılıkta kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, Kütahya ili Simav ilçesi Eynal yöresinde bulunan jeotermal sera işletmelerinin mevcut durumu ile sorunlarının ortaya konulması ve bu sorunların çözümlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece Simav-Eynal yöresi jeotermal enerji ile ısıtılan seralar özelinde üretilen bu bilgiler, Türkiye geneli jeotermal ısıtmalı seracılıkta karşılaşılabilecek olası problemlerin çözümüne de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

Simav ilçesi sebzeçilik açısından 1. Tarım Bölgesinde yer almakta ve Kütahya il merkezine 147 km uzaklıkta bulunmaktadır. Simav'da jeotermal enerjinin kullanımı son yıllarda gelişmiştir. İlk olarak 1985 yılında, Belediye ve Özel İdare Yönetimi Simav'da jeotermal enerjinin varlığını araştırılması için MTA'dan hizmet almıştır. Yörede bugüne kadar derinlikleri 65–725 m arasında değişen 20 sondaj kuyusu açılmış olup, maksimum kuyu dibi sıcaklığı 162.4 °C olarak ölçülmüştür (Ergün ve Civek, 2007). Yazın yeşil bir denizi andıran Simav'da kışları soğuk ve kar yağışlıdır. İlk ve Sonbahar yağmurludur. Hakim rüzgar yönleri güneydoğu ve güneybatıdır (Anonim, 1993a). Simav'ın bazı iklim verileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Simav ilçesinde 1993-2000 yılları ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Anonim, 2000).

AYLAR	Ortalama Sıcaklık	Ort. Maks. Sıcaklık	Mutlak Maks. Sıcaklık	Ortalama Min. Sıcaklık	Mutlak Min. Sıcaklık
Ocak	2.2	6.5	17.5	-1.7	-18.2
Şubat	3.5	8.0	20.4	-0.5	-17
Mart	6.2	11.5	24.4	1.5	-13.2
Nisan	10.5	16.2	28.5	4.5	-6.7
Mayıs	15.0	21.5	33	6.0	-1.5
Haziran	19.0	25.5	34.5	10.5	3.5
Temmuz	21.5	28.3	36.5	12.5	6.0
Ağustos	21.0	28.5	37.4	12.3	3.0
Eylül	17.4	25.0	35.0	9.0	0.7
Ekim	12.0	19.4	30.5	6.0	-4.5
Kasım	8.2	14.5	24.5	3.5	-9.5
Aralık	4.4	8.5	20.0	1.0	-19

2.1. Materyal

Bu çalışmada ana materyal olarak Simav Belediyesi fizibilite raporları yanında yöre çiftçilerinden anket yoluyla toplanan veriler kullanılmıştır. Ayrıca konu ile ilgili çalışma ve gözlemler makalenin oluşturulmasına katkı sağlamıştır.

2.2. Metot

Çalışma, Kütahya ili Simav ilçesi Eynal yöresindeki seracılık işletmelerinde 2006-2007 yıllarında yürütülmüştür. Yörede seracılık faaliyeti sürdüren 45 adet çiftçi vardır. Yörede toplam sera alanı 200.000 m²'dir. Bu seraların 1000 m²'ye oturan bölümü standart 3 çatılı olup, boyutları 18x60 m'dir.

Seracıların sorunları ve üretim yapılarını tespit amacıyla yapılan anketler tam sayım yöntemine göre planlanmış, ancak çalışmanın yürütüldüğü Kasım 2006 tarihinde yöre çiftçilerinden 43 adedi yerinde bulunabildiği için bu çiftçilerle anket yapılmıştır. Anketler bilgisayar ortamında Excel formatında dataBase oluşturacak şekilde girilmiş, anketler SPSS istatistik paket programında değerlendirilmiştir.

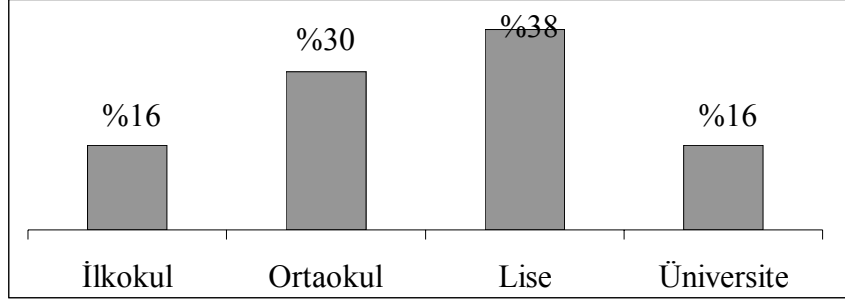
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Simav/Eynal yöresinde 100 dekarı Simav Belediyesi'ne ve 100 dekarı da özel mülke ait olmak üzere toplam 200 dekar sera bulunmaktadır. Bu seraların tamamının ısıtılmasında jeotermal enerji kullanılmaktadır. Mülkiyeti Simav Belediyesi'ne ait olan seralar 2006 yılı itibariyle aylık 80 YTL/da karşılığında kiraya verilmektedir. Ayrıca bölgedeki bütün seralardan aylık 80 YTL/da ısıtma bedeli alınmaktadır. Bu ısıtma bedeli yalnızca ısıtmanın yapıldığı yedi ay için alınmaktadır.

Simav/Eynal yöresinde 45 üretici seracılık faaliyeti ile uğraşmaktadır. Burada seracılık faaliyeti yürüten 45 üreticinin 43'üyle yüz yüze anket yapılmıştır. Anketler yörede seracılık faaliyetinin mevcut durumu ve sorunlarını saptamak amacıyla yapılmıştır. Anketlerden elde edilen bilgi ve bulgular aşağıda verilmiştir.

3.1. Sera Üreticilerin Eğitim Durumu

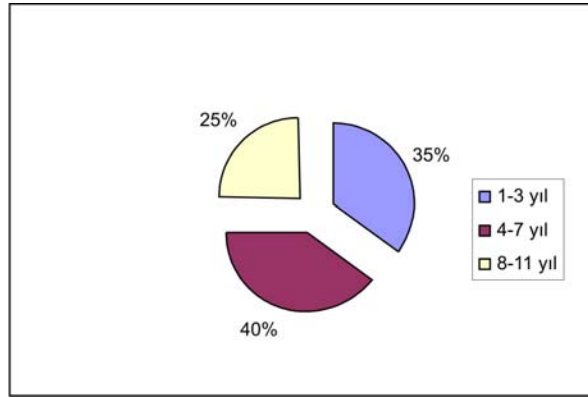
Sera üreticilerinin eğitim durumu ile ilgili bilgiler Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre Simav'da seracılık faaliyeti yürüten üreticilerin %38'i lise mezunu, %30'u ortaokul mezunu, %16'sı üniversite mezunu ve %16'sı da ilköğretim mezunudur. Görüldüğü gibi seracılık faaliyetleri yüksek bilgi ve tecrübe gerektiren faaliyetler olduğundan, yöre çiftçilerinin de buna uygun bir eğitim yapısında olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar ilköğretim mezunlarının (ilk okul ve orta okul toplamı) oranı önemli bir paya sahip olsa da lise ve üniversite mezunu üreticilerin varlığı seracılık faaliyetlerinin niteliğine uygun yürütülmesinde katkı sağlamaktadır. Ancak üreticilerin seracılık bilgi ve tecrübelerinin dikkate alınarak yapılan detaylı incelemede, üreticilerin hemen tamamının seracılık faaliyetlerini geleneksel yöntemlerle sürdürdükleri ve seracılık eğitimi almadıkları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Sera üreticilerinin eğitim durumu.

3.2. Üreticilerin Seracılık Tecrübeleri

Üreticilerin seracılık tecrübeleri Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’den görüleceği gibi Simavlı sera üreticilerinin %25’i 8-11 yıldır bu faaliyeti yürütmekte, %40’ı 4-7 yıldır, %35’i ise 1-3 yıldır seracılık yapmaktadır. Çitçilerin tecrübeleri dikkate alındığında en yüksek oranda 4-7 yıldır bu faaliyeti yürüten ikinci kuşak seracılar olduğu görülmektedir. Zaten Simav’da seracılığın 11 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. Dolayısıyla seracılık faaliyetinin çok eski bir geçmişi olmadığı, bir kısım üreticilerin de seracılığa yeni başladığı tespit edilmiştir. Bu durum üreticilerin bir kısmının deneyim sahibi, bir kısmının da deneyimsiz olduğunu ortaya koymaktadır.



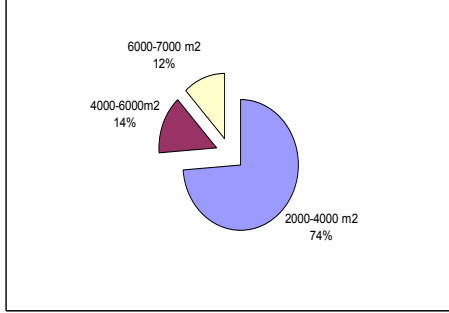
Şekil 2. Üreticilerinin seracılık tecrübeleri.

3.3. Sera Alanı ve Sera Örtü Malzemeleri

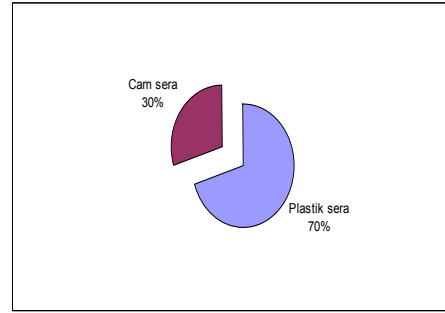
Türkiye’de sera işletmelerinin büyük ve profesyonel işletmeler ile küçük aile işletmeleri şeklinde ayrıldığı göz önüne alınırsa, Simav’daki seracıların küçük aile işletmeleri şeklinde yapılandığı görülmüştür. Cam sera işletmelerinin %91’inin, plastik sera işletmelerinin ise %64’ünün 3 dekarдан küçük sera alanına sahip olduğu bildirilmektedir (Tüzel vd., 2005). Yörede yapılan çalışmada üreticilerin %74’ünün üretimde kullandıkları sera alanı 2-4 dekar, %12 gibi küçük bir kısmının ise üretim alanı

büyüklüğü 6-7 dekara ancak ulaşmaktadır (Şekil 3). Bu, Kütahya-Simav'daki sera üreticilerinin küçük aile işletmeleri olduğunu göstermektedir. Oysa, jeotermal enerji ile ısıtılan seraların teknik, ekonomik ve ticari olarak işletilebilmesi için büyüklüklerinin en az 25 da olması gerektiği önerilmektedir (Anonim, 2005b).

Sera örtü malzemesi yönünden genel dağılım Şekil 4'de verilmiştir. Yöredeki seraların ancak 1/3'ünün cam sera olduğu diğerlerinin ise plastik örtülü seralar (2/3) olduğu görülür.



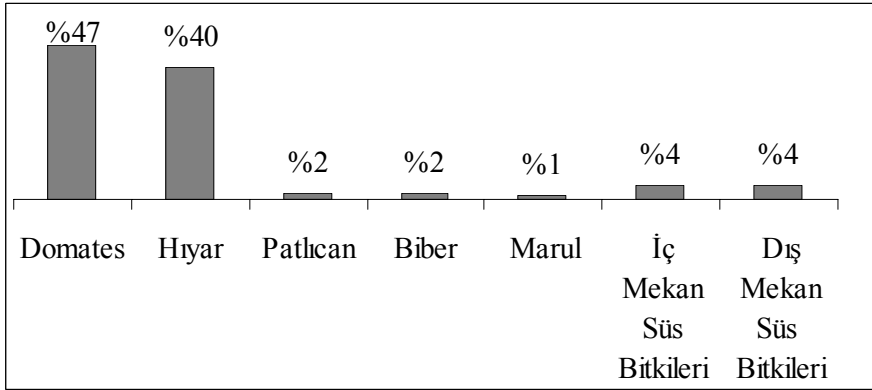
Şekil 3. Sera alanı büyüklüğü



Şekil 4. Örtü malzemelerine göre seralar

3.4. Seralarda Yetiştirilen Bitki Türleri

Simav-Eynal yöresinde yetiştirilen ürünlerin %87'sini domates ve hıyar oluşturmaktadır. Yetiştirilen bitki türleri ve toplam üretime olan oranları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Yetiştirilen bitki türlerinin oransal dağılımı

Yöredeki yetiştiricilerin büyük oranda domates ve hıyarı tercih etmelerinin nedenlerinden en önemlisi yüksek verim almaları ve ürünlerini pazara kıymetli olduğu zamanda çıkarabilme imkânlarının olmasıdır. Ayrıca düzenli ısı dolayısıyla yüksek verim düzeylerine ulaşmak da üreticileri bu iki üründe yoğunlaştırmıştır.

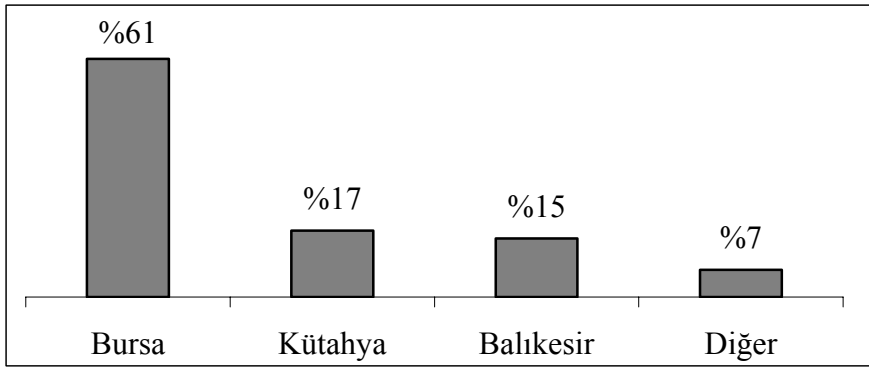
Türkiye’de serada üretilen domateslerin verimi 13-20 ton/da, seracılığı gelişmiş ülkelerde ise 30-40 ton/da, hıyarda ise 20-25 ton/da, gelişmiş ülkelerde ise 64 ton/da kadardır (Sevgican, 1999). Araştırma yöresinde elde edilen bulgulara göre üreticiler serada üretilen domatesten ortalama 36.13 ton/da, hıyardan ise 39.94 ton/da ürün aldıklarını beyan etmişlerdir. Bu durum yörede jeotermal enerji ile ısıtılan seraların sıcaklık ve diğer ekolojik özelliklerinin düzenli bir bitki gelişimini teşvik ettiğini ve verimi artırdığını açıkça göstermektedir.

Düşük sıcaklık ve toprak kaynaklı hastalık ve zararlı etmenlerinin seralarda ciddi tahribata neden olduğu bilinmektedir. Bu konuya dikkat çeken Tüzel vd. (2005), hazır fide üretimi ve kullanımının giderek artmakta olduğunu, hâlihazırda hazır fide kullanımının %50’nin üzerinde olduğu, 2003 yılı itibarıyla bu oranın %70’e ulaştığını bildirmektedirler. Simavlı yetiştiricilerin tamamına yakını üretim materyali olarak fide kullanmaktadır. Bu durum Türkiye genelinde olduğu gibi yöre çiftçilerinin de hazır fide kullanıma yöneldiklerini göstermektedir.

Simav/Eynal yöresindeki üreticilerin tamamı sera ısıtma sistemlerinde jeotermal kaynaktan yararlanmaktadır. Üretim alanının ana kuyulara uzaklığından doğan seralar arası 1-2°C’lik sıcaklık farkı mevcuttur. Yöredeki üretim alanlarının ortalama ısıtma donanımı sıcaklığı 65 °C’dir. Bitkilerin optimum sıcaklık isteklerinin altına düştüğü yedi ay boyunca ısıtma yapılmaktadır.

Üreticilerle yapılan anketlerde pazarlama sorununun yok denecek kadar az olduğu saptanmıştır. Anket yapılan üreticilerin sadece %10’nunun (5 çiftçi) pazarlamada zaman zaman sıkıntı yaşadığı tespit edilmiştir. Yetiştiriciler, ürünlerinde pazarlama sorununun olmayışında en büyük faktör olarak sağlıklı bitki yetiştirmeyi göstermektedirler. Bunu da bitkiler için optimum sıcaklığın kolay sağlanmasına bağlanmaktadır.

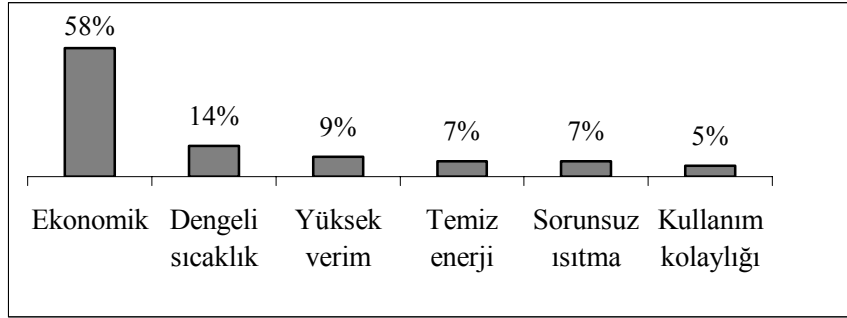
Yörede yetiştirilen ürünler çevre illerden alıcı bulmaktadır. Ürünlerin satıldığı iller Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Ürünlerin satıldığı illerin oransal dağılımı

Domates kalitesinin yüksek olmasının bir diğer nedeni de bombus arılarının kullanılmasıdır. Bombus arılarının tam olarak görevini yerine getirebilmesi için istediği ortam sıcaklığı Simav/Eynal seralarında mevcuttur.

Yapılan anket çalışmalarında, jeotermal enerjinin yetiştiriciye göre de birçok avantajı olduğu görülmüştür. Bunların en başında ekonomik olması gelmektedir. 43 üreticinin 'jeotermal enerjinin size göre avantajı nedir?' sorusuna verdiği cevaplar Şekil 7'de verilmiştir.

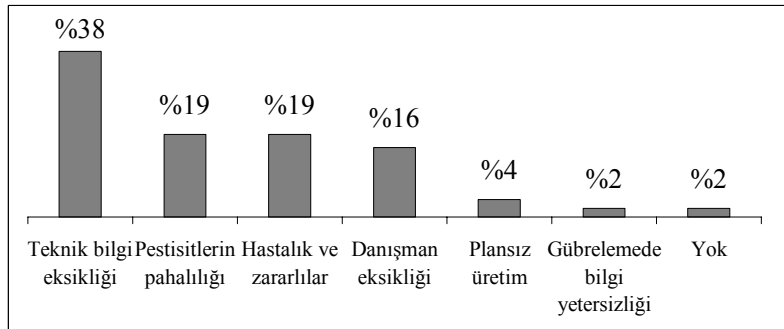


Şekil 7. Üretici açısından jeotermal enerjinin avantajları

Üretici açısından jeotermal enerjinin elektriğe bağımlı olması en önemli sorundur. Üreticilerin tamamına yakını elektrik kesintisi olduğunda ani sıcaklık düşüşlerinden yakınmaktadır. Bu ani sıcaklık düşüşlerinin verimi büyük oranda etkilemesi üreticileri zor durumda bırakabilmektedir.

Daha öncede değinilen donanımdaki kabuklaşma sorunu inhibitör maddeler kullanımıyla çözülmektedir. Fakat metal aksamlarda meydana gelen aşınma ve erken dejenerasyon üreticilerin yakındığı diğer bir konudur. Üreticilerin gözlemlerine göre jeotermal enerji kullanımı metal aksamların ömrünü yarıya indirmektedir.

Üreticilerin genel anlamda üretimde karşılaştığı sorunlarda mevcuttur. Üreticiler sorunlarını Şekil 8'deki biçimde sıralamışlardır.



Şekil 8. Üretimde karşılaşılan sorunlar.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yöredeki üreticilerin %38'i lise mezunu ve bu üreticilerin %18'i serada üretimini 8 yıldır sürdürmektedir.

Üretim yapılan seraların %70'i plastik sera ve %74'ünün büyüklüğü 2000-4000 m²'dir. Üretimin %47'sini domates ve %40'ını hıyar oluşturmaktadır. Domatesin birim alandaki verimi 36130 kg/da, hıyarın ise 39940 kg/da olduğu belirtilmiştir.

Seralarda ısıtma donanımının ortalama sıcaklığı 65°C'dir. Buna bağlı olarak sera içi sıcaklığı 17-28°C arasında seyretmektedir. Bu nedenle, bitki gelişim düzenleyicileri kullanılmamakta, dolayısıyla üretilen ürünler yüksek değerde alıcı bulmaktadır.

Ürünlerin %61'i Bursa, %17'si Kütahya, %15'i Balıkesir ve %7'side diğer illerden alıcı bulmaktadır.

Simav'daki üreticiler bölgelerinde sorunlarını danışacak seracılıkta yeterli bilgi ve tecrübeye sahip bir ziraat mühendisinin eksikliğini yaşamaktadırlar. Karşılaştıkları sorunları internet aracılığıyla Antalya'daki ziraat mühendislerine aktararak çözmeye çalışmaktadırlar. Gübreleme planlarını da bu şekilde oluşturmaktadırlar.

Zaman zaman yaşanan elektrik kesintilerinin seralarda jeotermal akışkanın devamlılığını engellediği bu durumun sera içi sıcaklık düşüşlerine neden olarak ciddi bir sorun meydana getirdiği ifade edilmiştir.

Ayrıca, resmi bir kooperatiflerinin olmamasının büyük bir dezavantaj olduğunun da farkındadırlar. Fakat gayri resmi durumda 1998 yılında kurmuş oldukları kooperatifi bir türlü resmileştirememişlerdir.

Sorunların çözümünde, üreticilerin de işaret ettiği gibi;

- İlçeye gönderilecek örtüaltı sebzeçiliği konusunda deneyimli bir ziraat mühendisi,
 - Fiyat tutarlılığı ve birçok faktör açısından kurulacak bir kooperatif ya da üretici birliği yanında,
 - Çiftçilerin kendilerini geliştirmesi görülmektedir.
- Anılan önlemlerin alınmasıyla şüphesiz Simav'da örtüaltı tarımı daha da gelişecek ve yöre ekonomisine sağladığı katkı da artacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Anonim, 1993a. Simav'da Mevcut 2000 Konut İlave 1500 Konut Kapasiteli Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Yatırımı, Teknik ve Ekonomik Fizibilite Raporu. 1993. T.C. Simav Belediye Başkanlığı, Simav.
- Anonim, 1993b. Jeotermal Sera Yatırım Teknik ve Ekonomik Fizibilite Raporu. Simer Seracılık, Termal Turizm ve Ticaret A.Ş.
- Anonim, 2000. Kütahya İklim Verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim, 2005a. Türkiye İstatistik Kurumu Verileri. Ankara

- Anonim, 2005b. Jeotermalin Türkiye İçin Önemi ve 2005 İçin Yeni Stratejiler. Türkiye Jeotermal Derneği. www.jeotermalderneği.org.tr
- Ergün, S., Civek, E., 2007. Kütahya'da Jeotermal Enerji ve Kullanım Olanakları. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları. Ankara.
- Eltez, R., 2006. Jeotermal enerji ve seracılık. 1. Dikili Yöresi Jeotermal Kaynakların Değerlendirilmesi Sempozyumu. (12-14 Mayıs 2006) Dikili-İzmir.
- Günersan, G., Koçer, G., Hepbaşlı, A., 2000. Present Status of Geothermal Energy in Turkey. GRG Bulletin, Spring Issue.
- Jiang, W. J., Yu, H. J., 2004. Present situation and development perspectives of protected horticulture in China. International workshop on 'La Produzione in Serra dopo l'era del bromuro di metile'. 1-3 April, Catania/Italy. 233-240.
- Karaman, S., Kurunç, A., 2004. Seraların Jeotermal Enerji ile Isıtılmasında Ortaya Çıkabilecek Çevresel Etkiler. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(2):80-85.
- Kıratlı, N., 2003. Çelik Konstrüksiyonlu Hacim Kontrollü Sera Tasarımı Enerji Korunumu Hacim ve Sera Isıtma Borularının Korozyon Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mertoğlu, O., Dokuz, İ., Bakır, N., 2000. Türkiye'deki mevcut jeotermal uygulamalar ve projeksiyonların önemi ve dünyadaki yeri. Türkiye 8. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 97-1007.
- Pardossi, A., Tognoni, F., Incrocci, L., 2004. Mediterranean greenhouse technology. *Chronica Horticulture* Vol. 44, No. 2: 28-34.
- Sevgican, A., 1999. Örtüaltı Sebzeçiliği. Cilt-1. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:528 İzmir.
- Tüzel, Y., Gül, A., Güler, H. Y., Özgür, M., Özçelik, N., Boyacı, H. F., Ersoy, A., 2005. Örtüaltı yetiştiriciliğinde gelişmeler. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik kongresi. (3-7 Ocak 2005, Ankara) I. Cilt: 609-627.

GÖNEN'DE KONUTLARDA JEOTERMAL ENERJİ KULLANIMININ YAPISAL VE MİMARİ ANALİZİ

CONSTRUCTIONAL AND ARCHITECTURAL ANALYSIS OF USING GEOTHERMAL ENERGY ON HOUSES IN GONEN

ASIMGİL, B.¹ve ASLAN, A.²

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik –Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Balıkesir
basimgil@balikesir.edu.tr

²Balıkesir Üniversitesi, Gönen Meslek Yüksek Okulu, Makina Bölümü Gönen/Balıkesir
asiye_aslan@hotmail.com

ÖZET

Alternatif Primer Enerji Kaynaklarından Jeotermal enerji, yer kabuğunun işletilebilir derinliklerinde birikmiş olan ısının meydana getirdiği bir enerji türüdür. Ülkemizde birçok sahada üretilen jeotermal enerjiden, akışkan özelliğine bağlı olarak konut, sera, termal tesis ısıtması ve kaplıca uygulamalarında ve çok değişik amaçlarla da yararlanılabilmektedir. Jeotermal enerji potansiyeli bakımından en zengin illerimizden birisi Gönen, Bigadiç, Edremit, Güre, Sındırgı, Pamukçu, Burhaniye, İvrindi, Manyas ilçeleri başta olmak üzere Balıkesir ilidir. Gönen ilçesi için jeotermal kaynağın doğrudan kullanım alanları, konutlar, oteller ve tabakhanelerdir. Bu çalışmada enerji tasarrufu için alınabilecek bazı önlemler ve ekonomik katkıları izah edilmiştir. Türkiye'nin jeotermal kaynak bakımından en yüksek potansiyele sahip bölgesinde yer alan Gönen ilçesinde jeotermal enerjiden daha fazla yararlanma amacıyla konutlarda ne tür uygulamaların yaşama geçirilebileceği ortaya konmuştur. Konutlar için temel hedef ısınma amaçlı enerji tüketimiyle, kaybedilen ısı enerjisinin karşılanması ve ortam ile yüzey sıcaklıklarının konfor şartlarının gerektirdiği seviyelerde tutulabilmesidir. Ancak, konutlarda kalitesiz malzeme kullanımı, sağlıklı yaşam koşullarına uymayan yapı üretimi, kaçak yapılaşma ve en önemlisi ısı yalıtımına uyulmadığından enerji için harcanan miktarın yaklaşık yarısı israf edilmekte yani havayı ısıtmaya ve çevreyi kirletmeye harcanmaktadır. Yerleşmiş genel bir anlayış izolasyonun yapı maliyetini arttıracığı yönündedir. Yapılan hesaplamalar bu anlayışın doğru olmadığını göstermektedir. Yapılan çalışma ile, Gönen'de termal su ile ısıtılan konutların mevcut yalıtım durumları ve yalıtım yapılmamış olan konutlarda yalıtım tedbirleri alınması suretiyle enerji tasarrufuna olabilecek katkıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, alternatif enerji, mimari, konut yalıtımı

ABSTRACT

Geothermal energy that is one of Alternative Primer Energy sources that is presented to Primer energy as an alternative source is a kind of energy that is causing of accumulated in deepness of crust of the earth where workable depths are by the local and particular operating. In our country, it has been taken advantage from geothermal energy produced on different regions different aimed such as houses, greenhouses, institutions thermal heating aimed and hot springs belong to its fluid characteristic. One of the richest provinces is Balıkesir containing its centre county such as Gonen, Bigadic, Edremit, Gure, Sındırgı, Pamukcu, Burhaniye, İvrindi, Manyas. The direct usage area of geothermal source for Gonen is houses, hotels and tannery. In this study, some precautions that will be taken for energy savings and its economic contribution will be determined for house buildings. In Gonen, where has taken part in the richest potential as geothermal source of Turkey what kind of applications will be implemented in house buildings aimed maximum efficiency from geothermal energy has been betrayed. Major aim for houses is to meet heating energy is to meet loosened heating energy and to provide to comfort level of environment and of surface temperature. Usage of poor quality in houses, building construction that has not healthful life conditions, shanty settlements and insufficient heating insulation have caused to loss of heat. Quartered general concept is to that insulation will increase building economy. According to searches in this area, this is a false data. This study has shown that existed insulation positions of houses heated with geothermal energy and if we take insulation measures about houses it will contribute energy economy.

Key Words: Geotermal, alternative energy, architecture, house insulation

1. GİRİŞ

Enerji kaynakları genelde iki grup altında toplanabilir: Yenilenebilir ve yenilenemeyen (tükenebilir). Yenilenebilir enerji, pratik olarak sınırsız varsayılan, sürekli ve tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin güneş enerjisi gibi, güneşten gelen solar ışınımın elektriğe veya ısı enerjisine dönüştürülebilir. Rüzgar enerjisi, yerküreden gelen jeotermal enerji, bitkilerden üretilen biyokütle veya sudan elde edilen hidrojiç de yenilenebilir enerji grubunda değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji, kısa sürede yerine konulan enerjidir. Tükenebilir enerji ise, kullanılan ve ancak kısa zaman aralığında yeniden oluşamayan enerji olarak tanımlanır. Bunlar genellikle, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların yerkürenin içinden gelen ısı ve bu kalıntıların üzerinde bulunan kayaçlardan kaynaklanana basınç altında oluşmuş fosillerden kaynaklı petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardır.

Türkiye 2004 yılı birincil enerji kaynakları rezervi ve potansiyeline bakıldığında jeotermal enerjiden elde edilen elektrik enerjisinin 510 milyonwatt-e ısı enerjisinin de 31500 Milyon watt -ton(MWt) olduğu görülür.

2003 yılı genel enerji tüketiminde kaynakların payı incelendiğinde ise, Türkiye ve AB ülkelerindeki petrol ve doğal gaz tüketim oranlarının aynı olduğu ancak Türkiye'nin kömür ve yenilenebilir kaynakların payındaki fazlalığının AB'de nükleer enerji ile sağlandığı görülmektedir.

Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı daha çok merkezi ısıtma sistemleri vasıtasıyla gerçekleşmiştir. İlk merkezi ısıtma sistemi 1987'de Gonen'de kurulmuş ve 12 merkezi ısıtma sistemi daha sonra devreye alınmıştır. Gonen dahil olmak üzere 13

adet merkezi ısıtma sisteminin toplam kapasitesi yaklaşık 300 MWton'a erişmiştir. Bu merkezi ısıtma sistemlerinin kabaca 60 bin konut eşdeğeri ısıtma yaptığı bilinmektedir. Erdoğan vd. (2006).

Çizelge 1. Türkiye birincil enerji kaynaklar rezervi ve potansiyeli-2004(DEKTMK)

Kaynak	Birim	Rezerv	Rez./Tüketim
Taş K.	Bin ton	2170	19421
Linyit	Bin ton	55282	56577
Asfaltit	Bin ton	888	738
Petrol	Bin ton	2281	30016
D.Gaz	Milyar m ³	980	27314
Hidrolik	GWh	39561	39561
Jeotermal Elektrik	GWh	94	94
Jeoter-ısı	Bin tep	926	926
Rüzgar	GWh	59	59
Güneş	Bin tep	385	385
Odun	Bin ton	13819	13819
Bitki artığı	Bin ton	5127	5127

Çizelge 2. Türkiye'de birincil enerji kaynakları tüketiminin kaynaklara göre dağılımı-2005

Kaynak	Birim	Rezerv	Rez./Tüketim
Taş K.	Milyon ton	1344	71 yıl
Linyit	Milyon ton	8375	187 yıl
Asfaltit	Milyon ton	79	110 yıl
Bitümler	Milyon ton	1641	
Hidrolik	GWh/yıl	129907	
Hampetrol	Milyon ton	43	17 ay
D.Gaz	Milyar m ³	8	4 ay
Doğal Uranyum	Ton	9129	
Jeotermal Elektrik	MWe	510	
Jeotermal ısı	MWe	31500	

Çizelge 3. Türkiye ve AB 'de genel enerji tüketiminin kaynaklara dağılımı (%) -2003

Türkiye AB	Petrol	D.Gaz	Kömür	Nükleer	Yenilenebilir	Yenilenebilir
					(Hidro.)(Bio.)	
Türkiye	38	22	27	0	13 4.5	6.3
AB	37	24	18	15	6 1.5	4.0
Dünya	34.4	21.2	24.4	6.5	13.3 2.2	10.6

2. SAHA İŞLETME STRATEJİSİNE UYGUNLUK

Tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %40'ının konutlarda tüketildiği kaydedilmektedir. Gönen ilçesi için jeotermal kaynağın doğrudan kullanım alanları, konutlar, oteller ve tabakhanelerdir. Türkiye'nin jeotermal kaynak bakımından en yüksek potansiyele sahip bölgesinde yer alan Gönen ilçesinde mevcut jeotermal kaynak ile 2547 konut eşdeğeri merkezi ısıtma yapılmaktadır. Konutların her biri 100 m²'dir. Ancak jeotermal enerjiden daha fazla yararlanma amacıyla bir takım önlemlerin alınması şarttır. Bunlardan birisi, saha işletme stratejisine sahip olup olmadığıdır.

Saha işletme stratejisine sahip olmayan sahalarda, tesislerin saha kapasitesi ile uygun olmayan ölçeklerde büyüdüğü ve buna ek olarak basınç düşümü, soğuma ve enerji yetersizliği gibi çok önemli sorunlarla karşılaşıldığı bilinmektedir.

Gönen (Balıkesir) jeotermal sahasında rezervuar basıncının 6 bar düştüğü ve sahanın 20-30 °C ye yakın soğuduğu, sahadan üretilen enerji miktarı %30 kadar azalmıştır. Serpen vd. (2005). Saha artık bölgesel ısıtmanın gereksinim duyduğu enerjiyi karşılayamamaktadır. Ünlü Gönen Kaplıcaları, bölgesel ısıtma sistemine entegre olarak çalışmakta, yöreye önemli ekonomik katkılar sağlamaktadır. Çanakçı (2005) tarafından verilen bilgiye göre kaplıca ve bölgesel ısıtma sisteminin sahibi olan Gönen Belediyesi, soğuma ve enerji yetersizliği nedeniyle bölgesel ısıtma sisteminin doğal gaza dönüştürülmesi için arayış içerisinde. Mevcut koşullarda basınç azalmasını önlemek için işletmecilerin yapacağı reenjeksiyon uygulamalarında sahayı soğutma riski bulunmaktadır. Sahada her işletmecinin belirli bir işletme programına göre çalışması sağlanmalıdır.

Bu nedenle mevcut koşullardaki saha performansının gözlenmesi ve oluşabilecek sorunlar çözümlenmeden sahaya ek yük getirecek yeni projeler planlanmamalıdır. Gönen için saha işletme stratejisine yönelik bir işletme mevcut olmakla beraber sisteme getirebileceği ihtimal yükler dikkate alındığında sisteme ilave edilen yeni bir proje yada konut artırımı söz konusu değildir. Bu nedenle mevcut ve sisteme dahil binaların enerji verimliliği büyük önem taşımaktadır.

2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

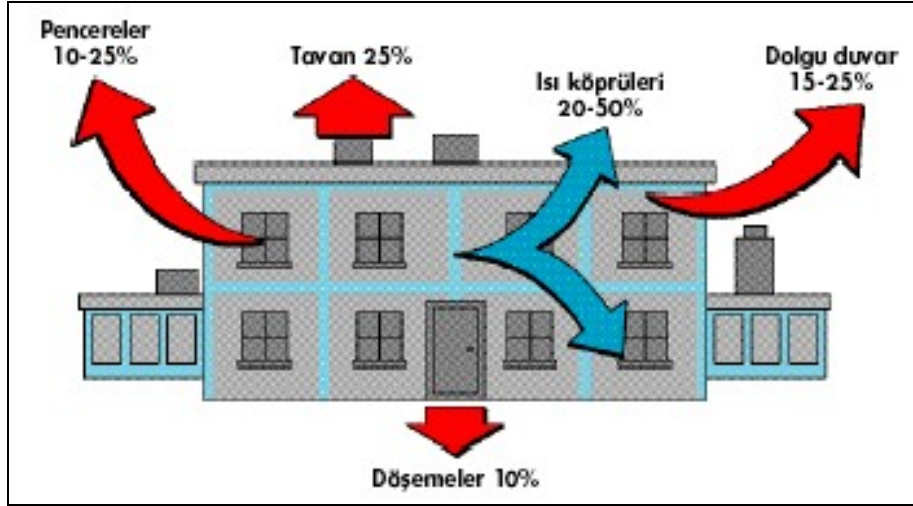
Binalarda enerji verimliliği sağlanabilecek alanlardan birisi de

- Binanın Mimari Tasarımı,
- Malzeme kalitesi
- Ehliyetli imalat

Konutun durumuna bağlı olarak %20-70 ısı tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında ısı tasarrufu beraberinde yakıt ve para tasarrufu getirmektedir.

3.BİNALARDA YALITIMIN ÖNEMİ

Yapılarda ısı yalıtımı enerjiden tasarruf sağlayarak gaz, kurum ve toz emisyonunu azaltıp çevre kirliliğini önler. Duvar, ısı köprüleri, zemin ve tavan yüzey sıcaklıklarının iç konfora olduğu kadar yapı kabuğu üzerinde de önemli etkileri vardır. Yeterli yalıtım yaşam kalitesine katkıda bulunur ve bina dokusunun korunmasına yardımcı olur. Sağlıklı ve rahat yaşam sadece uygun ısı ve nem şartlarına sahip olan mekanlarda mümkündür. Isı köprülerinde yoğuşma, rutubetli alanlar, küf oluşması ve çatlaklar doğru yalıtım çözümünün uygulanması ile etkili bir şekilde önenebilir. Bina yalıtımı yapılırken ısı kaybına müsait geniş yüzeylerin (duvarlar, çatı, zemin) yanı sıra muhtemel ısı köprülerine de (subasman, kirişler, lento, radyatör muhafazaları, parapetler, donatılı beton sütunlar, pencere denizlikleri, pencereler arasındaki taşıyıcılar, duvar dış köşeleri, duvar birleşim yerleri) gereken önem verilmelidir. Isı köprülerinin yalıtılmaması ciddi miktarda ısı kaybına neden olmanın yanı sıra yoğuşma, küflenme, çatlak oluşmasına yol açar. (Şekil 1).



Şekil 1. Yapılarda olası ısı kayıpları.

Eğer bir fayda-maliyet karşılaştırması yapılırsa, ısı yalıtımı hem ekolojik hem de ekonomik açıdan yararlı ve çok kısa sürede geri kazanılan bir yatırımdır. Bununla birlikte inşaatın fiziksel ve teknik prensiplerinin incelenmesi ve yüksek kalitede uygun yalıtım malzemesinin kullanımı önemlidir.

Binalara uygulanan yalıtımla; tesisat ilk yatırım giderleri, kazan kapasiteleri, odalara yerleştirilecek radyatör miktarları ve boru çapları düşmektedir. Yalıtıma yapılan yatırım bu nedenle kısa zamanda kendini geri ödemekte, daha sonraki yıllarda da tasarrufa dönüşmektedir. Binalarda yalıtım yaparken ısıнын en çok kaçtığı yerler olan; çatı, pencere ve dış duvarlara özel önem verilerek, her bir noktada yalıtım önlemleri alınmalıdır.

Yapılarda verimli bir ısı yalıtımı için:

- Isı köprüleri,
- Su basman,
- Cephe dolgu duvarların (dış, iç veya sandviç duvar) yalıtılması gerekmektedir.

Herhangi bir sıvalı, yapıştırılmalı bitişte (seramik fayanslar vs. gibi) ve iki duvar arası uygulamalarda etkili bir ısı yalıtımı yapılmalıdır.

Bu çalışmada yalıtımsız, kısmen yalıtımlı ve tamamen yalıtımlı ancak jeotermal enerji ile ısıtılan konut bloklarında enerjinin verimli kullanımı açısından alınabilecek tedbirler açıklanacaktır.

3.1 Duvarlar

Duvar kalınlıkları, duvarların yapıldığı malzemenin ısı geçirgenliği ve duvarların alanı ısı kaybında önemli rol oynadıklarından bu konuda optimum bir çözüm bulunmalıdır. Gönen ilçesi için seçilen konutların duvar kalınlıkları uygun olmakla beraber yatay delikli tuğla kullanılmış olması ısı geçirgenliği yönüyle olumsuzdur.

Yalıtım kalınlıkları için bölgesel değerlendirmeler dikkate alınmakla birlikte aslında mikro ölçekli çalışmalar baz alınmalıdır. Bugün hepimiz bilmekteyiz ki, özellikle ülkemizde, Akdeniz Bölgesinde olmasına rağmen Doğu Anadolu Bölgesinin iklim özelliklerine sahip alanlar olabildiği gibi, Doğu Anadolu Bölgesinde olmasına rağmen Akdeniz Bölgesinin iklim özelliklerine sahip yerleşim birimleri söz konusudur. Bu nedenle bölgesel bazda yapılacak yalıtım standartları her zaman istenilen verimi sağlamayabilir. Ancak Gönen ilçesi Marmara bölgesi karasal iklime sahip olması dolayısıyla yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Bu nedenle Gönen bölgesi için kabul edilen II. İklim Bölgesi değerlerinin dikkate alınması uygundur. Isı yalıtkanı mutlaka duvarların dış kısımlarına konulmalı, duvarlardaki günlük sıcaklık değişimleri göz önüne alınarak yalıtım kalınlıkları ayarlanmalıdır. Yalıtım kalınlıklarının tayininde Gönen bölgesi için II. Bölge değerlendirmeler baz alınmalıdır. Ancak dış duvar yalıtımları mevcut konutlar göz önüne alındığında mümkün olmayacağından yalıtım levhalarının içten yalıtımı söz konusu olacaktır.

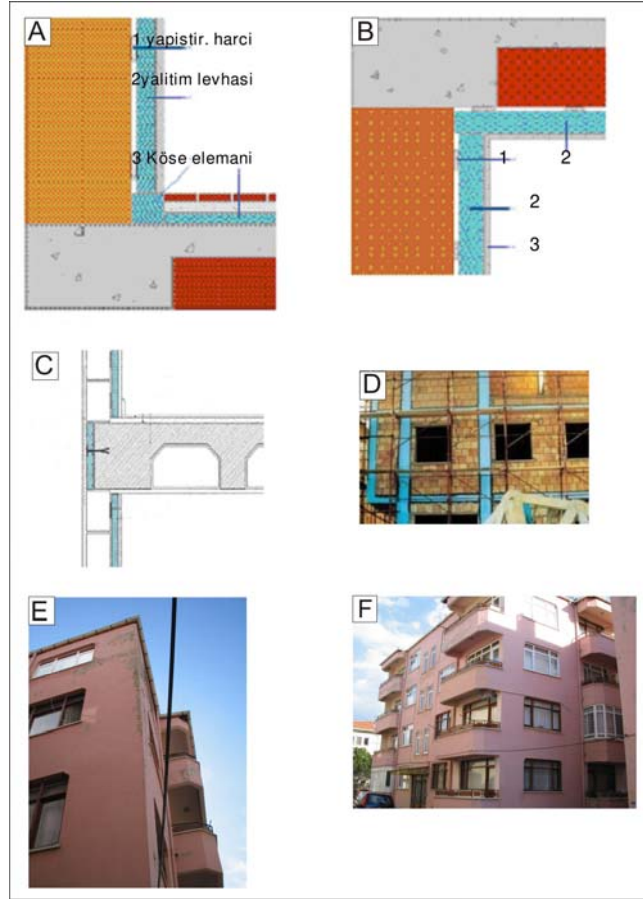
3.2 Mevcut Yapıların içten ısı kaybeden duvarlarının yalıtımı

Bazı durumlarda yalıtım levhalarının dıştan uygulanması mümkün değildir veya yalıtım levhalarının içten kullanımı çok daha faydalıdır. İçten yalıtım yapılan yapılar asgari enerji tüketimi ile ısıtılabilir. İçten yalıtılan bir cephe duvarının doğru projelendirilmesi için, mevcut duvar yapı elemanlarının özelliklerinin bilinmesi gerekir. Yalıtım, duvar yapısının iç yüzeyine, sıcak olan tarafına tatbik edildiği için duvar yapısı daha ciddi sıcaklık değişikliklerine maruz kalacaktır. İçten ısı yalıtımı yapılırken ısı köprülerine daha fazla dikkat edilmelidir. Kesişen yapı elemanlarının yalıtımı (duvarlar,döşeme ve duvar birleşimleri) olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

İster yalıtımlı ister kısmen ister tamamen yalıtımlı olsun , seçilen yapıların duvar yapı elemanı dış duvarlar için 19cm yatay delikli tuğla, iç duvarlar için de 13.5 cm yatay delikli tuğladır.

Çizelge 4. Duvarlarda bölgelere göre tavsiye edilen U (k) değerleri (TS 825; 14 Haziran 1999) ve uygun Yalıtım Köpüğü kalınlıkları

1) İKLİM BÖLGESİ	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	IV. BÖLGE
2) U (k) W/m ² K	0,80	0,60	0,50	0,40
19 cm Yatay Delikli Tuğla (TS 4563) + İçten veya dıştan Yalıtım köpüğü ile ısı yalıtım uygulaması				
Yalıtım köpüğü (mm)	25	40	50	60



Şekil 2.(A) Duvar-döşeme birleşim detayı. (B) Duvar-tavan birleşim detayı
1.Yapıştırma harc 2. Yalıtım levhası3. İç yüzey kaplama, (C) Dıştan kolon kiriş ve içten duvar yalıtımı, (D) Dıştan kolon-kiriş ve döşemenin yalıtımı (D-E-F) . Gönen'de binaların mevcut pencere düzenleri ve malzemeleri

Yapı malzemelerine göre farklılıklar teşkil etmekle birlikte, yapının bütününe enerji limitlerine uygunluğu kontrol edilerek hesaplanmalıdır. Yüksek ısı transferine neden olan detayların (ısı köprüleri, subasman, duvarların kesiştiği bölgeler, çatıda veya zemin döşemesinde) yalıtım değerleri $U(k)$ tavsiye edilen performansın üstünde olması gerekir. Bu gibi durumlarda genellikle standardın önerdiği yalıtım kalınlığından daha fazla bir yalıtım kullanılması tavsiye edilir. Böylece standardın gerektirdiği enerji limitlerine uyum ve gelecekte harcanacak ısıtma masrafindan tasarruf sağlanır.

Bölgelere göre tavsiye edilen $U(k)$ değerlerine göre Gönen ili II. Bölgede yer almaktadır, yani $U(k)$ değeri $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Yani seçilecek yalıtım köpüğü kalınlığı en az 4 cm olacaktır (Çizelge 4).

3.3 Isı Köprüleri Yalıtımı

Isı köprüleri diğer bir deyişle “ısı yalıtım zırhındaki delikler” farklı ısı iletkenliği olan yapı malzemelerinin birbirine bağlandığı, kesiştiği veya iç içe geçtiği yerlerde, genel yapıya göre ısı transferinin daha fazla olduğu yerlerdir. Özellikle yapıların betonarme bölümlerinde, kolon, kiriş, hatıl, lento, döşeme alını gibi yapı elemanlarının dıştan yalıtılmaması durumunda ısı köprüsü oluştururlar.

Isı köprülerinin yalıtım zorunluluğu sadece enerji kaybı sebebiyle söz konusu değildir. Yalıtılmamış ısı köprülerinin azalan iç yüzey sıcaklığı ile oda içindeki konfor üzerinde olumsuz etkisi vardır ve bu durum yoğunlaşma, nem, küflenme, çatlama vs gibi başka problemlere de yol açabilir. Sonuç olarak ısı köprülerinin doğru olarak projelendirilmesi ve uygun bir şekilde yalıtımı önemli yararlar sağlar. Bunlar;

- Yüzeyde yoğunlaşma, estetik problemler, çatlama oluşması gibi yapısal problemlerin önlenmesi,
- Kolon ve kirişlerdeki donatıda oluşabilecek muhtemel korozyonun önlenmesi,
- Küflenmenin önlenmesi,
- Isı kaybının azaltılması - enerji tasarrufu (Isı köprülerinin, ısı kaybeden yüzey alanına oranı kadar azaltılabilir),
- Konfor artışı.

Düz çatılarda, çatı bitişleri ve parapetler genellikle hiç yalıtılmaz veya yetersiz yalıtılır. Yetersiz şekilde yalıtılmış çatı bitişleri toplam çatı alanına orantılı olarak tüm ısı kaybının %10'unu oluşturabilir.

- Teras alını ısı köprüsü oluşturmaktadır,
- Duvar-tavan birleşiminde yoğunlaşma riski vardır.

Yalıtım levhaları, özellikle beton çatı uç cephelerinin yalıtılması ve dış duvarlar boyunca, pencere lentolarında, beton kirişler, kolonlar vs. üzerinde ısı köprülerinin önlenmesine uygun bir ısı yalıtım ürünüdür.

Mevcut yapıda “Sonradan kolon ve kiriş alınlarına tespit” şeklinde yapılan uygulamada kolon, kiriş ve çıkımlar veya lento ölçülerine uyacak şekilde 'easy-cut (kolay kırılma)' özelliğinden yararlanılan yalıtım levhaları uygun ölçülere getirilerek hazırlanır. Levhalar beton yüzeylere (ısı köprüleri) dolgu duvarlar ile hem yüz olacak şekilde yapıştırılıp ve yapışma işleminden en az bir gün sonra yatay ve düşeyde 50 cm.lik aralıklarla plastik çivili yalıtım dübelleri ile mekanik olarak sabitlenir. Ancak Gönen'deki mevcut konutların kolon ve kirişlerine yapılacak olan yalıtım levhası tespiti duvar blokları önceden örüldüğü için tuğla bloklarının dış yüzeyleri, yalıtım levhalarının dış yüzeyleri ile hem yüz olmayacak şekilde yani dışa taşacak şekilde uygulanacaktır.

3.4 Pencereleler

Pencere dış yüzey oranı iklim şartlarına bağlı olarak alınmalıdır. Genellikle kış şartlarının hüküm sürdüğü bölgelerde bu oranın 20/100 olması önerilmektedir. Ayrıca pencerelerde mutlaka en az çift cam olmalı ve pencereler tabandan (yaklaşık olarak 80-90 cm) belli bir mesafe yukarıda olmalıdır.

Gönen'deki konutların cephe düzeninde gözlenen odur ki, yapı boşluk yüzeyleri(pencere+kapı) /cephe açıklık oranı yaklaşık olarak 50/100 dür. Bu oran konutun mevcut jeotermal sistemle ısıtılmasında çok fazla ısı kayıplarına neden olabilmektedir.

Pencerelelerin yaz ve kış havalandırmaları farklı sistemler içermelidir. Özellikle kış havalandırmaları üstten yapılmalıdır.Ülkemizde özellikle son yıllarda PVC sistemli pencerelerin yaygınlaşması neticesinde bina içlerinin üstten havalandırılması yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte ahşap pencere sistemlerinin çok büyük bir bölümünde üstten havalandırma sistemleri bulunmamaktadır. Bu ise; bina içi havalandırılması esnasında önemli ölçüde ısı kayıplarının oluşmasına neden olan önemli bir faktördür. Bu nedenle pencere havalandırmasının yanlış tercih edilmesi nedeniyle oluşan ısı kayıplarını engellemek için PVC Pencere sistemlerinin yaygınlaşması desteklenmeli ve PVC Pencere sistemleri özendirilmelidir.

Ancak görülmektedir ki, söz konusu konutların bir kısmı çift camlı PVC uygulamalarına geçerken bir kısmı hala mevcut tek cam ahşap pencereleri kullanmaktadır. Bu da gerek havalandırmanın yetersizliği gerek katlar arası ısı kayıplarından kaynaklanan ve enerjinin etkin kullanılmadığı bir enerji sarfiyatına neden olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Jeotermal enerji zenginliği açısından Türkiye dünyanın önde gelen ülkelerinden birisidir. Buna karşın bu enerjinin ısı ve elektrik üretiminde kullanımı yeterli düzeyde değildir. Jeotermal potansiyeli olan ülkemizde potansiyelin nasıl araştırılıp kullanılacağı konusunda yasal düzenlemeler mevcut değildir. İzinsiz, denetimsiz, tekniğine uygun olmayan gelişigüzel açtırılmış sondajlar kaynağın doğal akışında düzensizliklere neden

olabilmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yeterince yararlanılmaması, enerji hammadde kullanımında dışa bağımlılık, enerji tasarrufu ve yalıtım bilincinin geliştirilmesi konusunda ciddi çaba sarf edilmemiş olması, yapılan yanlış malzeme seçimi zaten kısıtlı olan doğal enerji kaynaklarımızın enerji verimliliğinin azalmasına ve daha da erken tükenmesine neden olabilir.

Isı yalıtımının ortaya çıkardığı üç önemli sonuç vardır.

- a) Enerjiden tasarruf (parasal tasarruf)
- b) Hava kirliliğinde azalma
- c) Isıl konfor

Çoğu ülkede, ısıtma ve soğutma işi için oldukça büyük miktarda enerji yani para harcanmaktadır. Eğer bina kötü yalıtılmış ve kötü havalandırılıyorsa yapının belli noktalarında çeşitli tahribatlar görülür. Kış aylarında, taban altı ve tavan aralarında çığlenme ve donmuş yüzeyler oluşur. Yaz aylarında, tavan arası son derece sıcak ve bunaltıcı olur. Yalıtımın mutlaka tüm bina ihtiyacı göz önünde bulundurularak yapılması gereklidir. Sadece yaşam mekanlarının yalıtımı, tavan ve taban yalıtımı olmadan doğru yalıtım şekli değildir. Bina ısısının sürekliliğini koruyabilmek için mutlaka ısı kaybı olan tüm alanların saptanması ve yalıtımda göz önünde bulundurulması gereklidir.

2010 yılı yapıları, 1996 yılında yapılmış olanlara göre enerji açısından %25 daha verimli olacaktır. Binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin olarak kullanan ve enerji verimliliğini artıran uygulamalar dünyada mevcuttur. Bu yöndeki uygulamaların yakından izlenerek ülkemizde de kullanılması teşvik edilmeli ve bunları desteklemeye yönelik ulusal programlar gündeme getirilmelidir. Isı yalıtımında, bilgilendirme ve eğitim ön planda gelmeli ve kullanıcıların, özendirilerek, yalıtım malzemesi kullanması sağlanmalıdır. Ancak; bunun yanında, yönetmeliklerle de zorlayıcı önlemlerin alınması zorunludur.

5. KAYNAKLAR

- Erdogmus, B., Toksoy, M., Ozerdem, B., Aksoy, N., 2006. Economic assessment of geothermal district heating systems: A case study of Balcova-Narlıdere, Turkey. Energy and Buildings.
- Serpen, U., Aksoy, N., 2004. "Reinjection Experience in Gönen Field of Turkey", 19 th. Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., California.
- Çanakçı, C., 2005. Gönen için doğal gaz peaking sistemi ve kojenerasyon. Gönen Belediyesi, Bölgesel Isıtma Projesi Rehabilitasyonu, Danışman Raporu (yayınlanmamış).

JEOTERMAL KAYNAKLAR VE AKUAKÜLTÜRDE KULLANILABİLİRLİĞİ

THE USAGE OF GEOTHERMAL RESOURCES IN AQUACULTURE APPLICATIONS

FERHATOĞLU, M.¹, ÖZDEN, O.², GÖKÇEN AKKURT, G.³

¹ Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 35100 Bornova-İZMİR
melike.ferhatoglu@ege.edu.tr,

² Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 35100 Bornova-İZMİR
osman.ozden@ege.edu.tr

³ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Gülbahçe Köyü-Urla-İzmir
guldengokcen@iyte.edu.tr

ÖZET

Akuakültür üretim miktarını arttırmak için kontrollü ortamda tatlı su ve deniz organizmalarının yetiştirilmesidir. Akuakültürde mevcut yetiştiriciliği yapılan ya da alternatif türlerin yetiştirilebilmesi ve mevcut üretiminin artmasını sağlamak amacıyla yeni uygulamalar araştırılmaktadır. Bu uygulamalardan biri de jeotermal enerji kaynaklarının kullanımıdır. Jeotermal kaynakların akuakültürde kullanımı ile su sıcaklığı optimum değerlerde korunarak canlıların gelişme periyodundan daha kısa sürede daha fazla ürün elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: akuakültür, jeotermal kaynak.

ABSTRACT

Aquaculture involves the raising of freshwater or marine organisms in a controlled environment to enhance production rates. New applications investigate for raising species present raised or alternative and enhancing present production. Utilization of geothermal sources is the one of the these application. A good supply of geothermal water, by virtue of its constant temperature, can therefore "outperform" even a naturally mild climate. More fish can be produced in a shorter period of time if geothermal energy is used in aquaculture.

Keywords: aquaculture, geothermal resources.

1. AKUAKÜLTÜR NEDİR?

Akuakültür, üretim miktarını arttırmak amacıyla hayvansal(balık,kabuklu,yumusakca ve (eklembacaklılar) ve bitkisel (algler) su canlılarının kontrollü ve yarı kontrollü şartlar altında insan gıdası, stok takviyesi, süs, sportif ve bilimsel amaçlı üretilmesi faaliyetleridir. Günümüzde dünyanın en hızlı büyüyen gıda sektörüdür ve dünya besin gereksiniminin önemli bir kısmını karşılayan temel bir endüstridir. Ülkemizdeki akuakültür üretim miktarı 2006 yılı verilerine göre 128943 ton gerçekleşmiştir (Çizelge1, Çizelge2).

Çizelge 1.Türkiye'de Avcılık ve Akuakültür Yoluyla Elde Edilen Su Ürünleri Miktarları(Ton)(TUIK,2006)

Yıllar	Avcılık				Yetiştiricilik		Toplam
	Deniz	%	İçsu	%	Miktar	%	
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
2006	488.966	74	44.082	7	128.943	19	661.991

Çizelge 2. 2006 yılı akuakültür yolu ile elde edilen su ürünleri türleri(TUIK, 2006)

Türler	Çipura	Levrek	Alabalık	Midye	Sazan	Diğer su ürünleri
Miktar(Ton)	28463	38408	56026	1545	668	2200

Dünyada ve Türkiye'de su ürünleri yetiştiriciliğinin gelişmesinde temel faktörler şunlardır:

- Gıda ihtiyacı
- Doğal stokların azalması ve bu kaynakların korunması
- Tarıma elverişli olmayan arazilerin verimli kullanılması
- Ekonomik değerinin yüksek olması
- Besinsel değerinin yüksek olması
- Geleneksel tarımın diğer dalları ile entegre edilebilmesi
- İstihdama imkan vermesi

Akuakültürde mevcut yetiştiriciliği yapılan ya da alternatif türlerin yetiştirilebilmesi ve mevcut üretiminin artmasını sağlamak amacıyla yeni uygulamalar araştırılmaktadır. Bu uygulamalardan biri de jeotermal enerji kaynakların kullanımınıdır. Su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarının gerektirdiği sıcaklıklar diğer jeotermal uygulamalar için düşük sıcaklıklardır ve bu anlamda pek çok düşük sıcaklıklı kaynak atıl kalmaktadır. Yetiştiriciliği yapılan canlıların gelişiminde en önemli etken su sıcaklığıdır. Su sıcaklığı optimum değerlerin altına düştüğünde canlıların yem alma kabiliyeti azalmakta ve gelişimi yavaşlamaktadır. Su sıcaklığı optimum değerinin altına düştüğünde balığın temel vücut metabolizması etkilendiğinden beslenememektedir. (Johnson, 1981) Jeotermal enerjinin sabit sıcaklığı, doğal ve yumuşak bir iklim sağlamaktadır. Dış hava sıcaklığı genellikle kara hayvanlarından daha çok sucul canlıları etkilemektedir. Bu yüzden jeotermal enerjinin akuakültürde kullanım potansiyeli küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinden daha fazladır. Jeotermal kaynakların akuakültürde kullanımı ile su sıcaklığı optimum değerlerde korunarak canlıların gelişme periyodundan daha kısa sürede daha fazla ürün elde edilebilmektedir. (Barbier ve Fanelli, 1977).

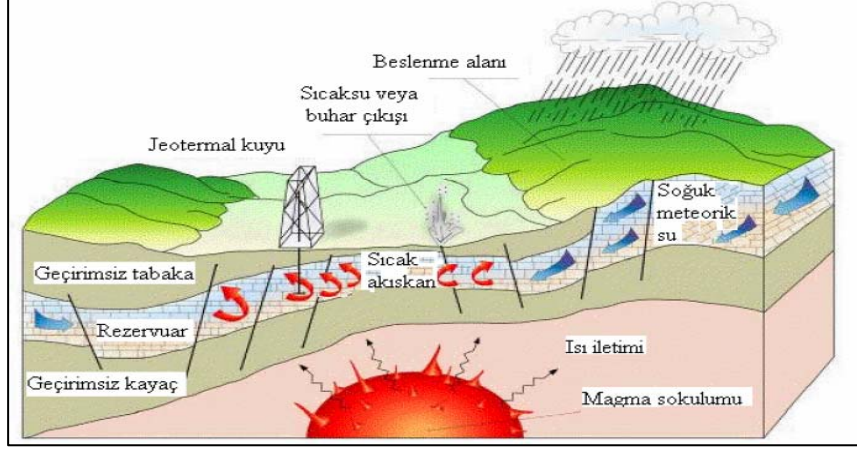
Akuakültür için sıcaklık, çözülmüş oksijen, nitrojenli bileşikler, pH, karbondioksit, tuzluluk en önemli su kalite kriterleridir. Jeotermal akışkanlar yüksek miktarda kimyasal madde, gaz, çözülmüş katı ve tuz içerdikleri için kimyasal kaliteleri tüm su canlılarının yetiştiriciliğinde doğrudan kullanıma uygun olmayabilir. Özellikle, sıcak suların çıktığı sistem ve sıcak suları kontrol eden jeolojik kayalara bağlı olarak önemli oranda toksik metal içerebilmektedir (Şimşek, 2005). Bu toksisitesi yüksek elementler gerek canlı gerekse canlıları besin kaynağı olarak kullanan insanları etkileyebilmektedir. Bu kapsamda sıcak suların doğrudan kullanımını engelleyebilmektedir. Bunun yerine kapalı devre sistemlerde, su sıcaklığının sürekliliğini sağlamak için enerji kaynağı olarak yararlanmak mümkündür. Bu durumda jeotermal akışkanın enerjisinin temiz suya aktarıldığı eşanjör sisteminin kullanılması gereklidir (Berdondini vd., 1995).

2. JEOTERMAL KAYNAK NEDİR?

Jeotermal kaynak, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde 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. Jeotermal enerji ise yerkabuğu içindeki büyük miktarda enerjinin yeryüzüne ulaşması ile açığa çıkan ısı enerjisidir.

Günümüzde yararlanılan jeotermal enerji kaynakları, yeryüzeyinden yaklaşık 2000 m derinliğe kadar olan bölgelerden su veya buhar üretimi ile sınırlıdır. Yerkabuğundaki her sıcak bölge, jeotermal enerji üretimi için uygun olmayıp, bu enerjinin yeryüzeyine ulaşması için taşıyıcı akışkan olarak suyun dolaşımını sağlayacak jeotermal koşulların oluşması gereklidir. Bu şartları sağlayan jeotermal enerji sahaları yeryüzü üzerinde sınırlı bölgelerde bulunmaktadır. Ülkemiz bu açıdan zengin bir potansiyele sahip olup, yapılan araştırmalarda bugüne kadar toplam ısı üretim kapasitesi 2420 MW olan 600'den fazla jeotermal kaynak belirlenmiştir. MTA'nın araştırmalarına göre ülkemizin muhtemel jeotermal potansiyeli 31500 MW'dır. Toplam 31500 MW'tan oluşan jeotermal ısı potansiyeli ile Avrupa'da birinci, dünyada yedinci sırada yer alan Türkiye, jeotermal ısı kullanımında dünyada ilk 5 ülke arasında yer almaktadır ve mevcut kaynakların 1177

MWt'u doğrudan ısı üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye'de bugün yenilenebilir kaynak kullanımında jeotermal enerji üçüncü sırada yer almaktadır (DEK-TMK, 2006).



Şekil 1. İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi

Ülkemizde jeotermal enerji 1960'lı yıllara kadar sadece banyolarda ve kaplıçalarda tedavi amaçlı olarak kullanılmış, bu tarihten sonra diğer uygulama alanlarına da geçilmiştir. 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ve jeotermal kuyu ile sıcaklığı 40-242°C arasında değişen 170 adet jeotermal saha mevcuttur. Bu da ülkenin önemli bir jeotermal potansiyele sahip olduğunu gösterir. Bu kaynaklar tüm Türkiye'ye dağılmış olmakla birlikte çoğu Batı, Kuzey-Batı ve Orta Anadolu'da toplanmıştır. Mevcut jeotermal potansiyelin %87'si Ege Bölgesi'nde bulunmaktadır. (TJD, 2006). Türkiye'de gerçekleştirilen uygulamalar şehir/bölge ısıtma, ısı pompası, sera ısıtma, yüzme havuzu ısıtma, fizik tedavi merkezi ve kaplıca uygulamaları ile bazı endüstriyel uygulamalardır (DEK-TMK, 2006; TJD, 2006). Türkiye'de mevcut kullanımın 645 MWt'ünü konut ısıtmacılığı, 131 MWt'ünü seracılık uygulamaları ve 327 MWt'u ise kaplıcalar ve banyo uygulamalarında kullanılmaktadır. (MTA,2007)

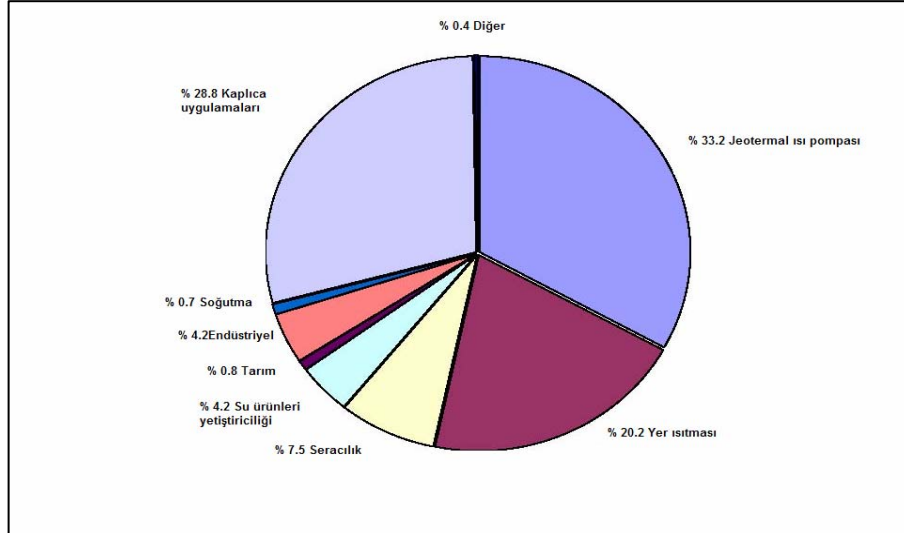
Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji, sıcaklık içeriğine göre kabaca üç gruba ayrılır (Çizelge 3):

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

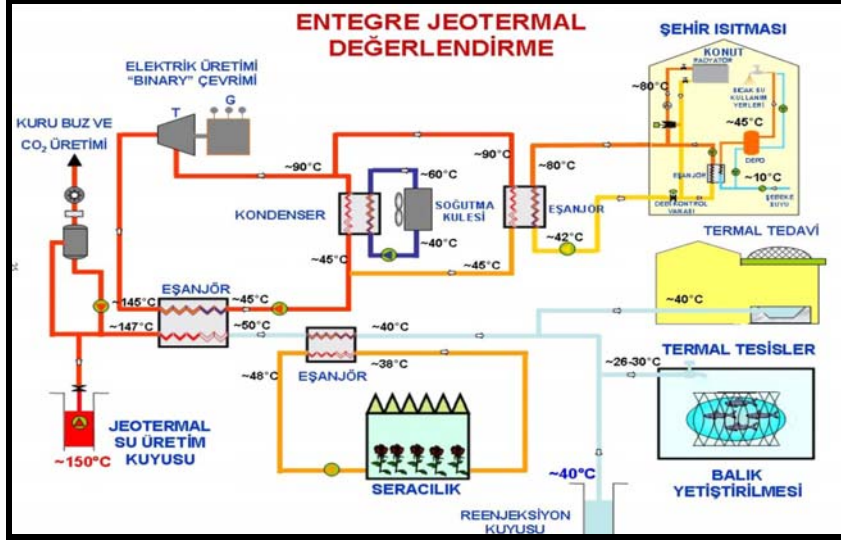
Jeotermal enerji kullanımı dolaylı, doğrudan ve entegre olmak üzere üç grupta toplanabilir. Akuakültürde kullanılan jeotermal kaynaklar daha çok düşük sıcaklıklı kaynaklardır. Yüksek ve orta sıcaklıklı kaynaklar ise entegre kullanım için daha uygundur (Şekil 2, Şekil 3).

Çizelge 3. Jeotermal kaynakların sıcaklıklarına bağlı olarak kullanım alanları (Lindal, 1973).

°C	Jeotermal Akışkanın Kullanım Alanları
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer's yöntemiyle alüminyum eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (konservecilikte)
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120	Temiz su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
110	Çimento kurutulması
100	Organik maddeleri kurutma, (yosun, et, sebze vb.) yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtma
70	Soğutma
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri
20	Balık çiftlikleri



Şekil 2. Dünyada jeotermal enerjinin doğrudan kullanıldığı alanlar (Lund vd., WGC 2005, Antalya)



Şekil 3. Jeotermal Kaynakların entegre olarak kullanımı

Jeotermal kaynaklardan faydalanılarak yetistiriciliği yapılacak başlıca türler ve gelişme periyodları Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Yetistiriciliği yapılabilecek başlıca türler

Türler	Dayanabildiği Minimum ve Maksimum Su Sıcaklığı (°C)	Optimum Büyüme Sıcaklığı (°C)	Pazar Boyu Büyüme Periyodu
Karides Türleri	10 35	27-30	4-6 ay
Yayıngiller	2 30	27-30	12 ay
Yılanbalığı	0 35	22-30	12 ila 18 ay
Tilapia	8 40	24-30	2-3 ay
Sazan	4 37	24-30	12 ay
Alabalık	0 20	16-18	6 ila 8 ay (4-6 ay)
Levrek-Çipura	3 34	22-24	12-18 ay
Mersin Balığı	4 32	22-24	12-18 ay
Istakoz	0 32	22-24	18-30 ay
Kerevit	0 35	14-23	12-18
Tropikal Süs Balıkları	10 35	23-27	2-3 ay

2.1. Neden Jeotermal?

Yenilenebilir, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması

Türkiye gibi jeotermal enerji açısından şanslı ülkeler için bir özkaynak teşkil etmesi,

Temiz ve çevre dostu olması

Yanma teknolojisi kullanılmadığı için sifıra yakın emisyonu sebebiyet vermesi

Konutlarda, tarımda, endüstride, sera ısıtmasında ve benzeri alanlarda çok amaçlı ısıtma uygulamaları için ideal şartlar sunması

Rüzgar, yağmur, güneş gibi meteoroloji şartlarından bağımsız olması, kullanıma hazır niteliği
Fosil enerji veya diğer enerji kaynaklarına göre çok daha ucuz olması
Arama kuyularının doğrudan üretim tesislerine ve bazen de reenjeksiyon alanlarına dönüştürülebilmesi
Yangın, patlama, zehirlenme gibi risk faktörleri taşımadığından güvenilir olması
% 95'in üzerinde verimlilik sağlaması
Diğer enerji türleri üretiminin (hidroelektrik, güneş, rüzgar, fosil enerji) aksine tesis alanı ihtiyacının asgari düzeylerde kalması
Yerel niteliği nedeniyle ithalinin ve ihracının uluslararası anlaşmazlık, krizler, savaşlar gibi faktörlerden etkilenmemesi
Konutlara fuel-oil,mazot,kömür,odun taşınması gibi problemler içermediği için yerleşim alanlarında kullanımının rahatlığı

3. JEOTERMAL AKUAKÜLTÜR UYGULAMALARI

2005 Dünya jeotermal kongresinde 17 ülke jeotermal akuakültür tesisinin bulunduğunu bildirmiştir. Bu konuda önde gelen ülkeler ABD, Çin, İzlanda ve İtalya'dır. Jeotermal su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında en fazla üretilen türler ise tilapia,som balığı ve alabalıktır. Ayrıca karides türleri, yayın balığı, böcek(istakoz,kerevit), çipura, levrek, yılan balığı, tropik türler, timsah yetiştiriciliği de yapıldığı belirtilmiştir. Fakat ülkelerin yetiştirdiği türler ve miktarları hakkında detaylı bilgi verilmemiştir(Lund *vd.*,2005). Amerika'da yapılan bir çalışmaya göre havuzlarda yapılan yetiştiricilik de gereken jeotermal enerji 0.242 TJ/yıl/ton balıktır. Son 5 yılda Amerika'da doğrudan jeotermal kullanımında yetiştiricilik yapılan toplam bölge sayısı 58'e çıkmıştır ve belirtilen kapasite 140 MWt ve yıllık enerji kullanımı 3012 TJ(833 Gwh/yıl)dır.

Jeotermal akışkanın su ürünleri yetiştiriciliği uygulamaları ile ilgili ulaşılan yayınların önemli bir kısmı ABD'den örnekleri içermektedir. ABD mevcut kaynaklarının % 35 lik kısmını akuakültürde değerlendirmektedir.ABD de jeotermal enerjiden yararlanan 58 çiftlik bulunmaktadır ve bu işletmeler Idaho,Utah,Kaliforniya ve Oregondadır.Oregon da bulunan Geo-Heat merkezi işletmeciler için gerekli projeleri oluşturmakta ve fizibilite çıkarmaktadır (Lund *vd.*,2005). Imperial Valley-Kaliforniya'da yarı kapalı toprak havuzlarda jeotermal enerji kullanılarak balık yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu bölgede yer alan 15 balık çiftliğinde jeotermal enerji kullanımı ile kış mevsiminde de balıkların optimum büyümesi için gerekli su sıcaklığı sağlanarak yılda 4500 ton tilapia üretilmekte ve bölge ihtiyacının büyük bir kısmı buradan karşılanmaktadır (Rafferty,1999).

ABD' de Pacific Aquafarm'da yapılan su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında kanal yayın balığı yetiştirilmektedir. 380 lt/saat 32°C'de artezyen jeotermal kuyularından sağlanan su, akarsu ve kaynaklardan gelen soğuk su ile optimum gelişim sıcaklığı olan 27-29°C'ye düşürülerek kullanılmaktadır. Jeotermal ısı özellikle kış aylarında sabit su sıcaklığının sürekliliğini sağlayabildiği gibi yıllık binlerce dolarlık işletme kazancını da korumaktadır (Fridleifsson, 1995).

Çizelge 5. Dünyadaki Jeotermal Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üretimi (Lund vd., 2005)

Ülke	Jeotermal Enerji Kullanımı(TJ/yıl)	Su Ürünleri Üretimi (Ton)
Amerika	3012	12446
Çin	1921	7938
İzlanda	1680	6942
İtalya	1488	6149
İsrail	989	4087
Gürcistan	492.6	2035.5
Yeni Zelanda	363	1500
Fransa	309.3	1278
Japonya	212.3	877
Sırbistan	211	872
Slovakya	72.4	299
Yunanistan	72	297.5
Romanya	65	268.5
Diğer(Macaristan,Ürdün,Arjantin,Belçika,İran,vd.)	81.4	336.9
TOPLAM	10969	45326.4

Oregon Institute of Technology, Klamath Falls-Oregon'da tropik balık yetiştiriciliği de yapılmıştır. Seradan çıkan 37 °C jeotermal akışkan dar tropik balık havuzuna toprak hattan verilmiştir.Havuzlar, 30 m uzunluğunda, 4 m genişliğinde ve 1-1.4 m derinliğindedir. 23 °C sabit sıcaklığı sağlamak için 7 TJ/yıl jeotermal ısı kullanılmıştır. 85 çeşit toplam 250000 akvaryum balığı ABD'nin batı kıyısında satılmak üzere hava yolu ya da tırlarla satış yerlerine ulaştırılmıştır.Jeotermal enerji kullanılarak bu tesiste yıllık 100000 US\$ kazanç sağlanmıştır (Lund,1994).

Ayrıca ABD -Lousiana da ocak ayında yapılan yayın balığı yet. de 36 °C jeotermal akışkan kullanılarak 400 m³ lük kapalı havuzların sıcaklığı 10 °Cden 27°C ye yükseltilmiştir.Bunu sağlamak ve sürdürmek için 40 gün süresince her havuza gereken toplam enerji 61.6 X 10¹⁰ J (17.1 X 10⁴ kWh) olarak hesaplanmıştır.Toplam 3.5 ay için dizel yakıt maliyeti 6388 dolar iken geotermal enerji maliyetinin 3432 dolar olduğu belirtilmiştir (Lamoureux, J. 2003).

Düşük entalpili jeotermal akışkanlar, Porto Lagos – Yunanistan'da kışın çeşitli balık türlerinin yetiştiriciliği için dalyanlarda donmayı önlemek için kullanılmıştır. Bu şekilde kullanılan sistemle,su sıcaklığı 5 °C'lik sıcaklık artışı sağlanmıştır. Havuzlara jeotermal sular eşanjörden geçirilerek verilmiştir. Jeotermal sular havuzlara verildikten sonra elde edilen türlerden biri olan çipura üretiminin 3 kat arttığı gözlenmiştir (Gelegenis vd.,2006).

Jeotermal kaynaklar farklı alg türleri için zengin mikro ve makro elementlere sahiptir ve bunların kültüründe iyi bir besin ortamı sağlamaktadır.Yunanistan ve Bulgaristanda Mart-Ekim aylarında aynı zamanda yürütülen bir çalışmada Spirulina(mavi-yeşil alg) kültüründe % 5-10 artış gözlendiği ve kullanılan mineral tuzların maliyetinde de düşüş bildirilmiştir.Ayrıca alg krutmada da jeotermal kaynaklardan faydalanılmıştır.Jeotermal kaynaklar ve mevsim şartlarına göre Yunanistanda daha iyi sonuç alındığı belirtilmiştir.Elde edilen spirulina kapsül olarak değerlendirilmiştir (Lund vd.,2005).

Ülkede en çok yet. türler, sazan, ot sazanı, yılan balığı, kurbağa, su kablumbağası ve karides türleridir. Ülkedeki mevcut tüketimin % 15 i akuakültürde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda 6 m³ jeotermal su/kg balık tespit edilmiştir. Imperial Valley-Kaliforniya'da yarı kapalı toprak havuzlarda jeotermal enerji kullanılarak balık yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu bölgede yer alan 15 balık çiftliğinde jeotermal enerji kullanımı ile kış mevsiminde de balıkların optimum büyümesi için gerekli su sıcaklığı sağlanarak yılda 4500 ton tilapia üretilmekte ve bölge ihtiyacının büyük bir kısmı buradan karşılanmaktadır (Rafferty, 1999).

3.1. Jeotermal Akuakültür Uygulamalarının Avantajları ve Dezavantajları

3.1.1. Avantajlar

Yıl boyunca sabit sıcaklık eldesi. Kısa sürede canlıyı pazar ağırlığına ulaştırma
Olumsuz su sıcaklığından etkilenen ve yetiştiriciliği yapılan su canlıları bu koşullarda kolayca yetiştiriciliği yapılabilir olması
Halkımıza - özellikle termal turizmle entegre olması halinde - her zaman taze ve bol miktarda balık sunabilme imkanı sağlaması
Entegre Jeotermal Değerlendirme kapsamında kuyudan alınan su çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra reenjeksiyon Kuyusuna verilmeden önce balık üretiminde rahatlıkla kullanılabilme imkanına sahip olması. Mevcut iklim şartları yüzünden yetiştiriciliği yapılamayan türlerin yetiştiriciliğinin gerçekleştirilebilmesidir.

3.1.2. Dezavantajlar

İçerisinde bazı zararlı gazların ve minerallerin olması akuakültür işletmelerinde jeotermal kaynaklardan faydalanmak için gerekli sistem kurulumunun yüksek maliyet gerektirmesi

4. SONUÇLAR

Jeotermal enerjinin yeteri kadar hızlı gelişmemesinin en önemli nedenlerinden biri uzun yıllardan beri jeotermal enerjiye yatırım yapılmamasıdır. Bunun nedeni de bu sektörün gelişimini sağlayacak jeotermal yasanın olmaması, ilk yatırım masraflarının fazla olması, riskli olması ve gerekli teşvik sisteminin bulunmamasıdır. Diğer yandan düşük entalpili jeotermal sahaların yerleşim alanlarının ısıtılmasında, s eracılıkta ve bazı endüstrilerde kullanılmasını içeren projeler ve uygulamalar devletin belirgin bir jeotermal enerji politikasından çok yerel yönetimlerin veya kişilerin çabaları ile gerçekleşmektedir. Enerji korunumunun mutlak şart olarak kabul edilmesinin dışında geri dönüşebilen enerji kaynaklarının daha ön plana alınıp kullanımının yaygınlaştırılması dünyanın ve ülkemizin hem enerji tasarrufunda hem de hava kirliliğini önlemede vazgeçilmez bir çözüm yoludur.

Türkiye olarak bu yaygın kullanımı akuakültür sektöründe ülkemiz yararına sunmamamız için hiçbir neden bulunmamaktadır. Ekolojik tahribatı göz önüne alınarak jeotermal potansiyelin en verimli bir şekilde kullanımına geçirilmesi ülkemize büyük yarar sağlayacaktır. Ülkemizde jeotermal kaynakların kullanım alanının artırılması ve

akuakültürde enerji tasarrufu sağlanarak maliyetin düşürülmesi ve mevcut üretimin geliştirilebilmesi ile birlikte yeni türlerin yetistirciliği için jeotermal akuakültürün ülkemizde uygulanmaya başlanması gerekmektedir. Jeotermal akuakültür üretimi ile artan nüfusun protein ihtiyacının karşılanmasının yanı sıra yeni istihdam imkanlarının yaratılması ve ihracatın gelişiminin sağlanması ile ülke ekonomisine büyük katkı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Barbier, E. and M. Fanelli, 1977. "Non-Electrical Uses of Geothermal Energy." *Progr. Energy Combustion Sci.*, 3, pp. 73-103.
- Berdondini, F.; Bronzi, P.; Burgassi, P.D.; Marconcini, R.; Pignatari, M. and H. Rosenthal, 1995. Utilization of Geothermal Source in a Closed-Cycle Aquaculture System in Italy: Preliminary Results, *Proceedings of the World Geothermal Congress, Vol. 3*, pp: 2309-2312, Florence, Italy.
- Borghetti, G., Cappetti, G., Carella, R., Sommaruga, C., 2005. Direct Uses of Geothermal Energy in Italy 2000-2004 Update Report, *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Turkey*.
- DEK-TMK web site, 2006. www.dektmk.org.tr
- FAO,1996. Hungary for Fish.
- Fridleifsson, G., Benediktsson, B., Georgsson, L.S., Olafsson, M., Matthfason, J., Johannsson, I., 1995. Very Geothermal Utilization In Fish Farming In Iceland From The Iceland, *Proceedings of the World Geothermal Congress, Vol. 3*, pp: 2299-2304, Florence, Italy.
- Gelegenis, J., Dalabakis, P., Ilias, A., 2006. Heating of a fish wintering pond using low-temperature geothermal fluids, Porto Lagos, Greece, *Geothermics* 35 (2006) 87-103.
- Jeotermal Dergisi,2007.
- Johnson, W.,1981. Use Of Geothermal Energy For Aquaculture Purposes, Phase III-Final Report, Geo-Heat Center, USA.
- Lindal, B., 1973. Industrial and other applications of geothermal energy, 135-148, *Geothermal Energy*, Armstead, H.C.H. (Ed.), UNESCO, Paris.
- Lund, J.W.,1994. "Agriculture & Aquaculture Cascading the Geothermal Way." *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Vol.16, No.1, pp.7-9.
- Lund, J. W.,Lienau, P. J., Rafferty, K., Culver, G., 1994. REFERENCE BOOK ON GEOTHERMAL DIRECT USE, U.S. Department of Energy Geothermal Division.
- Lund, J.W., Freeston, D.H., Boyd, T.L., 2005. World- Wide Direct Uses of Geothermal Energy, *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Turkey*.
- MTA Genel Müdürlüğü, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri Seri no:201, Ankara.
- Rafferty, K., 1999. "Aquaculture in the Imperial Valley -A Geothermal Success Story," *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Vol. 20, No. 1 (March), KlamathFalls, OR, pp. 1-4.
- Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Bakır, N., Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö., 2005. Geothermal Energy Utilisation, Development and Projections - Country Update Report (2000-2004) of Turkey, *Transactions of World Geothermal Congress, Antalya-Turkey*
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK),2006. www.tuik.gov.tr
- Türkiye Jeotermal Derneği(TJD) Web sitesi, 2006. www.jeotermaldernegi.org.tr

DOĞAL MİNERALLİ SULARIN MEVZUAT AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ASSESSMENT OF NATURAL MINERALIZED WATERS IN TERMS OF REGULATION

Güngör N.¹

¹ Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
ngungor@migem.gov.tr

ÖZET

Ülkemiz pek çok yeraltı kaynağında olduğu gibi doğal mineralli sular açısından da önemli bir avantaja sahiptir. Ancak bugün itibariyle bu doğal sermayemizin çok azından yararlanabilmekteyiz. Bunun nedenleri arasında yatırımcıyı teşvik edici, bürokrasiyi azaltan dinamik ve uygulanabilir yeterli bir mevzuatın olmayışı gelmektedir. Doğal mineralli suların yararlanmak, doğal sermayeden doğrudan yararlanmak demek olup, bu husus 21.yüzyılın ilk yarısından itibaren dinamik ve uygulanabilir bir devlet desteğini ön planda tutan mevzuat ile mümkün olabilecektir. Bugüne kadar bu kaynağa dayalı yatırım yapılmamasının nedenleri arasında ülkemiz jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini dikkate alan yatırımcıyı teşvik eden ve bu çok önemli doğal kaynağı tanıtan yeterli bir mevzuatın olmayışı gelmektedir. İslam hukukunda tüm sular, bir bütünsellik anlayışıyla değerlendirilmiştir. İslam hukukunda toprağın devletin mülkiyetinde olması ve kişilere salt kullanma (intifa) hakkı verilmesi genel bir ilke olduğundan, doğal düzen içinde bulunan sular üzerinde özel mülkiyet söz konusu edilmemiştir. Bu nedenle suların kullanılmasına ilişkin esaslar Devlet tarafından yürütülmüştür. Ancak İslam hukukunun temelinde teamül büyük önem taşıdığından, eskiden beri kullanılagelen şekle ve kullanıcılara saygılı olunmuştur. Başka bir deyişle, suyu kullananların fiili yararlanma durumları, mülkiyet hakkı immişçesine korunmuştur. Ancak bu kullanım (intifa) hakkı daha sonra niteliğinden öte bir statüye kavuşturulmuştur. Kullanım hakkı ise; devletin tasvip ve izniyle fermanlarla oluşturulmuştur. Sularla ilgili anlaşmazlıklar ise fetvalarla çözümlenmiştir. 1839 Gülhane Fermanı ile Batı dünyasına pencere açan Osmanlı İmparatorluğu, 1856 Islahat Fermanı ile de hukuk düzenini şekil yolu ile de olsa Avrupa hukukuna yaklaştırma anlayışını yerleştirmeye çalışmıştır. 1879 yılından 1926 yılına kadar yürürlükte kalan bu kanun, özel hukuk kurallarının bir bölümünü korurken, sular konusunda özel hukuk açısından ilginç maddeler koymuştur. 1921 ve 1924 yıllarına ait anayasalarda yer altı kaynakları ya da doğal servetlerle ilgili bir hüküm yer almadığından, doğal mineralli sular ile ilgili bir düzenleme yapılmamıştır. Yer altı kaynaklarının devletin

“hüküm ve tasarrufu” altına alınması ilk kez 1961 Anayasası ile mümkün olmuştur. Anayasa formunda 1961 yılından itibaren esasında her yer altı kaynağına dayalı kanun normunda bir düzenleme yapılabileceği açıktır. Ancak bugüne kadar yatırımcıyı layıkıyla teşvik eden, bu kaynak ile doğrudan ilgili ve sektörün tüm ihtiyaçlarına cevap verebilecek, yatırımcıyı teşvik edici, dinamik ve ülkemiz koşullarına uygun yeterli bir düzenleme yapılamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal mineralli sular, mevzuat

ABSTRACT

Our country has an important advantage in terms of natural mineralized waters. Today, despite this fact, we benefit from minor of our natural capital. Among the reasons for this situation, these facts could be counted; inadequate prompting for investors, nonexistence of a dynamic and an applicable regulation decreasing bureaucracy. While benefiting from natural mineralized waters means also benefiting from natural capital, this could only happen by applying a dynamic and an applicable regulation that keeps state support in the foreground at the first half of 21st century. The reason for the fact that there has been no investment on this source so far is nonexistence of a regulation encouraging investors and taking into consideration geological and hydro geological characteristics of our country and promoting these sources. All waters in Islamic Law have been integrally assessed. Since, in Islamic Law, soil is a property of state and given to usage of persons as a benefit right, private property of natural waters has not been discussed. Therefore basis related to usage of waters has been executed by State. However, since precedent has important place in Islamic Law, the traditional shape and usage has been respected. In other say, water benefit status has been saved as if it is a property right. Usage right has been decided by state allowance with a firman. Fetva resolved the disagreements about water. Ottoman Empire, opening to west with 1839 Gülhane Firman (Gülhane Fermanı), tried to place adaptation of law order of the European law even in a shape manner with 1856 Reform Firman (Islahat Fermanı). This law had been in execution from 1879 to 1926. While private law rules had been saved, on the other hand special items about water had been issued in this law. Although, there was an arrangement about natural under ground sources in 1921 and 1924 constitutions, there was no arrangement about natural mineralized waters. The first arrangement has been done about under ground sources stated as “state’s determination and disposition” in 1961 constitutions. In 1961 constitution, it is obvious that an arrangement could be done in a law norm based on each under ground source. However, there has been no dynamic and appropriate arrangement about this source encouraging and replying necessities of investors and sector.

Key Words: Natural mineralized waters, regulations

Bölüm 3

**TERMAL SULARIN
ÇEVRE İLE ETKİLEŞİMİ**

JEOTERMAL ALANLARDA KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF PROTECTION AREAS IN GEOTHERMAL FIELDS

AKAN B¹. ve DAĞISTAN H.¹

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.
bakan@mta.gov.tr, hayrullah@mta.gov.tr

ÖZET

Günümüze kadar yapılan birçok çalışmada jeotermal sistemler tükenmez bir doğal kaynak olarak görülmüş ve sistemden faydalanılırken mevcut veya planlanan işletme koşullarının sistem üzerindeki etkilerinin öngörülmesine yönelik çalışmalar yapılmaksızın, sıcak suyun yüzeye çıkarılarak kullanımına ilişkin faaliyetlerde bulunulmuştur. Tüm doğal enerji kaynaklarında olduğu gibi jeotermal sistemlerde de sürdürülebilirlik kavramı büyük bir önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında, jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması bu kaynakların korunmasına bağlıdır. Bu durumda jeotermal alanlarda koruma alanı çalışmalarının yapılması hem jeotermal kaynağın dolayısıyla da jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın bir takım çevresel etkenlerle kirlenmesinin önlenmesi, hem de rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarında meydana gelebilecek olumsuz değişimlerin önüne geçilmesine yönelik tedbirler alınması bakımından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, jeotermal alanlarda jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya çalışmaları ve bunlara ilaveten jeotermal akışkanın kuyular aracılığı ile yüzeye çıkarıldığı alanlarda ise yapılacak kuyu testleri sonucunda elde edilecek bilgiler ışığında jeotermal rezervuarın korunmasına yönelik koruma alanı zonları belirlenmeli, bu zonlar hem jeoloji haritasına hem de imar haritalarına işlenmelidir. Bu zon sınırları içerisinde alınması öngörülen tedbirler titizlikle uygulanmalıdır.

Anahtar Sözcükler: jeotermal, koruma alanları, termal su

ABSTRACT

As a general belief, the geothermal systems are regarded as endless natural reservoirs and therefore, they are put into use without the knowledge of the hydrodynamic behavior of the aquifer, an essential knowledge required for an efficient management that will sustain the reservoir. The concept of sustainability has great importance in all energy resources including geothermal energy. From this point of view, the sustainability of geothermal resources related with protection of geothermal springs. In this case the protection areas are of vital importance so as prevent contamination of geothermal reservoir and take measures to prevent possible negative change of pressure and temperature conditions at reservoir. According to data from geology, hydrogeology study and well tests results, the boundary of protection zone of geothermal area should have determined to protect the geothermal reservoir. These boundaries should have shown at geology map and public improvements map. In these boundaries the measures should be taken and put into practice.

Key words: geothermal energy, protection areas, thermal waters

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi, enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanımını ve yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını öncelikli hale getirmiştir. Fosil enerji kaynaklarının önümüzdeki yüzyıllarda tükenme ihtimaline karşı yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan araştırmalar yoğunluk kazanmakta ve bu kapsamda çeşitli projeler geliştirilmektedir. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerjiye tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yoğun ilgi gösterilmesine neden olmaktadır.

İlk çağlardan günümüze kadar sadece sağlık amacıyla kullanılan jeotermal enerjiden günümüzde ısıtmacılık (konut, sera hayvan çiftliklerinin ısıtılması) başta olmak üzere endüstride (yiyeceklerin kurutulması, konserve edilmesi, soğutma tesisleri) ve kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, amonyum sülfat vb. kimyasal maddelerin üretimi, kuru buz üretimi) yararlanılmaktadır. Bunun yanı sıra orta sıcaklıktaki jeotermal sahalardan üretilen akışkandan elektrik üretiminde ve yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen akışkandan ise elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da yararlanılmaktadır. Tüm doğal enerji kaynaklarında olduğu gibi jeotermal sistemlerde de sürdürülebilirlik kavramı büyük bir önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında, jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması bu kaynakların korunmasına bağlıdır. Bu durumda jeotermal alanlarda koruma alanı çalışmalarının yapılması hem jeotermal kaynağın dolayısıyla da jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın bir takım çevresel etkenlerle kirlenmesinin önlenmesi, hem de rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarında meydana gelebilecek olumsuz değişimlerin önüne geçilmesine yönelik tedbirler alınması bakımından önem taşımaktadır.

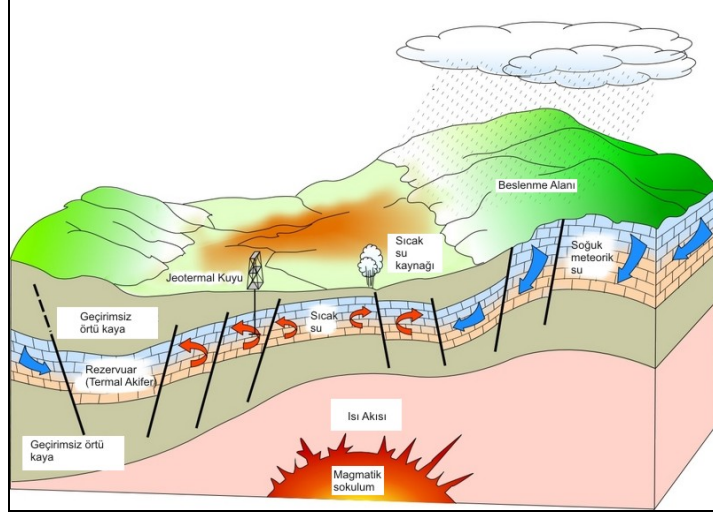
2. JEOTERMAL SİSTEMİN TANIMLANMASI

Jeotermal sistemlerde koruma kavramı iki ayrı başlık altında ele alınmalıdır. Bunlardan bir tanesi jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın (termal akifer) kirletici unsurlardan korunmasıdır. Bir diğeri ise rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarının korunması ve böylelikle jeotermal sistemin uzun yıllar boyunca kullanımının sağlanarak gelecek nesillere aktarılmasıdır. Dolayısıyla bir jeotermal alanda koruma alanı çalışması yapılırken bu iki unsuru göz önüne alacak şekilde bir planlamanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda jeotermal sistemi oluşturan bileşenler doğru olarak tanımlanmalıdır (Şekil 1). Bu amaçla rezervuara ait şu özelliklerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır:

- Jeotermal alanının jeolojisi
- Birimlerin hidrojeolojik özellikleri
- Rezervuar kaya (akifer), örtü kaya ve beslenme alanı
- Rezervuarın boyutu, sınırları ve yayılımı
- Doğal boşalmalar (kaynak) ve bunlara ait fiziksel özellikler
- Kuyulardan elde edilen akışkana ait bilgiler (debi, sıcaklık vb. fiziksel özellikler)
- Yüze ve yüzeyaltı jeofizik verileri
- Rezervuara ait sıcaklık dağılımı
- Rezervuara ait basınç dağılımı
- Düşey basınç gradyanı dağılımı
- Yeraltısuyu akım yönü ve seviye değişimleri
- Permeabilite dağılımı
- Hidrojeokimyasal veriler
- İzotop verileri

Bu listede yer alan özelliklerin tamamının elde edilmesi tüm rezervuar tipleri için mümkün olmayabilir. Ancak koruma alanlarının sınırlarının doğru bir şekilde belirlenmesi bu listede yer alan özelliklere ait bilgilerin elde bulunması ve yorumlanması ile yakından ilgilidir. Yukarıda sıralanan verilerin elde edilmesi amacıyla jeotermal alanda, detaylı jeoloji, hidrojeoloji, jeofizik, hidrojeokimya, izotop çalışmaları, kuyu testleri ve izleme testleri yapılmalıdır. Jeoloji çalışmaları kapsamında jeotermal alanın uygun ölçekte detaylı jeolojisi çıkarılmalı, litolojik olarak alanda yüzeyleyen birimler ayırtlanmalı, alanın tektonik özellikleri incelenmelidir. Hidrojeoloji çalışmaları ile inceleme alanında gözlenen birimlerin hidrojeolojik özellikleri tanımlanmalı, jeotermal sistemi oluşturan rezervuar kayaç (akifer) ve örtü kayaçlar belirlenmelidir. Alanda suyun akım yönü ve seviyesi belirlenmelidir. İzotop çalışmaları neticesinde elde edilecek veriler ışığında beslenme alanı, suyun yaşı, kökeni ve dolaşım sistemi hakkında bilgi edinilmelidir. Hidrojeokimyasal çalışmalar ile jeotermal suyun geçirdiği hidrojeokimyasal süreçler ortaya konmalı ve alandaki soğuk sular ile ilişkisi araştırılmalıdır. Bu kapsamda termal sulara ait kimyasal türlerin zamana ve konuma bağlı değişimlerini karakterize edecek şekilde planlanmış bir hidrokimya çalışması yapılması büyük yarar sağlamaktadır (U.S.EPA, 1994). Bilindiği gibi ülkemizde bulunan jeotermal sistemler sıvı ağırlıklı sistemlerdir. Bu tür sistemler sının alınmasını kolaylaştırmak bakımından bir avantaj olmakla birlikte, akışkanın içerdiği silis ve kalsiyum elementleri yüksek sıcaklıklı sahalarda kabuklaşma ve korozyon problemlerine neden olabilmektedir. Bu durum göz önüne alınarak, termal suyun bünyesinde bulunan,

kabuklaşma ve korozyon problemleri ile rezervuardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açacak parametreler takip edilmelidir. Rezervuarda kirliliğe neden olabilecek parametrelerin takibi de koruma alanları çalışmasında büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle termal sularda en az iki dönemi kapsayacak şekilde kirlilik analizi yapılmalıdır.



Şekil 1. Jeotermal sistemi oluşturan bileşenler

Koruma alanları çalışmalarında alandaki kirletici unsurlar belirlenmeli ve bu unsurların ortadan kaldırılması için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Jeotermal kaynağın kirlenmesine sebep olabilecek kirletici elemanlar:

- Fekal atıklar
- Organik atıklar
- Aşırı üretim artışına neden olan besleyici (nutrient) maddelerin, olağan değerlerin üzerinde boşaltımı
- Atık ısı
- Çamur, çöp ve hafriyat artıklarının ve benzeri atıkların boşaltımından oluşan bulanıklık artışı, sığlaşma ve kıyı çizgisi değişimi
- Yukarıda sayılanların dışında kalan "Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliği"nde sınır değerler getirilen maddeler
- Litolojiden kaynaklanan kirleticiler
- Bakteri ve virüs gibi hastalık yapıcı maddeler
- Asit içerikli maddeler, kimyasal çözeltiler
- Gübrelemede kullanılan maddeler
- Zehirli maddeler, Arsenik, Kurşun, Krom, Siyanür, Florür, Civa ve bunların türevleri
- Tarım ilaçları bünyesinde bulunan kimyasal maddeler
- Radyoaktif maddeler
- Oksijensiz ortamda yaşayabilen anaerob bakterilerin yol açtığı sonuçlara dayalı olarak Amonyum, Demir, Mangan ve türevleri

Jeotermal kaynağın kirlenmesine sebep olabilecek kirlenici etkenler:

- Suyun kalitesini bozacak nitelikte malzemenin kaynak çevresinde biriktirilmesi
- Yeraltısuyu içeren akifer formasyon üzerindeki koruyucu tabakanın kaldırılması
- Maden işletmeleri
- Plansız yerleşim birimleri
- Mezarlıklar
- Hastaneler
- Yerleşim birimlerinin atık sularının taşınmasında yapılacak hatalar
- Havayolu ulaşımına ilişkin tesisler
- Askeri tesis ve tatbikatlar
- Sıvı ve katı yakıt depoları
- Yarma kanal inşaatları
- Çöplükler

Rezervuarın korunmasına yönelik yapılacak çalışmalarda elde edilmesi gereken en önemli verilerden birisi de basınç ve sıcaklıktır. Basınç ve sıcaklığın zamana, yere ve derinliğe göre değişimi rezervuara ilişkin önemli bilgiler vermektedir. Bu durum göz önüne alınarak inceleme alanında yer alan kuyularda basınç ve sıcaklık testleri yapılarak, sıcaklığın ve basıncın derinliğe ve zamana bağlı değişimi ortaya konmalıdır. Bunun için kuyularda statik sıcaklık, dinamik sıcaklık, statik basınç, dinamik basınç ve basınç toparlanma (pressure build-up) testleri yapılmalı ve bu testlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek jeotermal alanda yatay ve düşey yöndeki basınç ve sıcaklık profilleri oluşturulmalıdır. Ayrıca, basınç toparlanma testlerinin sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda rezervuara ait permeabilite değerinin belirlenmesi de mümkündür. Ancak kuyu dibinden alınan sıcaklık ve basınç ölçümleri, tam olarak rezervuarın sıcaklık ve basıncını yansıtmamaktadır. Bu nedenle basınç ve sıcaklık ölçümleri farklı derinliklerdeki kuyulardan alınarak dikkatle yorumlanmalıdır (Grant vd., 1982). Ayrıca kuyularda üretim, reenjeksiyon ve düşüm testleri yapılarak rezervuarın değişik üretim koşullarındaki davranışı belirlenmeli ve jeotermal kaynağın sürekli izlenmesi sağlanmalıdır.

3. KORUMA ALANLARI ZONLARININ BELİRLENMESİ VE ZON SINIRLARI İÇERİSİNDE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

Kaynak koruma alanları 3 ayrı zon halinde belirlenmektedir. Bu zonların belirlenmesi sırasında jeotermal sistemin bulunduğu alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak zon sınırları tespit edilmektedir (U.S.EPA, 1991).

Jeotermal alanların koruma alanlarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, belirli bir yöntem dahilinde gerçekleştirilmekle beraber, farklı özelliklere sahip alanlarda, alanın karakteristik özelliklerini yansıtacak farklı çalışma şekilleri gerektirebilmektedir. Ancak genel olarak koruma alanları çalışmalarında dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar her saha için ortak özelliktedir. Kaynakların korunması genel anlamda sıcaklık ve debilerinde azalma olmadan sürdürülebilirliğinin sağlanması, özellikle yüzeysel etkiler nedeniyle yeraltına sızan suların yaratacağı fiziksel ve kimyasal kirliliğin engellenmesi ve rezervuarın fiziksel, kimyasal, termal ve hidrojeolojik parametrelerinin değişmeden korunması çalışmalarını kapsamaktadır. Bu

çalışmalar kapsamında özellikle alanda yer alan faylar ve kırık hatları yeraltına iletişimin en hızlı olduğu yapılar olması nedeniyle koruma alanı içinde titizlikle değerlendirilmesi gereken yapılardır. Sıcak su amaçlı açılan kuyularda stratigrafik olarak örtü kayacın varlığı, geçirimsizlik derecesi ve kalınlığı önemli özelliklerdir.

3.1. Birinci Derece Koruma Alanının Belirlenmesi ve Alınması Gereken Önlemler

I. derece koruma alanı, kaynak alanında yer alan jeolojik formasyonların litolojik ve hidrojeolojik özellikleri, akışkan taşıyan aktif kırıkların konumu, jeotermal sistemin açık veya kapalı sistem olup olmadığı, örtü kayacın varlığı ve kalınlığı, doğal çıkış ve kuyular ile yeni kuyu açılacak alanlar dikkate alınarak çizilir.

I. derece koruma alanı içerisinde herhangi bir yapılaşmaya müsaade edilmemeli ve mevcut yapılar (ısı merkezi dışında) kaldırılmalıdır. Jeotermal alanlarda sıklıkla görülen travertenler jeotermal sistemde kirlenmeye açık, kirlilik açısından zayıf zonlar olması ve bol kırıklı, çatlaklı yapısı nedeniyle yeraltına sızmanın en fazla görüleceği bölgeleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, travertenler çevresinde yapılaşmaya izin verilmemeli, mevcut yapılar bu bölgelerden taşınmalı, çöp ve evsel atık gibi kirlenmeye sebep olan bu bölgelerden uzaklaştırılmalıdır. I. derece koruma alanı içinde kirliliğe sebep olacak depolama (gübre, kimyasal madde vb.) kesinlikle önlenmelidir. Alan içerisinde kirliliğe sebep olacak türde tarımsal faaliyetlere izin verilmemelidir. Alan içerisinde yer alan dere, çay gibi yüzey su kaynakları ıslah edilmeli taşkın kontrolüne karşı gerekli önlemler alınmalıdır. I. derece koruma alanı sınırları içinde bulunan tüm yapıların kirli suları iyi tecrit edilmiş borularla alan dışına sevk edilmelidir. İnceleme alanında yer alan tüm kuyuların etrafı çimentolanmalı, korunaklı bir hale getirmeli, üzerine kulübe veya benzeri bir yapı inşa edilerek çöp ve benzeri atıkların atılması önlenmelidir.

Tüm doğal enerji kaynaklarında olduğu gibi jeotermal sistemlerde de sürdürülebilirlik kavramı büyük bir önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında, jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması bu kaynakların korunmasına bağlıdır. Bu durumda hem jeotermal kaynağın dolayısıyla da jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın bir takım çevresel etkenlerle kirlenmesinin önlenmesi, hem de rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarında meydana gelebilecek olumsuz değişimlerin önüne geçilmesine yönelik tedbirler alınması büyük önem taşımaktadır. Bu durum göz önüne alınarak, jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın kirlenmeye karşı korunması amacıyla, Kaplıca amaçlı kullanılan sıcak sularda, 24.07.2001 tarih ve 24472 sayılı resmi gazetede yayımlanan Kaplıca Yönetmeliği ile düzenlenen esaslara göre gerekli analizler yaptırılmalıdır. Isıtma ve enerji üretimi yapılan jeotermal kaynaklarda ise rezervuardaki sıcaklık ve basınç koşullarında meydana gelebilecek değişimlerin gözlenmesi amacıyla, üç aylık periyotta basınç, sıcaklık, girişim, basınç yükselimi ve basınç düşümü testleri yapılmalıdır. Gözlem kuyularına otomatik limnigraf yerleştirilerek sürekli seviye ölçümleri alınmalıdır. Ayrıca gözlem kuyularına sürekli ölçüm yapabilecek basınç ölçer yerleştirilerek kuyu içi basınç ölçümleri yapılmalıdır. Bu ölçüm ve test sonuçları değerlendirilerek rezervuarın değişik üretim koşullarındaki davranışı belirlenmeli ve jeotermal kaynağın sürekli izlenmesi sağlanmalıdır.

Reenjeksiyon kuyularında en az 3 aylık periyotlarda, üretim kuyularında ise 6 ayda bir alınacak su örneklerinde kimyasal analizler yapılarak, kabuklaşma ve korozyon problemleri ile rezervuardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açacak parametreler takip edilmelidir.

3.2. İkinci Derece Koruma Alanının Belirlenmesi ve Alınması Gereken Önlemler

II. derece koruma alanı, tali kırık hatları, hidrojeolojik faktörler, biyolojik kirletici unsurların kaynak alana ulaşımının önleneceği mesafe de dikkate alınarak çizilir. Alandaki su birikintileri ve kirli sular iyi tecrit edilmiş kapalı borularla alan dışına sevk edilmelidir. Alan içerisinde kum ocağı, taş ocağı, yarma, kanal v.b. kazılara izin verilmemelidir. Dinamit kullanılarak yapılacak her türlü hafriyat çalışmasına izin verilmemelidir. Kirliliğe neden olabilecek çöp, gübre ve moloz yığını gibi atık maddelerin alanda bulunmasına ve depolanmasına müsaade edilmemelidir. Mevcut olanlar kaldırılmalıdır. Alan içerisinde tarımsal bitki dikilmesi ancak organik-ekolojik tarıma yönelik olarak kontrollü yapılmalıdır. Alan içinde mevcut veya yapılacak olan turistik tesis ve diğer yapı projelerinde yakıt depolaması ile ilgili (akaryakıt istasyonu vb) ünitelere izin verilmemelidir. II. derece koruma alanı sınırları içerisinde kirlenmeye neden olmayacak ve temel derinliği fazla olmayan her türlü yapılaşmaya izin verilebilir. Drenajı III. derece koruma alanına doğru olmak koşuluyla, yol cadde açılabilir. Gübresi bu alanda depolanmamak şartıyla her türlü ziraat yapılabilir.

3.3. Üçüncü Derece Koruma Alanının Belirlenmesi ve Alınması Gereken Önlemler

II. derece koruma alanı sınırı dışında kalan ve beslenme alanını kapsayan bölge III. derece koruma alanıdır. Bu alanda koruma tedbirleri III. derece koruma alanı sınırlarından itibaren tedrici olarak azaltılıp kaldırılabilir. III. derece koruma alanı içerisinde dinamit kullanmamak kaydıyla taş ocağı işletilebilir. Her türlü ziraat yapılabilir. İyi nitelikli kanalizasyona sahip yerleşim birimleri kurulabilir. Atıkları çevre ve yeraltı suyu kirlenmesine neden olmayacak her türlü endüstri tesisi ve işyeri kurulabilir.

4. ÜLKEMİZDE JEOTERMAL KAYNAKLARIN KORUMA ALANLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER

03.06.2007 tarihli ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile 11.12.2007 tarih ve 26727 sayılı resmi gazete de yayımlanan Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği jeotermal kaynakların koruma alanlarının belirlenmesine yönelik düzenlemeler getirmektedir. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği'nin 4.maddesinin (y) fıkrasına göre "Koruma alanı: Kaynak ve bunların bağlı olduğu jeotermal sistemin; bozulmasına, kirlenmesine ve sürdürülebilir özelliğinin yitirilmesine neden olacak dış etkenlerden korumak amacıyla sahanın jeolojik, hidrojeolojik yapısı, iklim koşulları, zemin cinsi ve tipleri, drenaj sahası sınırı, kaynak ve kuyu çevresindeki yerleşim birimleri, endüstri tesisleri, çevrenin topografik yapısı gibi unsurlara bağlı olarak belirlenmiş önlemler alınması gereken, içerisinde yapılan faaliyetlerin kontrol ve denetime tabi olduğu ve gerektiğinde yapılaşma ve arazi kullanım faaliyetleri kısıtlanabilir alanları" ifade etmektedir. Ayrıca Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama

Yönetmeliği'nin 23. maddesinde kaynak rezervuarının korunması ile ilgili hükümlere yer verilmiş ve bu yönetmelik Ek-8'de ise kaynak koruma alanını zonlara ayırma ve bu zonlarda alınması gereken tedbirler belirtilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Jeotermal sistemlerde koruma kavramı iki ayrı başlık altında ele alınmalıdır. Bunlardan bir tanesi jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın (termal akifer) kirletici unsurlardan korunmasıdır. Bir diğeri ise rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarının korunması ve böylelikle jeotermal sistemin uzun yıllar boyunca kullanımının sağlanarak gelecek nesillere aktarılmasıdır. Dolayısıyla bir jeotermal alanda koruma alanı çalışması yapılırken bu iki unsuru göz önüne alacak şekilde bir planlamanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Kaynak koruma alanları 3 ayrı zon halinde belirlenmektedir. Bu zonların belirlenmesi sırasında jeotermal sistemin bulunduğu alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak zon sınırları tespit edilmektedir.

Jeotermal alanların koruma alanlarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, belirli bir yöntem dahilinde gerçekleştirilmekle beraber, farklı özelliklere sahip alanlarda, alanın karakteristik özelliklerini yansıtacak farklı çalışma şekilleri gerektirebilmektedir. Ancak genel olarak koruma alanları çalışmalarında dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar her saha için ortak özelliktedir. Kaynakların korunması genel anlamda sıcaklık ve debilerinde azalma olmadan sürdürülebilirliğinin sağlanması, özellikle yüzeysel etkiler nedeniyle yeraltına sızan suların yaratacağı fiziksel ve kimyasal kirliliğin engellenmesi ve rezervuarın fiziksel, kimyasal, termal ve hidrojeolojik parametrelerinin değişmeden korunması çalışmalarını kapsamaktadır.

Tüm doğal enerji kaynaklarında olduğu gibi jeotermal sistemlerde de sürdürülebilirlik kavramı büyük bir önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında, jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması bu kaynakların korunmasına bağlıdır. Bu durumda hem jeotermal kaynağın dolayısıyla da jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın bir takım çevresel etkenlerle kirlenmesinin önlenmesi, hem de rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarında meydana gelebilecek olumsuz değişimlerin önüne geçilmesine yönelik tedbirler alınması büyük önem taşımaktadır. Bu durum göz önüne alınarak, jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın kirletici unsurlardan korunması amacıyla, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yaptırılmalıdır. Isıtma ve enerji üretimi yapılan jeotermal kaynaklarda ise rezervuardaki sıcaklık ve basınç koşullarında meydana gelebilecek değişimlerin gözlenmesi amacıyla, üç aylık periyotta basınç, sıcaklık, girişim, basınç yükselimi ve basınç düşümü testleri yapılmalıdır. Gözlem kuyularına otomatik limnigraf yerleştirilerek sürekli seviye ölçümleri alınmalıdır. Ayrıca gözlem kuyularına sürekli ölçüm yapabilecek basınç ölçer yerleştirilerek kuyu içi basınç ölçümleri yapılmalıdır. Bu ölçüm ve test sonuçları değerlendirilerek rezervuarın değişik üretim koşullarındaki davranışı belirlenmeli ve jeotermal kaynağın sürekli izlenmesi sağlanmalıdır. Reenjeksiyon kuyularında en az 3 aylık periyotlarda, üretim kuyularında ise 6 ayda bir alınacak su örneklerinde kimyasal analizler yapılarak, kabuklaşma ve korozyon problemleri ile rezervuardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açacak parametreler takip edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Grant, M.A., Donaldson, I.G. and Bixley, P.F., 1982. Geothermal Reservoir Engineering. Academic Press, New York, 369 p.
- U. S. EPA, 1991, Delineation of Wellhead Protection Areas in Fractured Rocks, EPA 570/9-91-009, 144 p. Written by Ken Bradbury, Maureen Muldoon and Alex Zaporozec. This report discusses two case studies from Wisconsin and discusses the options for WHP delineation in fractured rocks.
- U. S. EPA, 1994, Groundwater and Wellhead Protection - A Handbook, EPA/625/R-94/001, 269p. Much of the book discusses methods for WHP area delineation. There is also guidance on developing a WHP plan, including a contaminant source inventory and management options, plus several case studies.

**JEOTERMAL KAYNAKLARIN KULLANIMIYLA
OLUŞABİLECEK ÇEVRE SORUNLARI VE
AFYONKARAHİSAR İLİ ÜZERİNE BİR İNCELEME**

*ENVIRONMENTAL PROBLEMS CAUSED BY THE USAGE OF
GEOHERMAL RESOURCES AND A CASE STUDY FOR
AFYONKARAHİSAR PROVINCE*

ENGİN A.¹ ve ENGİN İ.C.²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü ANS Kampüsü Afyonkarahisar
aengin@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi İncehisar Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar
icengin@aku.edu.tr

ÖZET

Jeotermal enerji, küresel ısınmanın temel nedeni sayılan fosil yakıtların kullanımıyla artan karbon dioksit salınımına alternatif temiz bir enerji kaynağı olarak önemini giderek artırmaktadır. Dünyada jeotermal kaynaklar konutlarda, seralarda, hayvan çiftliklerinde ısıtma amaçlı ve elektrik üretimi amaçlı kullanımının yanısıra kimyasal madde üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca termal turizm alanında maden suyu ve sağlık amaçlı termal kaplıca suyu olarak da kullanılmaktadır. Türkiye coğrafi ve jeolojik konumundan dolayı jeotermal kaynaklar bakımından önemli potansiyele sahip bir ülkedir.

Jeotermal kaynaklar enerji ihtiyacının karşılanmasında uygun bir alternatif olması ve termal turizm sektöründe sağlık amaçlı kullanım imkanlarının yanında içeriğindeki arsenik, bor vb. bazı kimyasal bileşikler nedeniyle kontrolsüz ve artılmadan çevreye deşarj edildiğinde çevre açısından önemli riskler oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, termal kaynakların bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımından doğabilecek çevre sorunları incelenmiş ayrıca Afyonkarahisar ilinde ısınma ve termal turizm alanında kullanılan termal kaynakların çevre üzerindeki olumsuz etkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar, Ömer-Gecek havzası, Jeothermal potansiyel, Çevre sorunları

ABSTRACT

Geothermal energy is increasing its importance as being clean and alternating energy to the increased fossile based fuels caused to global warning due to their CO₂ release. Geothermal resources are used for heating purpose in buildings, greenhouses, and stock farms, for electricity production, and besides them for production of chemical compounds. In addition, they can be used in thermal health tourism as mineral water and thermal bath cure water. Turkey has considerable geothermal resources because of its geological and geographical location.

Geothermal resources have some risks for environment when discaharged surroundings without control and any treatment due to its arsenic, boron etc. and other chemical compounds althouh having usage possibilities for the purpose of in thermal tourism and being alternating resource for energy.

In this research, environmental problems caused by uncontrolled and unconscious usage of thermal resources have been investigated. In addition, negative affects of Afyonkarahisar thermal resources used for heating and curing thermal in baths were also investigated.

Keywords: Afyonkarahisar, Ömer-Gecek basin, Geothermal potential, Environmental problems

1. GİRİŞ

Enerji, sanayileşme ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanoğlunun en çok tükettiği kaynak haline gelmiştir. Günümüzde kullanılan enerjinin %38,5'inin petrol, %23,7'sinin doğal gaz ve %25'inin kömür gibi fosil kaynaklardan elde edildiği ve bu kaynakların petrol için 41, doğal gaz için 62 ve kömür için 216 yıl sonra tükeneceği öngörülmüştür (DPT, 2001). Kullanılan enerji kaynaklarına alternatif arayışının nedeni her ne kadar fosil kaynakların kısa süre içinde tükeneceği düşüncesi gibi gözükse de temel sebeplerden en önemlisi bu kaynakların kullanımıyla ortaya çıkan çevre sorunlarının dünya dengesinde yarattığı bozukluklardır. Bu sorunlardan en dikkat çeken; fosil yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan gazların hava kirliliğine neden olması ve akabinde meydana gelen zincirleme olayların; ozon tabakasının delinmesi, atmosferdeki sera gazlarındaki artışla birlikte küresel ısınmanın meydana gelmesi, yeryüzündeki her bölgede küresel iklim değişikliklerinin yaşanması, buzulların erimesi vb., dünya üzerindeki yaşamı fazlasıyla etkilemesi sayılabilir. Dünya üzerindeki yaşamı etkileyen CO₂ salımında meydana gelen artış 'Kyoto Protokolü' ve 'Johannesburg Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi' değerlendirmelerinde ele alınarak 2050 yılına kadar CO₂ salımında %80 azaltıma gidilmesi hedeflenmiştir. Enerji kaynaklarında reforma gidilmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif olarak kullanımının da artışı sağlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları biyokütle, dalga, güneş, hidrojen, hidrolik, jeotermal ve rüzgar enerjisi olarak sayılabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları aynı zamanda temiz ve çevre dostu kaynaklardır. Türkiye konumu itibarıyla yenilenebilir kaynaklar bakımından oldukça zengin bir ülkedir ve bunların başında yer alan jeotermal kaynaklar büyük öneme sahiptir. Ülkemiz sahip olduğu jeotermal kaynaklar bakımından dünyada 7. avrupada ise 1. sıradadır (DPT, 2001).

Jeotermal kaynağın temelini yerkabuğunun derinliklerinde birikmiş, çeşitli kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlar oluşturmaktadır. Termal sular, yüksek sıcaklık ve basınç altında uzun süre yeraltında bulunan minerallerle temasta bulduklarından dolayı

yüksek element çeşitliliğine sahiptirler. Bu açıdan bakıldığında çevre üzerine olumsuz etkilerinin olma olasılığı yüksektir. Ancak fosil kaynaklarla karşılaştırıldığında uygulamada alınacak önlemlerle çevre etkileri minimuma indirilebilir.

2. TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR

Türkiye'de yüzey sıcaklığı 30°C'nin üzerinde olan 173 adet jeotermal alan tespit edilmiş (Şekil 1), bunlardan %95'i konut ısınmasında kullanıma geriye kalan %5'i ise elektrik üretimine uygun bulunmuştur. Elektrik üretimine uygun sahalar Denizli-Kızıldere (242°C), Aydın-Germencik-Ömerbeyli (232°C), Manisa-Alaşehir-Kurudere (184°C), Manisa-Salihli-Göbekli (182°C), Çanakkale-Tuzla (174°C), Aydın-Salavatlı (171°C), Kütahya-Simav (162°C), İzmir-Seferihisar (153°C), Manisa-Salihli-Caferbey (150°C), Aydın-Yılmazköy (142°C), Aydın-Sultanhisar (145°C), İzmir-Balçova (136°C) ve İzmir-Dikili (130°C) olarak sayılabilir. Konut ısınmasına uygun sahalar ise Balıkesir-Gönen, Kütahya-Simav, Ankara-Kızılcahamam, İzmir-Balçova-Narlidere, Afyonkarahisar-Sandıklı-Ömer, Nevşehir-Kozaklı, Denizli-Sarayköy, Manisa,Salihli, Balıkesir-Edremit, Balıkesir-Bigadiç, Ağrı-Diyadin sayılabilir. Bunun yanında İzmir-Balçova, Ankara-Kızılcahamam, Afyonkarahisar-Sandıklı-Ömer, Rize-Ayder gibi bölgelerdeki kaplıçalarda termal sular sağlık amaçlı da kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Jeotermal suyun kullanımı sırasında bulunduğu havzanın minerolojik yapısına bağlı olarak sahip olduğu kimyasallar nedeniyle bazı çevre sorunları da gündeme gelmektedir. Bu sorunlara genellikle modern kullanım yöntemlerinin uygulanmadığı bölgelerde rastlanılmaktadır.

Yapılan jeotermal su analizlerinde oldukça fazla miktarda bor ve arsenik elementine rastlanılmaktadır. Bunun yanında işletim süresince salınan başta CO₂ ve H₂S olmak üzere gaz emisyonları çevre açısından zararlı emisyonlardır.



Şekil 1. Türkiye jeotermal enerji kaynakları haritası (MTA resmi internet sitesi)

Jeotermal su, sondaj yoluyla çıkarılması da dahil olmak üzere modern kullanım teknikleri uygulanmadan çıkarıldığı ve kullanıldığı zaman diğer yeraltı kaynak

sularımızı, yüzey sularımızı, toprağımızı ve havamızı bünyesinde barındırdığı kirlilik unsurları nedeniyle büyük oranda etkilemektedir.

2. JEOTERMAL KAYNAKLARIN KULLANIMI İLE OLUŞABİLECEK ÇEVRE SORUNLARI

2.1. Jeotermal Kaynakların Bünyesindeki Kimyasal Kirlilik Unsurları

Jeotermal suyun içeriği bakımından kirlilik unsurlarını iki sınıfta toplamak mümkündür. Bunlardan biri gaz emisyonları diğeri de toksik etki oluşturabilecek elementlerdir.

Jeotermal suyun bünyesinde bulunan karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S), amonyak (NH₃) ve civa (Hg) gaz emisyonları olarak sayılabilir.

Karbondioksit bazı diğerk gazlarla birlikte sera etkisi yaptığı için yerkürenin fazlaca ısınmasına ve iklim değışiklerinin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Yerkürenin sıcaklığı son yirmi yılda 0,6°C artmış, meydana gelen iklim değışiklikleri sonucu buzulların erimesiyle deniz seviyesi ortalama 0,1-0,2 m yükselmiştir. Jeotermal kaynaklar fosil yakıtların kullanımıyla atmosfere salınan gazların artışı ve etkilerini engellemek adına temiz enerji kaynağı olarak alternatif gösterilirken kullanımdaki yanlışlarla bu etkileri artırmamak gereklidir. Her ne kadar jeotermal kaynaklardan dışarıya salınan CO₂ miktarının fosil yakıtlardan salınan CO₂ miktarı yanında çok düşük olsa da hedefimiz temiz ve çevre dostu olacak şekilde bu kaynaklardan yararlanmaktır.

Karbondioksitin yanında jeotermal kaynaklardan çıkan hidrojen sülfür gazı da atmosfere yayılmaktadır. Çürük yumurta kokusundan ayırt edilebilen H₂S oldukça zehirli bir gazdır. 20 ppm değerindeki H₂S'in devamlı solunması merkezi sinir sistemini etkileyerek ölümlere sebebiyet verir. Bitkilerin üzerinde zaman içinde birikmeleri ile yapraklarında pörsümeler ve lekelenmeler görülür. Bitkiler için yaklaşık 3-4 ppm değerleri toksik etkilerin görülmesi için yeterlidir (Topbaş vd., 1998, Badruk, 2003). Ayrıca H₂S ve ortamda bulunan sülfürler oksitlenerek kükürt oksitli bileşikler oluşur. Bu oksitler suyla birleşerek asit yağmurlarına neden olurlar. Asit yağmurlarının göl ve nehirlerin üzerinde ortam pH'ını azaltıcı etkisi vardır. pH'ın azalması bu ortamda yaşayan canlıların başta balıkların ölmesine neden olmaktadır.

Kaynaklardan salınan NH₃ ise atmosferden nefes yoluyla vücuda alındığında boğazı tahriş edici ve fazla miktarda alındığında boğucu özelliğe sahip bir gazdır. Bu anlamda vücut için zehirli bir gazdır (Topbaş vd., 1998, Badruk, 2003). Ayrıca atmosferde değışik kimyasal reaksiyonlara girerek azot oksitlerin (NO_x) oluşmasına sebep olur. Bu azot oksitler su buharıyla kolayca tepkimeye girerek asit yağmurlarına kaynak oluştururlar. Böylece kükürt oksitlerde olduğu gibi azot oksitler de yağmurlar yardımıyla hem bitkileri hem de nehir ve göllerde yaşayan canlıları tehdit edici unsur haline gelirler.

Jeotermal sularda bulunan gaz kirleticilerden biri de civadır. Civa yüksek buhar basıncı nedeniyle oda sıcaklığında bile buharlaşabilen bir ağır metaldir. Solunum yoluyla vücuda alınan civanın ilk etkileri sinir sisteminde görülür. Genellikle sinir sisteminin yanı sıra, kaslarda, solunum yollarında, sindirim sisteminde, deride ve böbreklerde

tahribat yaratır. 1-1,5 ppm cıva buharının devamlı solunması sonucunda kalp durmasıyla birlikte ani ölümler görülebilir. Ağız yoluyla vücuda alındığında ise 10-60 ppm civarında ölümlere neden olmaktadır (Topbaş vd., 1998, Badruk, 2003). Bu miktar bitkiler ve hayvanlar için daha düşüktür. Oldukça toksik olduğu için su kaynaklarına karıştığında canlıları tamamiyle tahrip edebilir. Özellikle balık ölümlerinin ortaya çıkmasına sebep olur. Az konsantrasyonlarda ise balıklarda birikim yapar ve bu balıkları yiyenler üzerinde direk etkileri görülür (Topbaş vd., 1998, Badruk, 2003).

Kaynaklarda bulunan bir diğer element bordur. Borun içme sularında bulunması gereken azami miktarı 1 ppm civarındadır ve bu miktarın vücuda alınmasının herhangi bir olumsuz etkisi yoktur. Borun toksik etkisi yetişkinlerde baş ağrısı, ishal ve kusma, çocuklarda da havale şeklinde belirtilmiştir. Ayrıca borik asit ve ürünlerinin alınmasıyla deri ve sindirim sisteminde bozukluklar görülmektedir. Hayvanlarda bor düşük toksitite olarak değerlendirilmektedir. Özellikle balıklar için 19-20 g/L miktar öldürücü doz olarak belirtilmiştir. Ancak alabalık ve zebra balığında yapılan çalışmalarda 10 mg/L toksitiseye neden olmuştur. Bor bitkiler için yaklaşık 4 ppm'e kadar gerekli bir elementtir (Topbaş vd., 1998, Badruk, 2003). Ancak bitki türüne göre bu miktar değişebilir. Borun fazla miktarda bitkiler tarafından alınması durumunda zehirlenme belirtisi olarak yaprak uçları sararmaya başlar ve zaman içinde bu durum bütün bitkiyi etkiler yapraklar kavrulmuş görünüme bürünür ve olgunlaşmadan dökülmeye başlar. Toprakta borun zaman içinde birikmesi toprak verimliliğini azaltır. Jeotermal kaynaklardaki en etkili kirlilik unsurlarından biridir.

Arsenik jeotermal suyun olduğu katmanın özelliğine göre çok ya da az bulunmaktadır. Yüksek sıcaklığa rağmen sulu fazda bulunabilmektedir. Bu nedenle su ile kolaylıkla taşınabilir. 10 ppb'den fazla alındığında vücutta karaciğer ve böbreklerde birikmeler yapar. Uzun süreli etkileşim sonucunda kanser hastalığına yakalanma riski vardır (Topbaş vd., 1998, Badruk, 2003). Arsenik hem bitkiler hem de suda yaşayan canlılar için toksik etki gösterir. Bitkilerde yaprakların renk değiştirmesine sebebiyet verir. Arsenik zaman içinde bitkilerde birikir ve bu bitkilerin insanlar ve hayvanlar tarafından yenilmesiyle akut zehirlenmeler görülür.

Jeotermal suyun bünyesinde fazlaca Na, K, Mg, Ca, Cl gibi tuzluluk oluşturacak iyonlar mevcuttur. Jeotermal akışkanın bünyesinde tuzluluk fazlaysa bu akışkanın tarım sulamasında kullanılması ya da toprağa veya yüzey sularına deşarjı durumunda canlılarda olumsuz etkiler meydana gelecektir. Toprağın kirlenmesiyle bitkiler zarar görürken suların kirlenmesiyle sudaki canlı hayat olumsuz etkilenir. Özellikle bazı meyve ağaçları toprakta ve suda bulunan tuz miktarına çok duyarlıdır.

2.2. Jeotermal Kaynakların Kullanımı Sırasında Oluşabilecek Kirlilik Unsurları

Bunun yanında termal kaynak suların yüzeye çıkarılma ve kullanımı aşamasında kullanılan tesisatlarda, bulunduğu bölgenin özelliğine bağlı olarak değişik bileşiklerin çökeldiği görülmektedir. Özellikle üretim kuyularında meydana gelen kabuklaşmalar, jeotermal enerji kullanımında büyük sorunlar yaratmaktadır. Çökelen bu maddeler, karbonat (CaCO_3), silis (SiO_2 , $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), metallerin oksitleri ve hidroksitleri ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{OH})_3$), serbest kükürt, sülfid ve sülfatlardır (Şahinci, 1991).

Silis çökmesi, silisce doygun olan akışkandan buhar ayrılması ile akışkandaki silis derişiminin artmasıyla meydana gelir. Bazı kaynak ve kuyularda suların soğuması ile birçok çeşit sülfid metal çökelmeleri oluşur. Aynı şekilde suda çözülmüş şekilde bulunan CO₂ gaz faza geçtiğinde kalsiyum yüksek sıcaklıklarda kalsiyum karbonat şeklinde çöker. Bu çökelmeler, kuyu ve dağıtım borularında daralmaya neden olur, sıcak su akımını yavaşlatır. Böylece oluşturduğu katı atığın ve kullanımdışı olan malzemelerin bertarfi çevre açısından ilgilenilmesi gereken ayrı bir durum oluşturur (Şahinci, 1991).

Diğer yandan termal suların kimyasal çürütme ve aşındırma etkileri vardır. Atmosferdeki oksijenin su ile teması sonucu H₂S gazı sülfirik asite, bunun yanında klor gazı su ile etkileştiğinde de HCl'e dönüşür ve ortamın pH'ı düşerek asitlik özelliği gösterir. Böylece oluşan asidik su kuyu ve dağıtım borularının metalik kısımlarında çürümeye ve parçalanmalara sebebiyet verir (Şahinci, 1991).

Kuyularda kullanılan boru ve filtreler suların kimyasal yapısına bağlı olarak elektrokimyasal olarak aşınmaya uğrayabilirler. Korozyon olarak tanımlanan bu kimyasal aşınma bir veya iki değişik metalden yapılan borulardan bir elementin elektrokimyasal yolla ayrılması şeklinde meydana gelir. Korozyon sonucunda kullanılan metal borularda çatlamlar, kırılmalar ve delinmeler görülür (Şahinci, 1991).

Meydana gelebilecek kabuklaşma ve çürüme etkilerine karşı önlem almak gerekir. Kullanılan ekipmanlarda meydana gelen kabuklaşma ve çökelmeler zaman içinde boruları tıkayacağından patlamalar, bunun yanında çürüme etkisiyle meydana gelecek çatlaklar su kaçaklarına sebep olacak ve suyun daha fazla sarfiyatını sağlayacaktır. Ayrıca borularda patlama ve çatlakların oluşması, hasarın meydana geldiği yerde kontrol dışı toprak, su ve hatta hava temasını sağlayarak ortamın kirlenmesine sebebiyet verecektir.

Oluşan çökme ve kabuklaşmaları önlemek için; hazırlanan geniş bir havuza farklı kuyulardan gelen sular karıştırılmalı, bir saat burada bekletildikten sonra su borularla istenilen yere taşınmalıdır. Bunun yanısıra silis çökmesine karşı silis çözünlüğünü artırmak için sodyum hidroksit, karbonat, sülfid ve diğer çökelmeler ve kabuklaşmaları engellemek için ise sülfomik asitler, polisülfatlar ve polifosfatlar gibi maddeler kullanılabilir. Korozyonu önlemek için suyun atmosferdeki oksijen ile ilişkisini kesmek, oksitlenmeyen malzeme kullanmak, özellikle alüminyum gibi, boru bağlantı yerlerini epoxy ile kaplamak, klorür etkisini gidermek için gaz fazını sudan ayırmak gerekir (Şahinci, 1991, Barduk, 2003).

Yeraltından akışkanın çekimi, gözenekli alanda basınç azalmasına ve jeotermal kaynağın bulunduğu bölgede çökmelere neden olabilmektedir. Tektonik değişimler bakımından üretim yapılacak ya da kullanılması düşünülen kaynakların temel seviye ölçümleri suyun çekiminden önce ve sonra yapılmalıdır. Eğer rezervuardan çekilen akışkan miktarı kadar sıvı rezervuara enjekte edilebilirse kütle kaybı ve çekim azalması engelleneceği için çökelmelerin önüne geçilmiş olunacaktır.

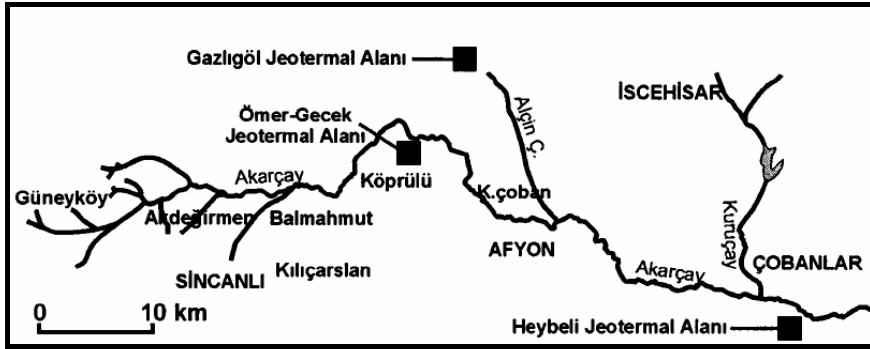
Yeraltından akışkanın çekilmesi herhangi bir sismik hareketliliğe yol açmazken kullanılmış akışkanın kuyulara reenjekte edilmesi sırasında sismik hareketlilik yaşanmaktadır. Hareketliliğin şiddeti 2-3 civarında olsa da yaşanan sarsıntılar çevre halkını tedirgin etmeye yetmektedir (Şahinci, 1991, Barduk, 2003).

Jeotermal kaynaklar kullanılırken ısı deşarjı yapılmaktadır. Bunun yanında sıcak buhar ve gazlar ortam havasını kurutmakta ve kuraklık yaratarak lokal bir iklim değişikliği oluşturmaktadır (Şahinci, 1991, Barduk, 2003).

Termal suların bileşiminde bulunan H₂S, Cl₂ ve benzeri gazlar ile diğer elementlerin (özellikle bor, klorür tuzları) doğrudan atmosfere, akarsulara bırakılması çevre kirlenmelerine neden olabilir. Atık sıcak suların tekrar kuyuya enjekte edilmesi birçok sorunu önleyebilir.

3. JEOTERMAL KAYNAKLAR BAKIMINDAN AFYONKARAHİSAR YÖRESİ ÖMER GECEK BÖLGESİ

Afyonkarahisar ilinde Ömer-Gecek jeotermal sahasında (Şekil 2) toplam 24 açılmış kuyu bulunmaktadır. Bu bölgeden çıkan suyun sıcaklığı en fazla 105°C olup bu sıcaklık enerji üretimi için uygun bulunmadığından, jeotermal su merkezi ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Afyonkarahisar ilinde merkezi ısıtma imkanından yaklaşık 4500 konut faydalanmaktadır. Binalara ulaşan suyun sıcaklığı 60°C, sisteme geri dönen suyun sıcaklığı ise yaklaşık 45°C'dir. Bu sıcaklık da sağlık amaçlı ve seralarda kullanıma uygun bir sıcaklıktır. Kullanılan termal suların debisi 5-100 L/s arasında olup Ömer-Gecek bölgesindeki kaynaklar Na-Cl bakımından zenginlik gösterdiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Tezcan vd., 2002).



Şekil 2. Afyonkarahisar iline ait jeotermal alanların konumu (Doğdu ve Bayarı, 2002)

4. ÖMER-GECEK BÖLGESİNDE BULUNAN JEOTERMAL KAYNAKLARIN OLUŞTURDUĞU POTANSİYEL ÇEVRE SORUNLARI

Çizelge 1 ve 2'de Afyonkarahisar Ömer-Gecek havzasında bulunan hem ısınma amaçlı hem de kaplıcalarda kullanılan suların alınmış örneklerin kimyasal içerikleri verilmiştir. Çizelgelerde ilk dikkat çeken Na, K, Ca, Mg ve Cl elementlerinin yüksek derişimleridir. Bu veriler suyun tuzluluk oranının yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun yanında jeotermal su içinde standartlara göre fazlaca arsenik, bor ve civa

bulunmaktadır. Bu suların kullanım için yüzeye çıkarılması ve kullanım sonrası deşarjları bünyesindeki kirleticiler açısından büyük risk taşımaktadır. Kullanım fazlası çekilen ve kullanılan suların yüzey/yeraltı sularına ve toprağa karışması söz konusu olduğunda bölgede hem insan yaşamını hem de bitki ve hayvanların yaşamını olumsuz etkileyecektir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi bölgede bulunan jeotermal kaynakların Akarçay nehrine yakınlığı, kirlilik unsurları bakımından büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

Termal kuyulardan çıkan su analizleri dikkatli incelendiğinde (Çizelge 1-2) suda oldukça yüksek miktarda Si, Ca, Mg olduğu görülür. Sular sondaj ile yeryüzüne çıkarılırken sıcaklık farkı oluştuğundan ve gaz-sıvı dengesi bozulduğundan dolayı sondaj ve dağıtım borularında Si, Ca ve Mg içeriğine bağlı olarak kabuklaşmalar ve çökelmeler meydana gelmektedir. Termal sulardaki kirlilik unsurlarından biri de suyun çıkarılması ve iletimi sırasında çökeltilerin oluşmasını önlemek amacıyla kullanılan inhibitör adı verilen kimyasal bileşiklerdir. İnhibitör suya eklendiğinde çökeltileri çözerek suya geçirmek için ortamın pH'ını oldukça düşürür. Kaynağın 50-60 m derinliğindeki suya enjekte edilen inhibitörler silis, kalsiyum, magnezyum bileşiklerinin çökelmelerini engeller (Şahinci, 1991).

İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji Anabilim Dalı Başkanlığı'nın 2001 yılında Afyonkarahisar iline ait jeotermal kaynaklar üzerinde hazırladığı raporda 50 sondaj kuyusunda aylık kullanılan inhibitör miktarının 30 ton olduğu belirtilmiştir. Bu miktar yılda 360 tona karşılık gelmektedir. Atılan deşarj suyunda inhibitör maddelerinin de olduğu düşünülürse toprağa ve yüzey sularına verilen zararın büyüklüğü görülür. Asidik özellik kazanan suyla temas eden toprak var olan bitkilerin yaşamasına uygun olmaktan uzaklaşır. Raporda çevrede bu nedenle bitki örtüsü bakımından çoraklaşmaların başladığı belirtilmiştir (Uçar, 2007).

İstanbul Üniversitesinin hazırlamış olduğu aynı raporda sıcak suyun soğuk yüzey sularına deşarjının. yüzey sularındaki ekolojik dengeyi bozacağı ve bunun sonucunda sıcak suda yaşayamayan türlerde ölümler görülürken sıcak suya seven yeni türlerin çoğalacağı belirtilmiştir. Ekolojik yönden bir takım değişikliklerin meydana gelmesi. insan sağlığının da olumsuz yönde etkilenmesini sağlayacaktır (Uçar, 2007).

Bunun yanında kullanılan suyun dışarıya deşarjı ile rezervuardaki su seviyesi devamlı azalmaktadır. Jeotermal kaynaklar usulüne uygun kullanılmadığı takdirde hızlı tükenen kaynaklar sınıfına dahil olacaklardır. Kaynağın yenilenebilir olması için yeraltından çekilen suyun kullanımından sonra tekrar rezervuara gönderilmesi gerekmektedir. Çizelge 3'de ısınma amaçlı kullanılan suların toplam miktarı ve reenjeksiyon yapılan miktarları görülmektedir.

Çizelge 1. Ömer-Gecek yöresinde bulunan bazı jeotermal kuyulardan alınan suların kimyasal analiz sonuçları (AFJET, 2008)

Kuyular	T (°C)	pH	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	HCO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	Cl (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ₂ (ppm)	B (ppm)	Hg (ppb)	As (ppm)	Br (ppm)
AF21	62.2	7.46	119.8	1763.5	135.9	12.68	757.0	501.0	1909.9	0.178	0.024	128.0	7.75	<0.01	3.5	0.5
AF21*	75.7	7.61	122.3	1727.9	175.1	13.10	1050.9	507.0	1879.9	<0.01	0.005	134.8	8.51	0.8	4.6	0.4
AF16	80.0	7.681	111.8	1729.7	135.4	12.77	890.6	492.0	1929.9	0.098	0.032	131.7	7.53	<0.01	3.2	0.5
AF16*	80.5	7.70	213.3	1762.9	146.4	13.26	1050.9	495.0	1899.9	<0.01	0.009	137.0	7.96	11.3	3.5	0.5
AF11	84.0	7.65	120.7	1777.2	128.2	12.45	899.5	483.0	1899.9	0.052	0.023	129.2	7.81	1.4	3.5	0.5
R260	78.0	7.55	118.7	1746.7	149.7	12.35	1120.0	486.0	1840.0	0.114	0.062	132.0	7.64	<0.01	3.3	0.5
AF9	-	6.99	57.6	777.5	142.5	23.50	917.3	213.0	830.0	0.131	0.020	141.9	3.45	15.8	1.3	0.3
AI	62.0	7.20	84.7	1369.3	120.0	12.77	1033.1	387.0	1849.9	0.55	0.023	90.04	5.54	1.3	2.9	0.4
AF23*	94.0	7.94	119.8	1760.5	146.8	12.46	899.5	489.0	1879.9	0.064	0.034	128.1	7.82	3.1	3.6	0.5
AF14*	86.0	7.67	120.9	1852.5	112.8	10.94	926.2	501.0	1989.9	0.066	0.069	126.2	7.79	0.4	4.0	0.5

* İnhibörli kuyu suyu numunesi

Çizelge 2. Ömer-Gecek yöresinde bulunan bazı termal kaplıcaların kuyularından alınan suların kimyasal analiz sonuçları (Mutlu, 1998)

Kuyular	T (°C)	pH	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	HCO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	Cl (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ₂ (ppm)	B (ppm)	Li (ppm)
TK1	51.0	6.40	64.10	780.0	135.8	32.9	1025	236.6	812.0	<0.1	<0.02	161	4.4	0.9
TK2	49.5	6.80	117.3	1200	234.0	38.5	1111	855.4	1177	1.34	<0.02	94	6.6	1.8
TK3	42.0	6.30	108.0	1301	163.0	19.3	1153	525.0	1505	<0.1	<0.02	86	7.7	1.4
TK4	41.0	6.70	147.0	1541	157.6	24.5	1206	508.3	1784	<0.1	<0.02	90	6.5	1.6
TK5	67.5	7.70	120.0	1460	146.0	17.4	1135	503.5	1723	<0.1	<0.02	102	8.2	1.5
TK6	50.0	7.00	42.80	420.1	117.3	53.2	561.2	123.8	400.0	2.30	0.03	88	3.8	*

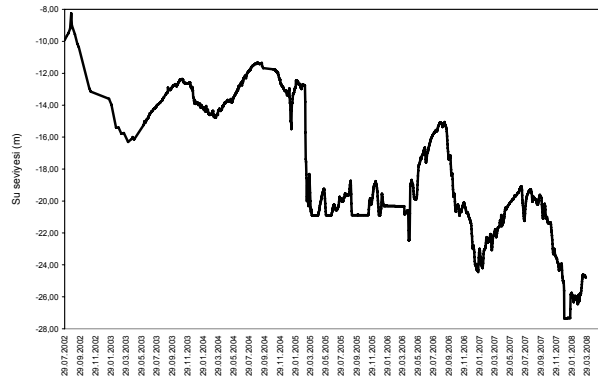
* veri yok

Çizelge 3. Isınma amaçlı kullanılan jeotermal kuyulardan biri için belirlenen su seviyesinin zamana göre değişimi (AFJET verileri)

Yıllar	Kuyudan Çekilen Su	Reenjeksiyona Verilen Su	Dışarı Deşarj Edilen Su
2001-2002	2.325.574	465.115	1.862.459
2002-2003	2.355.329	706.599	1.648.730
2003-2004	2.277.110	1.480.121	796.988
2004-2005	2.159.825	1.295.895	863.930
2005-2006	-	-	-
2006-2007	1.743.314	958.823	784.491
2007-2008	1.982.067	884.582	1.097.485

Çizelge 3’de çekilen, geri enjekte edilen ve çevreye deşarj edilen su miktarları verilmiştir. Çizelge 3’de görüldüğü gibi reenjekte edilen su miktarı kullanılan su miktarına eşit değildir. Arada meydana gelen su kayıplarının sebeplerinin araştırılması ve kayıpların önüne geçilmesi gerekmektedir. Bunun yanında kuyulardaki su seviyelerini koruyabilmek için kaçak ve kullanım fazlası su çekimlerinin önüne geçilmelidir.

Buna en güzel örnek ısınma amaçlı kullanılan kuyulardan birinden alınan verilerle oluşturulan grafikdir (Şekil 3). Şekil 3’de görüldüğü gibi 2002 yılının 9. ayında -8 m’de olan sıcak suyun seviyesi reenjeksiyonlama yapılamadığı için 2003 yılının 3. ayına kadar hızlı bir düşüş göstermiş -16 m’ye kadar inmiştir. Ancak bu tarihten sonra reenjeksiyon kuyularının devreye alınmasıyla kullanılan suların bir kısmı bu kuyulara enjekte edilmiştir. Şekilde yaz aylarında suyun kullanılmamasından kaynaklanan su seviye artışları görülmektedir. Bunun dışında ilk iki senelik suyun kışın ısınma amacıyla kullanılması ve ardından reenjeksiyon yapılması şeklindeki uygulamadan tespit edilen su seviyesi -15m’de kalırken 2002 yılının 3. ayındaki seviyesine ulaşmamıştır. Aradaki fark ısıtma sistemindeki kaçaıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Böylece kullanılan suyun bir kısmı geri kazanılarak su seviyesi korunmaya çalışılmıştır. Ancak geri enjekte edilen su miktarı seviyeyi korumak için hala yeterli değildir. Bunun için su miktarının azalmasına sebep olan nedenler belirlenmeli ve sistemdeki ekipmanlar düzenli olarak kontrol edilmeli, ömrünü tamamlamış ekipmanların değişiminin sağlanması gerekmektedir.



Şekil 3. Yıllara göre jeotermal kaynak suyu seviyesinin değişimi (AFJET, 2008)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar sonucunda Afyonkarahisar ilinde kullanılan jeotermal kaynaklarda gaz emisyon ölçümlerinin yapılmadığı anlaşılmaktadır. Oysaki bünyesinde canlı hayat için toksik etki yaratacak gaz emisyonları bulunmaktadır. Özellikle sera etkisi oluşturacak CO₂ salımının bünyesinde bulundurduğu diğer gazlara göre daha fazla olduğu bilinmektedir. Ortama salınan bu sıcak gazların yörenin iklimini kuraklaştırma etkisi oluşturduğu da düşünülürse gazların bertarafını etkili bir şekilde yapmak gerekmektedir. Ayrıca zaman içinde atmosfere salınan gazlar asit yağmurları şeklinde toprağa ve yeraltı su kaynaklarına geri dönerler. Bir yandan toprağın verimliliğini azaltırken diğer yandan toprakta yaşayan birçok bitki ve mikroorganizmanın yok olmasına sebebiyet verirler. Salınan gazlardan ve akışkandan teknik olarak birçok kimyasal madde (amonyum bikarbonat, borik asit, sodyum klorür, kuru buz vb.) üretilebilmektedir. Eğer fizibilite çalışmaları kimyasal madde olarak değerlendirme açısından yetersiz görülüyorsa uygun filtreler kullanılarak zararlı gazların atmosfere salınması engellenmelidir (Şekil 4b). Düzenli denetimlerle gaz kaçakları takip edilmelidir.

Jeotermal suyun yeraltından yüzeye çekilmesiyle oluşabilecek çökmeler için sürekli denetimlerin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla büyük otel ve kaplıcaların bünyesinde konunun uzmanı mühendislerin çalıştırılmaları önerilmektedir.

Jeotermal kaynaklar da fosil kaynaklar gibi tükenen kaynaklardır. Bu nedenle kullanılan suyun rezervuara reenjekte edilmesi kaynağın kullanım süresinin uzatılması bakımından önemlidir. Kaçak sondajlarla suların çekilmesi, tarım sulaması yapılması ve gereğinden fazla suyun yüzeye çıkarılması termal kaynak suların ömrünü kısaltmaktadır (Şekil 4a). Kullanılan kaynağın su seviyesi düzenli olarak kontrol edilmelidir. Bunun yanında rezervuara geri enjekte edilen suyun kimyasal bileşimi de ayrı bir önem teşkil etmektedir. Yeni nesil reenjeksiyon sistemlerinde kuyulardan çıkan gazlar atmosfere salınmayıp reenjeksiyon kuyusuna gelen suyla birlikte karıştırılarak kuyuya tekrar enjekte edilmekte böylece rezervuarda bulunan suyun kimyasal bileşiminin korunması sağlanmaktadır.

Isınma amaçlı kullanılan jeotermal suyun reenjeksiyonu yapılamadığı durumlarda, tesis ısıtmasından geri dönen suyun sıcaklığı yaklaşık 45°C olduğundan dolayı balık üretim çiftliklerinde, hayvan çiftliklerinin ısıtılması ve seracılıkta kullanılması teşvik edilerek eldeki kaynaklar daha verimli kullanılmalıdır.

Reenjeksiyon yapılmaksızın ısınma ve sağlık amaçlı kullanılan suyun arıtılmadan toprağa, suya deşarj edilmesi önemli çevre sorunları yaratmaktadır. Ayrıca yanlış kullanımlar yeraltı soğuk sularının da kirlenmesine neden olmaktadır (Şekil 4c-d). Bu sorunun önüne geçmek için enerji üretimi ve ısınma amaçlı kullanılan suyun mutlaka reenjeksiyonla rezervuara gönderilmesi, sağlık amaçlı kullanılan suyun ise mikrobiyolojik bakımdan arıtımı yapıldıktan sonra şehir arıtma şebekesine verilmesi gerekmektedir. Kaynak sularında bulunan civa, arsenik, bor gibi bunun yanında inhibitör kullanımıyla ortaya çıkan toksik özelliğe sahip elementlerin yaşam döngüsüne karışması engellenmelidir.



Şekil 4. (a-d) Afyonkarahisar ili Ömer-Gecek jeotermal alanda kullanılan ve kullanılmadan çevreye ve Akarçay'a verilen jeotermal suyu ve gaz emisyonları. (e), (f) Jeotermal kuyularda ve dağıtım sisteminde kullanılan boru ve kazanlarda meydana gelen kabuklaşma ve çökeltme olayına örnek fotoğraflar

Jeotermal sular çıkarılırken tesisattaki kabuklaşmayı (Şekil 4e-f) önleyici inhibitör kullanımını azaltacak veya inhibitör kullanımının etkisini azaltacak yeni teknolojik çözümler üretilmelidir. Özellikle büyük bekleme havuzları yapılarak suyun kullanılmadan önce burada bekletilmesi sağlanmalıdır.

Daha önce toprağa ve suya deşarjı yapılmış alanların rehabilite edilerek ekolojik dengenin eski haline geri dönmesi sağlanmalıdır.

Sonuç olarak sürdürülebilir bir işletim için jeotermal kaynakların sürekli izlenmesi gerekmektedir. Kullanım sırasında çıkan gaz/buhar karışımının ve suyun niteliğinin, çekilen su miktarının, rezervuarda kalan su seviyesinin, tektonik ve sismik hareketliliğin devamlı takip edilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilirlik için en önemli işlem kullanılan suyun kaynağa reenjekte edilmesidir. Ayrıca jeotermal kaynakları kullanan tüm kurumlar yetkili makamlarca denetlenmelidir. Jeotermal kaynakların yenilenebilirliğini sağlamak ancak ilgili yasa ve yönetmeliklerin uygulanması ile mümkündür.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı AFJET A.Ş.: Genel Müdürü Sayın Cahit SERTESER ve Makina Mühendisi Erhan ÖZŞAKACI'ya teşekkür ederler.

6.KAYNAKLAR

- AFJET, 2008, Afyon Jeotermal Tesisleri Turizm. Sanayi ve Ticaret A.Ş. kuyu analiz raporları.
- Badruk. M., 2003, TESKON Jeotermal Enerji Seminer Notları.
- Doğdu. M.Ş. ve Bayarı. C.S., 2002, Akarçay Havzası'nda Jeotermal Kirlenme: Akarçay Nehrinde Su ve Sediman Kirliliği, Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yer Bilimleri, 25. 21-32.
- DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, DPT.2609-ÖİK.620, Ankara.
- Mutlu. H., 1998, Chemical Geothermometry and Fluid-Mineral Equilibria for the Ömer-Gecek Thermal Waters. Afyon Area. Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 80. 303-321.
- Şahinci. A., 1991, Jeotermal Sistemler ve Kimyasal Özellikler. Reform Matbaası, İzmir, 210-217.
- Tezcan. L., Doğdu. N., Akan. B. ve Atilla. A.O., 2002, Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı Suyu Akım Modeli. Final Rapor, Cilt I, Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst ve Su kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara.
- Topbaş. M.T., Brohi. R. ve Karaman. R., 1998, Çevre Kirliliği. Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Uçar. H., 2007, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Sorunları Açısından Afyonkarahisar, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.

**KIZILDERE JEOTERMAL ATIK SU KARAKTERİSTİĞİ
VE SORUNSUZ REENJEKSİYON İÇİN UYULMASI
GEREKENLER**

*THE CHEMICAL CHARACTERISTIC AND COUNTER
MEASURES FOR TROUBLE FREE REENJECTION OF
KIZILDERE DISPOSAL*

YILDIRIM N.

Yıldırım Jeotermal Ltd Anara
nazimy@gmail.com.tr

ÖZET

Doğal yapısı gereği jeotermal akışkanlar, bazı uygulamalara engel olarak birtakım kısıtlayıcı kimyasal parametreler ihtiva ederler. Kullanımdan sonra atık suyun re-enjeksiyonunda sorunlarla karşılaşmamak ve rezervuarı sorun yaşamadan besleyebilmek için, Kızıldere atık suyu re-enjeksiyonunda olası silika ve karbonat çökelmelerinin önlenmesi açısından uyulması gereken doğrular ve alt sıcaklık limitleri, araştırmanın temelini teşkil etmektedir.

Denizli-Kızıldere jeotermal akışkanının elektrik üretiminde kullanımından sonra açığa çıkan 145–147 °C atık suyun hangi koşullarda ilave kullanım ve re-enjeksiyonda kullanılabilceğinin araştırılması amacıyla, üretim halindeki bütün kuyular ve drenaj kanalı üzerinde bir aylık süre ile çökeltme konusunda bir takım kimyasal testler gerçekleştirilmiştir. Asitli asitsiz numuneler alınarak çeşitli zaman ve sıcaklık aralıklarında SiO₂ ve diğer bileşiklerin davranış biçimleri arazide kurulan laboratuvarında incelenmiştir. Gerek rezervuar şartlarındaki hesaplamalar ve gerekse basılan inhibitörlerle kabuklaşma yaptırılmadan yüzeye çıkarılan rezervuar kimyasına göre Kızıldere jeotermal akışkanı buharlaşma öncesi 10–15 mg/l Ca²⁺ ve 275–300 mg/l SiO₂ içermektedir. Buharlaşmalardan ötürü konsantrasyon zenginleşmesi beklenen Ca²⁺ konsantrasyonu, yolda oluşan çökelmelerden dolayı 1,2–3,6 mg/l'ye düşmekte, buna karşılık SiO₂ konsantrasyonu % 10- 15 artış göstermektedir. Karbonat kabuklaşması açısından bir sorun yok ama SiO₂, konsantrasyonunda meydana gelen bu artış, önlem alınmadığı takdirde, soğuyan akışkanla birlikte reenjeksiyon aşamasında büyük sorun yaratmaya potansiyeldir.

Bildiride silis üzerinde yapılan çalışmalar ve reenjeksiyonda alınması gereken önlemler detaylı bir şekilde işlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kızıldere, reenjeksiyon, silis, çökelme, karbonat, buharlaşma

ABSTRACT

The chemical nature of the geothermal fluids generally poses some technical constraints to developments. During reinjection operation, in order not to encounter with difficulties from silica and carbonate scaling point of view, the rules and the lower injection temperature limits that should be obeyed is the main object of this paper.

One month test has been carried out to determine the optimum reinjection conditions of Kızıldere geothermal waste water discharged with 145 -147 °C temperature from the power plant. The analysis and calculations from acidified and not acidified samples were carried out in situ laboratory at various interval times to determine SiO₂ and other compounds behavior of the fluid. By means of inhibitor injection and calculations, the Ca²⁺ ion content of the fluid before flashing is estimated to be between 10-15 mg/l. The silica concentration is ranging between 275-300 mg/l. The concentrations of some components including SiO₂ are expected to increase upon steam loss at the separator and weir boxes. The Ca²⁺ ion concentration which also expected to increase due to steam loss, inversely decrease to as down as 1.2-3.2 mg/l, because of precipitation on the way to the weir box. So, the CaCO₃ scaling which creates serious problem during production will not cause any difficulties during the reinjection. But unfortunately it is not possible to expect the some favor from SiO₂ after reenjection application. The increase in SiO₂ concentration is a potential for precipitation in reenjection application. The required counter measures to SiO₂ concentration increases will be fully discussed in this paper.

Key words: Kızıldere, reinjection, silica, precipitation, carbonate, evaporation

1. KIZILDERE AKIŞKANININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Çoğu derin kökenli jeotermal akışkanlar gibi, Denizli-Kızıldere jeotermal akışkanı da bol miktarda çözünmüş katı madde içermektedir. Bu maddelerin bir kısmı, suda ancak yüksek sıcaklık ve basınç şartları altında çözünmüş formdadır. Tersi bir durum bu maddelerin çökelme yolu ile suyu terk etmesine hız kazandırır. Sahadaki akışkandan yararlanılabilmesi için, akışkanın yeryüzüne çıkartılması, buharının ayrıştırılması ya da ısınsının ikinci bir akışkana transfer edilmesi gerekir. Her iki yolda da, akışkan aşırı soğutulmuş ve basıncı düşürülmüş olur ki; bu da çözünürlüğü sıcaklığın düşmesiyle azalan, birçok bileşiğin çökmesine neden olmaktadır. Buharın ayrıştırılması yolu ile enerji kazanımında ise soğumaya ek olarak, buhar ayrıştıktan sonra geri kalan sıvı fazda, çözünmüş maddelerin konsantrasyonu ayrışan buhar oranında artar ve çökelmenin daha büyük boyutta olmasına yol açar. Çok özel durumlar olmadıkça, jeotermal akışkanlarda, kabuklaşmadan sorumlu tutulabilen sadece iki komponent vardır: Silika (SiO₂) ve kalsiyum karbonat (CaCO₃).

Kızıldere jeotermal akışkanın kimyasal yapısı, SiO₂ ve CaCO₃ çökelimleri açısından sırasıyla ele alınacaktır. Bu konularda çeşitli ülkelere yapılmış çalışmalara da yer verilecektir. Özellikle, İzlanda Virkir Consulting GroupLtd, Denizli'nin ısıtılması ön fizibilite çalışmalarında SiO₂ konusunda geniş kapsamlı çalışmalar gerçekleştirmiştir (Lindal, B vd. 1988).

Aşağıda ki çizelgede de görülebileceği gibi, gerek İzlanda, gerek İtalya ve gerekse bizim çalışmalarımıza göre (Yıldırım ve Şimşek 2003); deşarj jeotermal suda kalsiyum konsantrasyonu oldukça düşük bulunmuştur. Isıtma ve reenjeksiyonda kabuklaşma yönünden sorun yaratacağa benzememektedir. Daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, üretim aşamasındaki çökmeden dolayı, kalsiyumu düşük atık suyun rezervuara reenjekte edilmesi, rezervuarda kalsiyum komponentinin seyrelmesine neden olacaktır. Bu da reejeksiyonun sorunsuz yapılabilmesi için müspet bir durumdur.

1.1 Kabuklaşmanın Kompozisyonu

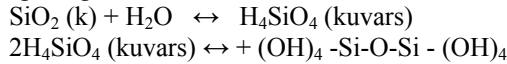
İzlanda grubunun KD-6 kuyusu separatörü ve susturucusundan topladığı kabuk numunesinin yüzde bileşiminde; Kalsit ve aragonit formda % 75 CaCO₃+SrCO₃, eser miktarda Fe, Al ve K ile birlikte % 25 Silika; Kuyularda MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kabuk analizinin ağırlık olarak yüzde bileşiminde (Yıldırım vd 1997);

% 78 CaCO₃
% 18-20 SrCO₃
% 0.5-1,8 MgCO₃
% 0.2-5 SiO₂

olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca Kabuğun bileşiminde eser miktarda alüminyum, baryum, sodyum, demir bulunmuştur. Her iki analiz sonucu, kabukta bir miktar silis çökeldiğini dolayısıyla atık sudaki silisin yüzey şartlarında doygunluk derecesini geçip çökme eğilimine geçtiğini göstermektedir.

İzlanda grubu tarafından (Lindal, B vd. 1988) , atık suyun süspanse (askı) madde çökeliminde XRF taraması yapılmış ve askı maddelerinin ana element Ca olmak üzere, eser miktarlarda Sr, Ba, Si, Fe, K, Al ve S'den ibaret olduğu rapor edilmiştir. Çökelen çamurda eser miktarda da olsa silise rastlanmış olması, monomer silisin (H₄SiO₄), aşağıdaki reaksiyon gereğince polimerleşme ve koloidal halde çökme eğiliminde olduğunu göstermektedir:



Bu reaksiyon polimerleşmenin ilk adımıdır. Akışkan soğudukça polimerleşme devam ederek uzun silis zincirli ve molekül ağırlığı gittikçe artan silis bileşikleri oluşturur. Molekül ağırlığı artıkça silis bileşiklerinin akışkanla taşınması zorlaşır ve çökelmeye başlar.

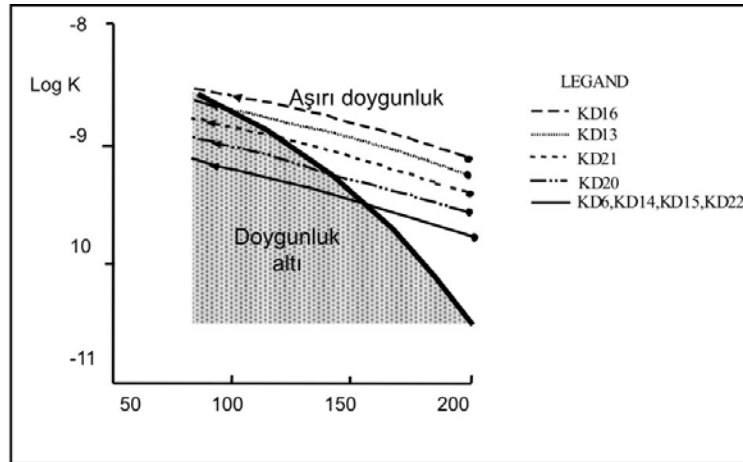
2. KALSİT KABUKLAŞMASI

İzlanda grubu tarafından incelenen üç kuyu akışkanı (KD-6.15.16) separatörlerin hemen çıkışında kalsite aşırı doygun mertebesinde bulunmuştur. Akışkanın kalsite süper doygun olduğu yer, 147 °C sıcaklıkta buhar fazına ayrıştığı, separatör çıkışlarıdır. Akışkan bu noktadan itibaren kısa bir süre için kalsitini çökeltmekte ve soğuyarak ilerledikçe da doygunluk sınırının altına (undersaturated) düşmektedir (Şekil 1). Bundan şu sonuç çıkarılabilir: Kızıldere'de de atık su separatörden sonra ikincil bir buharlaşmaya

meydan verilmeden soğutulursa, kalsit yönünden çökelmeye ve dolayısıyla kabuklaşmaya neden olmayacaktır. Ancak kuyularda inhibitör kullanmak suretiyle kabuklaşma oluşturulmasa, atık akışkanda Ca^{2+} iyonu buharlaşmadan dolayı artmış olarak suda bulunacak ve belli bir süre sonra da inhibitörün etkisi ortadan kalkınca $CaCO_3$ çökmesi, transfer hatlarında ve reenjeksiyon kuyularında tıkanmalara sebep olacaktır. Bu yüzden reenjeksiyon uygulamaları yapılacak sahalarda inhibitör kullanmak, üretim kuyularında kabuklaşmayı önlese bile, reenjeksiyon kuyularında geciktirilmiş $CaCO_3$ kabuklaşmasına neden olacağından doğru bir uygulama değildir.

Çizelge 1. Kuyuların yapılan analizleri

	KD6 SAV	KD13 SAV	KD14 SAV	KD15 SAV	KD16 SAV	KD20 SAV	KD21 SAV	KD22 SAV	Atık su
Tarih	4/96	4/96	4/96	4/96	4/96	4/96	4/96	4/96	4/96
Rezerv.(°C)	196	195	207	205	211	201	202	202	92
Örnek (°C)	92.5	92.1	93.6	94.2	96	89.6	92.3	96	63.6
$\mu S/25^\circ C$	5830	5940	6160	5890	5835	6180	5940	5830	5500
pH/25°C	8.97	8.89	8.96	8.82	8.94	8.92	9.02	9.3	9.25
Na	1220	1300	1410	1340	1400	1375	1325	1275	1400
K	116	138	152	138	148	140	131	140	138
Ca	1.2	2.0	1.2	1.2	3.2	1.6	1.8	1.2	1.2
Mg	0.36	0.25	0.2	0.15	0.24	0.15	0.24	0.24	0.6
B	20.4	26.5	24.4	24.6	24	24.1	24.5	25	26
SiO ₂	364	364	392	393	398	367	387	392	345
HCO ₃	1586	1525	2403	1464	1525	1159	1220	1586	1342
CO ₃	540	600	720	660	730	780	780	600	720
SO ₄	560	773	737	730	714	710	710	729	735
Cl	124	128	144	140	136	140	140	136	136
F	17.8	20.0	24.8	22.3	23.5	22.5	21	22.5	21.7



Şekil 1. Kızıldere üretim kuyularında kalsiyum doygunluk sıcaklıkları

Çizelge 2. Çeşitli gruplarca yapılan analizleri karşılaştırma tablosu

Yer	MTA -Türkiye			Geothemica-İtalya			Virkir-Izlanda		
	KD-6	KD-15	KD-16	KD-6	KD-15	KD-16	KD-6	KD-15	KD-16
Tarih	14/04/1996			13/08/1987			27/02/1987		
Örnekleme (°C)	92.5	94.2	96	94.4	-	98	127	88.8	132.2
µS/25°C	5830	5890	5835	5500.....		6078	4480	5040	4800
pH/25°C	8.97	8.82	8.94	9.01.....		8.89	8.72	9.3	8.12
Na	1220	1340	1400	1250		1360	1146	1335	1245
K	116	138	148	131		154	135	154	151
Ca	1.2	1.2	3.2	0.34		1.93	1.15	1.87	3.65
Mg	0.36	0.15	0.24	0.31		0.81	0.273	0.192	0.00
B	20.4	24.6	24	20.4		25.4	20	27	27
SiO ₂	364	393	398	369		419	317	400	393
HCO ₃	1586	1464	1525	2500		2800	1561	1704	1854
CO ₃	540	660	730	-		-	-	-	-
SO ₄	676	730	714	683		683	648	631..	665
Cl	124	140	136	100		112	48.4	58.3	49.2
F	17.8	22.3	23.5	18.2		24.5	17.8	21.5	23.8

3. SİLİKA ÇÖKELİMİ

24 Mart 1996–20 Nisan 1996 tarihleri arasında Kızıldere sahasında kabuklaşma ile ilgili çeşitli ülkelerce yapılmış çalışmalar da göz önünde bulundurularak, silis çökelimlerini konu alan bir çalışma yürütülmüştür. Çalışma sırasında sahada aktif halde bulunan bütün kuyulardan numuneler alınmış ve bu numunelerin, arazide kurulan laboratuarda, çökelme, yükseltgenme ve redüksiyon gibi olaylara meydan vermeden kısa sürede analizleri yapılmıştır. Silis analizleri, silisin sıcaklık ve zamana karşı davranışını takip etmek üzere çeşitli sıcaklık kademelerinde gerçekleştirilmiştir. Kuyuların savaklarından alınan numunelerin analiz sonuçları çeşitli ülke grupları tarafından yapılan analizlerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 2’de sunulmuştur.

Kuyu tabanlarında 290–310 mg/l konsantrasyonda ve kuvars formda olan SiO₂, jeotermal akışkan separatör ve savakta olmak üzere iki kere separasyona uğradıktan sonra 350–400 mg/l konsantrasyona yükselmektedir (Şekil 2).

Reenjeksiyon sırasında silika ve karbonat çökelimleri, rezervuarda kimyasal kompozisyonları birbiri ile uyumsuz farkı yapıdaki suların karışımı ve basınç-sıcaklık düşüşü gibi olaylarla hız kazanır (Satman ve Alkan 1988)

Silika çökmesinin hızlanmasına etki eden başlıca etmenler şunlardır:

- SiO₂ aşırı doygunluk derecesi
- Ortam pH’ı
- Sıcaklık
- Basınç
- Akış debisi

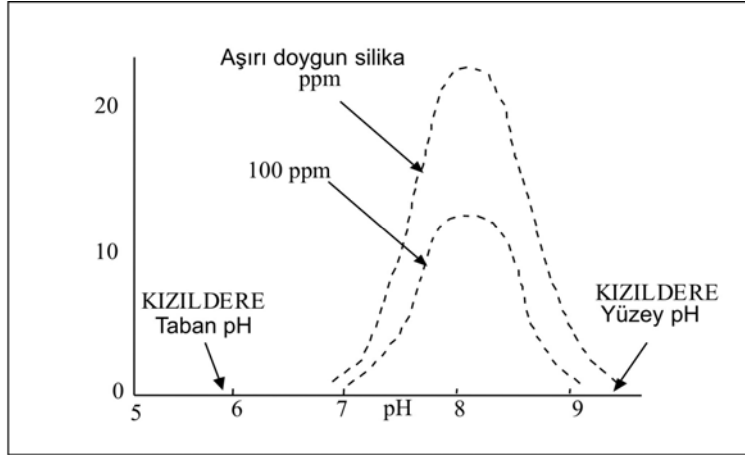
silise daha doymuş bir su verilmiş olunacaktır. Reenjekte edilecek suyun pH'ı SiO₂ çökmesi yapmayacak düzeydedir, ama iki farklı pH'daki su karışımı, çökmenin maksimum olduğu pH'lı akışkanı oluşturmaktadır.

Kuyuların debileri göz önünde bulundurularak yapılan modellemeye göre karışım atık suyu, savak sıcaklıklarında ortalama 375 mg/l SiO₂ içermektedir. Drenaj kanaletindeki karışımı oluşturan bu atık sular savaklardan itibaren polimerleşmeye başlamakta ve silislerinin bir kısmını koloidal hale dönüştürmektedir. Koloidal partikül büyüdükçe çökme, dolayısıyla atık suda SiO₂ konsantrasyonu azalmaya başlamaktadır. SiO₂ konsantrasyonu düşmüş akışkanı reenjekte etmek güvencelidir.

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi akışkan sıcaklığı 50 °C civarına düştüğü zaman reenjekte edilecek akışkanda SiO₂ konsantrasyonu, rezervuarın ortalama silis konsantrasyonu olan 290–300 mg/l seviyesine düşmektedir. Kanalette atık suyun sıcaklığı, ancak B.menderes nehrine döküldüğü noktaya yakın bir yerde 50 °C sıcaklığa inebilmektedir.

Şunu da hiç bir zaman unutmamak gerekir ki; rezervuar, silis çökmesinin minimum olduğu 5,9 pH' da 300 mg/l kuvars silisi bünyesinde çökeltmeden bulundurabilmektedir. Buharı ve karbon dioksiti ayrıştırılmış atık suyun pH'ı 9,0 civarındadır. Bu pH değeri de silis çökmesinin minimum olduğu pH dır (Şekil 3) (Inove ve Shimada 1985).

Silisin maksimum çökeldiği pH ise, şekilde görüldüğü gibi 8,0 civarındadır. Reenjeksiyon suyu ile rezervuar suyu karışımının bu pH değerine yaklaşması, rezervuarda silis çökme tehlikesi yaratabilir. Bu yüzden atık suyun silis içeriğini mümkün olduğu kadar yüzeyde düşürülmesi lazımdır.



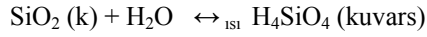
Şekil 3. Kuyu tabanı ve yüzey akışkanlarının pH'a göre çökme hızı
Rezervuarda akışkanın kuvars ve amorf olarak çökeltmeden bünyesinde taşıyabileceği maksimum SiO₂ miktarı, $\log \text{SiO}_2 = -1309/T + 5.19$ formülü ile hesaplanabilir.

SiO₂ = mg/l SiO₂ konsantrasyonu

T = Kelvin cinsinden sıcaklık

Jeotermal akışkan rezervuarda iken kuvars ile dengededir. Yüzeye çıkarak sıcaklığı düşen akışkandaki kuvars silis, amorf silise dönüşür ve doygunluk sınırının üstündeki konsantrasyonlarda çökelme eğilimi gösterir. Amorf silisin kristal yapısı yoktur. Aynı sıcaklıkta sudaki çözünürlüğü kuvars silisten fazladır (Şekil 4). Amorf silisin çözünürlüğü Truesdell ve Fournier (1976) tarafından şöyle belirlenmiştir:

$$\text{Log SiO}_2 = -731 / T + 4.31$$
$$T = t^\circ + C273.15$$

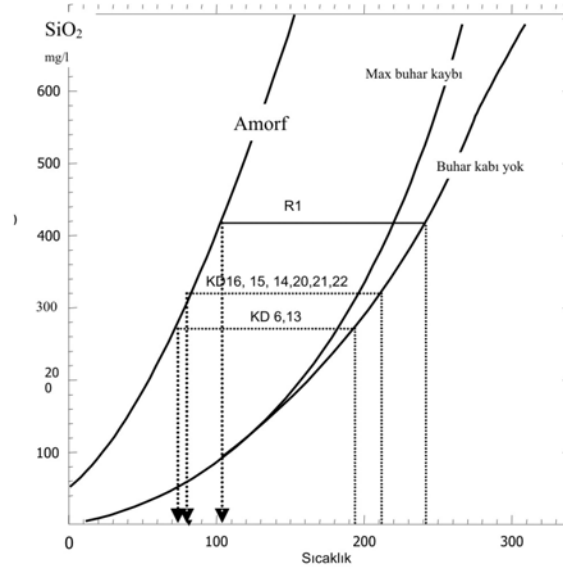


Şimdi de konuya gerçek kimya gözü ile bakalım:

Kuvars, her silisi 4 oksijen atomu tarafından çevrili, bir kristal yapıya sahiptir. Her oksijen atomu da diğer bir tetrahedral silise tekrarlı olarak üç boyutta bağlanır. Bu iskelet suda çözüldüğü zaman, H_4SiO_4 molekülleri oluşur. Akışkanda bu moleküller zayıf asit oluşturarak suda aşağıdaki şekilde iyonlaşır:



İyonlaşma hızı kuyuların taban sıcaklıkları ve amorf silise dönüşerek polimerleşme koşullarına bağlıdır (Şekil 4).



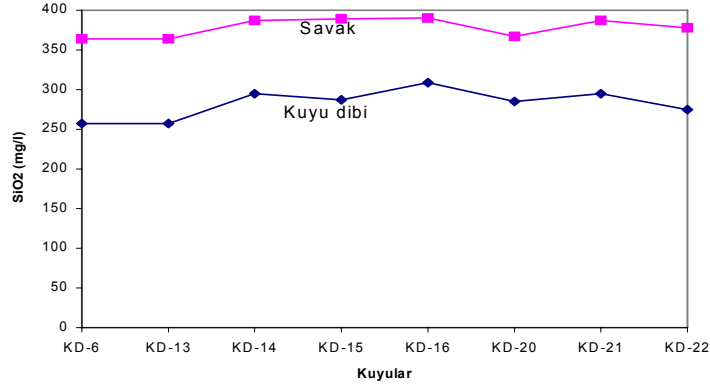
Şekil 4. Kuyu Taban sıcaklıkları ve amorf silise dönüşme sıcaklıkları grafiği

Kızıldere sahasında bulunan kuyuların taban sıcaklıkları birbirlerinden farklıdır. Bu sıcaklık farklılıkları, akışkanda çözünürlük dengeleri ve sıcaklığa bağlı olan bileşiklerin konsantrasyonuna da yansımaktadır. Akışkanda bulunan bileşiklerin konsantrasyonu, farklı buharlaşma ve seyrelmelere göre de değişebilir. Örneğin

Kızıldere kuyularının Ca ve SiO₂ içerikleri bazı kuyularda aynı olmasına (Çizelge 2) karşın bazı kuyularda farklı bulunmuştur (Yıldırım ve Şimşek 2003) :

Çizelge 3. Kuyuların buharlaşmaya bağlı çeşitli kademlerdeki SiO₂ içerikleri

Kuyu Adı	KD-6	KD-13	KD-14	KD-15	KD-16	KD-20	KD-21	KD22
Taban °C	196	195	207	205	211	204	209	202
SiO ₂ /kuyu dibi.	257	257	295	287	309	285	295	275
SiO ₂ /Savak	364	364	387	389	390	367	387	378
Ca/ Kuyu dibi.	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
Ca/Savak	1.2	2.0	1.2	1.2	3.2	1.6	1.8	1.2



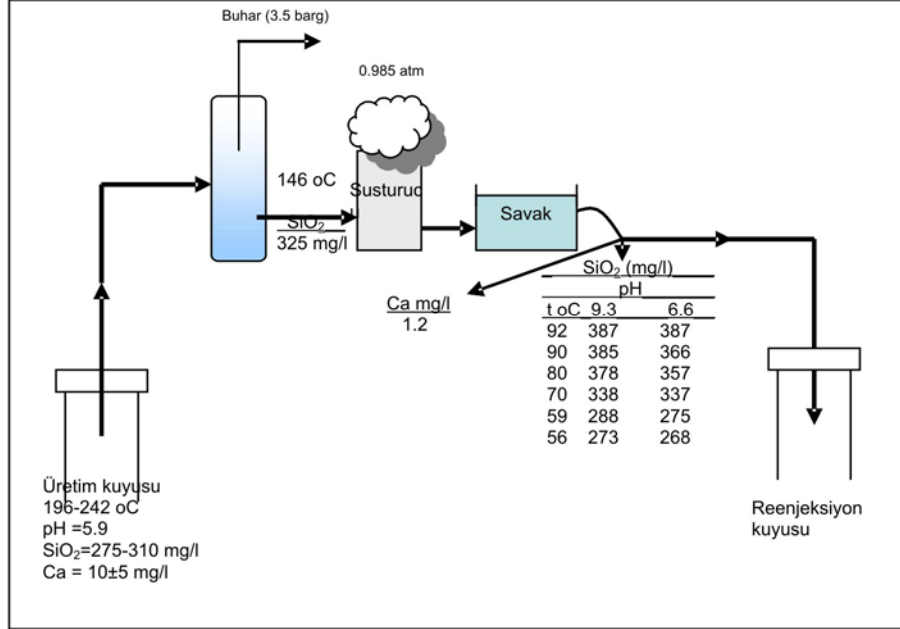
Şekil 5. Kuyuların Taban SiO₂ içerikleri

4. KİMYASAL ÇÖKELMEYE GÖRE UYGUN REENJEKSİYON SICAKLIĞI SEÇİMİ

Şekil 6 üretim kuyusunun tabanından savak çıkışına kadar çeşitli kademelerde jeotermal akışkanın çökeltme ve buharlaşmadan dolayı kimyasında meydana gelen değişiklikleri göstermektedir.

Şimdi de Kuyuların teker teker çeşitli sıcaklıklardaki SiO₂ içeriklerini ve silislerini çöktürmeye başladıkları sıcaklıkları gözden geçirerek uygun reenjeksiyon sıcaklıklarını teker teker ele alalım (Şekil 7) :

KD-6 tabanında SiO₂ konsantrasyonu 257 mg/l iken, separatörde 275 ve savakta 364 mg/l' ye yükselmektedir. Akışkan 82 °C' ye soğutulduğunda SiO₂ 363 mg/l, 67 °C' ye soğutulduğunda 329 mg/l ve 48 °C' ye soğutulduğunda 290 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökeltme trendi içinde olduğunu göstermektedir. KD-6 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 82 °C, ya da SiO₂ içeriği, rezervuar SiO₂ içeriğine yaklaştığı 50 °C sıcaklıkta reenjekte edilmelidir.



Şekil 6.Kızıldere akışkanında buharlaşma oranı ve sıcaklığa göre Ca^{2+} , SiO_2 konsantrasyonları

KD-13 tabanında SiO_2 konsantrasyonu 255 mg/l iken, separatörde 275 ve savakta 364 mg/l' ye yükselmektedir. Akışkan 83 °C' ye soğutulduğunda SiO_2 333 mg/l, 55 °C' ye soğutulduğunda 313 mg/l ve 48 °C'ye soğutulduğunda 303 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökelme trendine 92 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-13 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 83 °C, ya da SiO_2 içeriği, rezervuar SiO_2 içeriğine yaklaştığı 50 °C sıcaklıkta reenjekte edilmelidir.

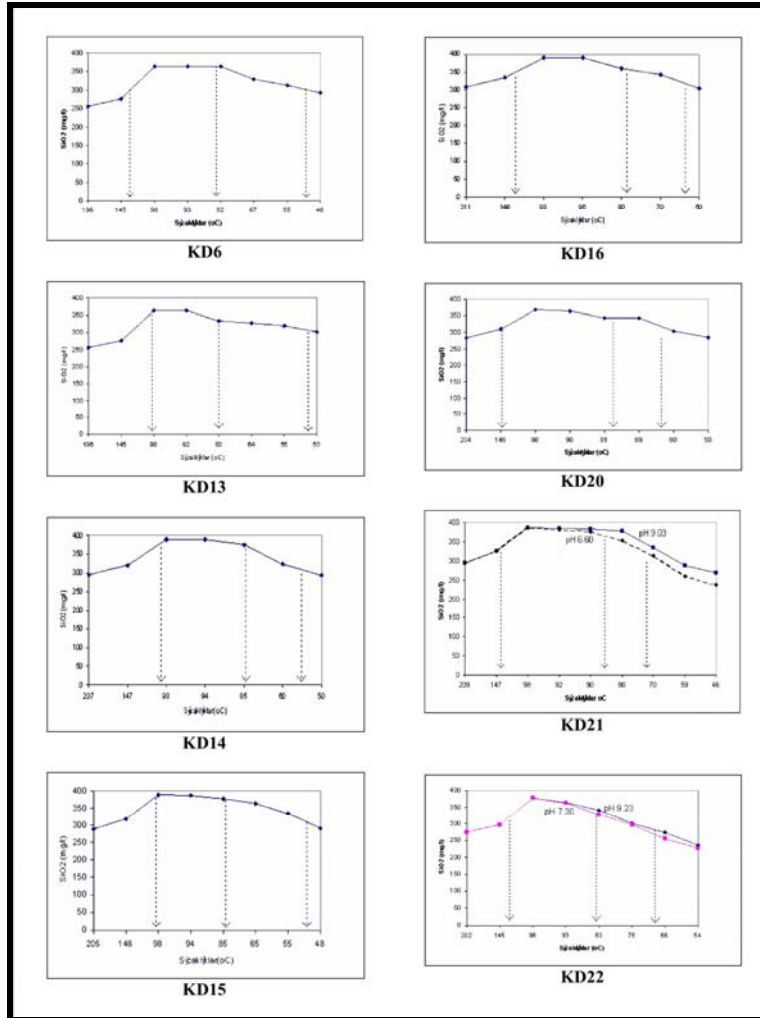
KD-14 tabanında SiO_2 konsantrasyonu 295-300 mg/l iken, separatörde 324 ve savakta 395 mg/l'ye yükselmektedir. Akışkan 85 °C' ye soğutulduğunda SiO_2 372 mg/l, 55 °C'ye soğutulduğunda 361 mg/l ve 50 °C' ye soğutulduğunda 335 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökelme trendine 93 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-14 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 85 °C, ya da SiO_2 içeriği, rezervuar SiO_2 içeriğine yaklaştığı 55 °C sıcaklıkta reenjekte edilmelidir.

KD-15 tabanında SiO_2 konsantrasyonu 285-290 mg/l iken, separatörde 320 ve savakta 392 mg/l'ye yükselmektedir. Akışkan 85 °C' ye soğutulduğunda SiO_2 366 mg/l, 55 °C' ye soğutulduğunda 343 mg/l ye 45 °C' ye soğutulduğunda 323 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökelme trendine 85 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-15 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 85 °C, ya da SiO_2 içeriği, rezervuar SiO_2 içeriğine yaklaştığı 50 °C sıcaklıkta reenjekte edilmelidir.

KD-16 tabanında SiO_2 konsantrasyonu 300-309 mg/l iken, separatörde 340 ve savakta 398 mg/l' ye yükselmektedir. Akışkan 80 °C' ye soğutulduğunda SiO_2 370 mg/l, 70 °C' ye soğutulduğunda 343 mg/l ve 48 °C' ye soğutulduğunda 304 mg/l konsantrasyona düşmektedir.

düşmektedir. Bu değerler silisin çökelme trendine 96 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-16 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 90 °C, ya da SiO₂ içeriği, rezervuar SiO₂ içeriğine yaklaştığı 60 °C sıcaklıkta reenjekt edilmelidir

KD-20 tabanında SiO₂ konsantrasyonu 282-290 mg/l iken, separatörde 310 ve savakta 367 mg/l'ye yükselmektedir. Akışkan 80 °C' ye soğutulduğunda SiO₂ 343 mg/l, 60 °C' ye soğutulduğunda 303 mg/l ve 50 °C'ye soğutulduğunda 292 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökelme trendine 85 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-13 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 90 °C, ya da SiO₂ içeriği, rezervuar SiO₂ içeriğine yaklaştığı 55 °C sıcaklıkta reenjekt edilmelidir.



Şekil 7. Kuyuların akışkanlarının soğuma ile rezervuar sıcaklıklarına yaklaştığı sıcaklıklar ve SiO₂ polimerleşme başlangıç sıcaklıkları

KD-21 akışkanı savaktan itibaren iki ayrı pH değerinde test edilmiştir (Şekil 7). Grafikte görüldüğü gibi, 6,6 pH'da SiO₂ polimerleşmesi, 9.03 pH' a nazaran daha hızlıdır. Kuyu tabanında SiO₂ konsantrasyonu 295–300 mg/l iken, separatörde 325 ve savakta 387 mg/l'ye yükselmektedir. Akışkan 80 °C'ye soğutulduğunda SiO₂ 370 mg/l, 70 °C'ye soğutulduğunda 338 mg/l, 59 °C' ye soğutulduğunda 288 mg/l ve 46 °C' ye soğutulduğunda 273 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökeltme trendine 80 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-21 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 90 °C, ya da SiO₂ içeriği, rezervuar SiO₂ içeriğine yaklaştığı 60 °C sıcaklıkta reenjekte edilmelidir. Suyun pH'ı 7,0 civarına çekilebilirse 70 °C sıcaklıkta reenjekte edilebilir.

KD-22 akışkanı da savaktan itibaren iki ayrı pH değerinde test edilmiştir. Yine grafikte görüldüğü gibi, 7,3 pH'da SiO₂ polimerleşmesi, 9.23 pH' a nazaran daha hızlıdır. Silis konsantrasyonu Kuyu tabanında 270–290 mg/l iken, separatörde 297 ve Savakta 375 mg/l' ye yükselmektedir. Akışkan 80 °C' ye soğutulduğunda SiO₂ 341 ve 337 mg/l, 75 °C' ye soğutulduğunda 301 ve 314 mg/l, 66 °C' ye soğutulduğunda 274 ve 271 mg/l ve 54 °C' ye soğutulduğunda 237 ve 226 mg/l konsantrasyona düşmektedir. Bu değerler silisin çökeltme trendine 90 °C de geçtiğini göstermektedir. Bu nedenle KD-22 atık suyu, silisin polimerleşmeye başladığı 90 °C, ya da SiO₂ içeriği, rezervuar SiO₂ içeriğine yaklaştığı 70°C sıcaklıkta reenjekte edilmelidir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Savaklardan alınan numunelerde kuyudan kuyuya değişmekle beraber SiO₂ konsantrasyonları 350–400 mg/l arasında bulunmuştur.
2. Kuyu tabanlarında amara ile pratik olarak ölçülen sıcaklıklara dayanılarak yapılan hesaplamalara göre, kuyuların tabanlarında buharlaşma öncesi 275–310 mg/l SiO₂ içerdikleri saptanmıştır.
3. Buhar ve gaz ayrışımından ötürü, yüzeyde saptanan SiO₂ konsantrasyonu rezervuar için jeotermometrelerle hesaplanan SiO₂ konsantrasyonundan yaklaşık % 15–20 kadar fazladır.
4. Kuyuların susturucularda tespit edilen 360–400 mg/l SiO₂ içerikleri, dinlendirme ile yaklaşık 290–300 mg/l seviyesine indirilmelidir. Bunun için atık suyun sıcaklığı, 50 °C' ye kadar düşürülmelidir. Reenjeksiyondan önce dinlendirme, aynı zamanda atık suda bulunan diğer süspans (koloidal) maddelerin çökeltmesi için de gereklidir.
5. Reenjekte edilecek su, CaO, MgO veya CaCl₂ ile muameleye tabi tutularak yüzeyde SiO₂ çökeltmesi hızlandırılabilir. Böyle bir yöntem ile reenjeksiyon sıcaklığı 50 °C'nin çok üstüne çıkarılabilir.
6. Reenjeksiyon, silis çökeltiminin minimum olduğu asidik bir zona yapılmalıdır (pH 5). Yüksek sülfat ve yüksek klorürlü bir ortam silis çökeltiminin olmaması açısından, reenjeksiyon için ideal bir ortamdır.
7. Reenjekte edilecek suyun, hemen ısınması ve silisini çökeltmemesi için, rezervuarın en sıcak zonuna basılması son derece önemlidir.
8. Dinlendirme havuzlarında, silis çöktürme işlemlerinin yapılabilmesine olanak tanıyabilmek için, ısıtmada kullanılacak eşanjörlerden, suyun 70–80 °C sıcaklıkta çıkması gereklidir. Çünkü silisini çökeltmesi için, atık suyun uzun bir süre havuzlarda dinlendirilmesi lazım gelebilir. Bu da suyun arzu edilenden daha düşük bir sıcaklıkta (50 °C) basılmasına neden olabilir.

9. Reenjeksiyon sırasında rezervuarın kimyasal değişiklikleri sıkı takip altına alınmalı ve özellikle silisin davranışı kontrol altında tutularak oluşan şartlara göre önlemler geliştirilmelidir.
10. Gerek hesaplamalar yoluyla bulunan ve gerekse inhibitör kullanılarak çökeltilmeden yüzeye çıkartılan Ca^{++} konsantrasyonuna göre, rezervuarın 10–15 mg/l Ca^{2+} iyonu içerdiği belirlenmiştir. Akışkan hiç bir işleme tabi tutulmadan, savaclarda tespit edilen Ca^{2+} konsantrasyonu ise, 1,2–3,6 mg/l arasında değişmektedir. Buna göre, rezervuar koşullarında akışkanın ihtiva ettiği Ca^{2+} iyonu, akışkan separatöre gelene kadar yolda (borularda) çökelmektedir. Üretim aşamasında büyük bir sorun olan kabuklaşma, akışkanın içindeki kalsiyumun tüketilmiş olması dolayısıyla, reenjeksiyon aşamasında büyük bir avantaja dönüşmektedir. Bu yüzden atık suyu, reenjeksiyonda kullanılacak olan üretim kuyularında inhibitör kullanılması doğru bir hareket değildir. Zira inhibitör kullanılıp çökeltilmeyen $CaCO_3$, geciktirilmiş olarak reenjeksiyon kuyularında çökelmeye ve boruları tıkamaya başlayacaktır. Reenjeksiyon kuyularında olduğu gibi, gittikçe ısınan bir ortam, $CaCO_3$ çökelişini hızlandırır. Çünkü $CaCO_3$ 'ün çözünürlüğü, çoğu maddelerin aksine sıcaklıkla ters orantılıdır

7. KAYNAKLAR

- Hauksson. T., Gudmundsson, J.S., 1988. Silica Deposition during injection in Svartsengi field. Geothermal Division Orustofnun Reykjavik Iceland.
- Inove K., Shimada K. (1985) Reinjection experience in The Otake and Hatchobaru Geothermal fields. 7-Th N.Z. Geothermal Workshop,
- Lindal, B., Kristmannsdottir H., 1988. The Scaling Properties of the Effluent Water from Kizildere Power Station, Turkey, and Recommendation for a Pilot Plant in View of District Heating applications. Deposition of Solids in Geothermal Systems, August 16-19, Reykjavik, Iceland.
- Satman A. & Alkan H., 1989. Prediction of the calcium carbonate precipitation. Seminar on New Developments in Geothermal Energy, UN ECE, Ankara.
- Truesdell A.H., Fournier R.O., 1976. Calculation of deep temperatures in geothermal system for the chemistry of boiling spring waters of mixed origin, in second U.N. Symp. On the development and use of geothermal resources San Francisco pp 837-244.
- Yıldırım N., Demirel Z., Doğan A.U., 1997. Geochemical characteristics and reinjection of Kizildere- Tekkehamam geothermal fluids. Geoenv '97 İstanbul- Turkey
- Yıldırım N., Simsek S., 2003. Determination of appropriate injection conditions for Kizildere geothermal waste fluid to avoid scale formation and cooling. European Geothermal Conference proceeding, Szeged Hungary.

KIZILAY (GAZLIGÖL- AFYONKARAHİSAR) MADEN SUYUNUN KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

THE DETERMINATION OF PROTECTION AREAS IN KIZILAY (GAZLIGÖL- AFYONKARAHİSAR) MINERAL WATER

ULUTÜRK Y.¹, YILDIZ A.², BAĞCI M.³, ÖZDEĞİRMENCİ, N.⁴

¹Devlet Su İşleri 11. Sondaj Şube Müdürlüğü, Afyonkarahisar.

yusufu@dsi.gov.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar

ayildiz@aku.edu.tr

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu Afyonkarahisar

mbagci@aku.edu.tr

⁴Özdeğirmenci Mühendislik, Afyonkarahisar
nusret_ozdegirmenci@hotmail.com

ÖZET

Doğal mineralli maden suları sınıfına giren Kızılay maden suyu ülkemizin ve dünyanın sayılı maden suyu kaynaklarından birisi olup, Na ve HCO₃ yönünden oldukça zengindir. Söz konusu maden suyunun işletilmesi için 1900'li yılların başlarında kurulan tesis, 1970'li yıllara kadar kaynaktan üretim yapmıştır. Bu tarihten sonra açılan sondajla üretime devam edilmiş, 2006 yılında ise ikinci 90 m. derinliğinde ve sondaj tekniğine uygun olarak açılan yeni bir derinkuyu ile yeni tesislerinde son derece modern 10000 adet/s kapasiteli makinalarla, meyveli ve sade soda üretimine devam etmekte, gerek yurt içi, gerekse yurt dışı piyasaya 24 saat üretim yapmaktadır. Tesislerin bulunduğu alan Afyonkarahisar-Gazlıgöl Jeotermal Havzası olarak isimlendirilmektedir.

İnceleme alanı olan Gazlıgöl ve Kızılay Jeotermal alanlarında yapılan gözlemlerimiz de, Alçın Çayının beton kaplamasının yapılması çok önemli bir kirliliği kısmen de olsa önlemektedir. Ancak, çevredeki kooperatiflerin, jeotermal akışkanlarının dereye deşarj etmeleri, çöp ve evsel atıkları dereye bırakmaları, besihane ve tavuk kümeslerinin varlığı, Gazlıgöl kuyularının ve Kızılay Madensuyu sondajlarının kirliliğine etki edebilecektir. Kızılay Madensuyu sondajları ile ilgili Kaynak Koruma zonları ve haritaları bu çalışma

detaylı olarak incelenmiştir. Bu konulara uyulması Kızılıay Madensuyu'na bugüne kadar duyulan güvenin devamını sağlayacaktır. Böylece, hem Kızılıay, hem de ülkemiz kazanmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Maden suyu, koruma alanı, Gazlıgöl, Afyonkarahisar

ABSTRACT

Kızılıay mineral water is belonging to natural mineral water group and it is one of the most important resources for our country and the world. It is very reach in Na and HCO₃ content. The facility, which was founded in 1900, has made production from its resources until 1970. Kızılıay has continued its production from the wells since this date and a second well has been drilled in 2006 with 90 m depth. Kızılıay continues its production with its 10000 pice/hour capacity machines for 24 hours a day and answer the demand for both domestic and international markets. It is located on Afyonkarahisar-Gazlıgöl geothermal reservoir.

Our studied which were conducted in Gazlıgöl Kızılıay geothermal are, showed that covering the Alcin Creek with concrete blocks eliminates contamination of geothermal resources. But cooperatives which located in this area, dumps their geothermal fluids and domestic wastes to this creek and many animal farms was located in this area. This could contaminate Gazlıgöl wells and Kızılıay Mineral water resources.

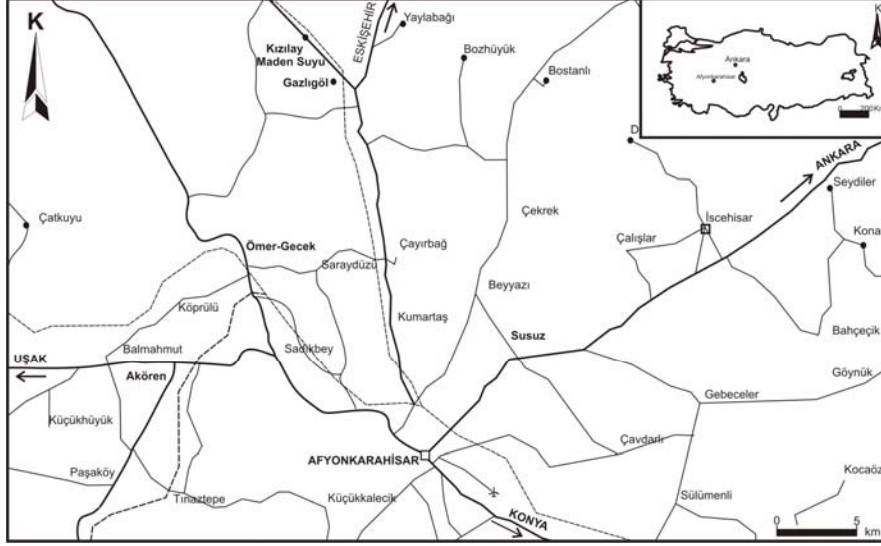
We examined in detailed the resource, protection zones and their maps with this study. Detailed analysis of these data will ensure the confidence to Kızılıay Mineral Water and will be an important gain for Kızılıay and Turkey.

Key Words: Mineral water, protection area, Gazlıgöl, Afyonkarahisar.

1. GİRİŞ

Jeotermal rezervuarın, jeotermal alanın, beslenme havzasının korunması, havza civarında yürütülen patlatma, ulaşım, alt yapı, enerji güzergah faaliyeti, sondaj, madencilik gibi faaliyetler sonucunda meydana gelen; çökme, kayma, kaynağın kesilmesi veya azalması, mineral yapısının değişmesi, üretim ve/veya sıcaklıkta azalma, üretimde ve sıcaklıkta sistemin kapasitesini geçen artış gibi fiziksel olumsuzluklar ile insan sağlığını ve sistemi olumsuz etkileyen organik ve inorganik kirlilik gibi kimyasal olumsuzlukların meydana gelmesini önlemeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma Afyonkarahisar-İhsaniye karayolu üzerinde, il merkezine yaklaşık 20km mesafede, Gazlıgöl kasabasına 1km uzaklıkta bulunan, **Kızılıay Madensuyu** tesisinin kaynak koruma alanının belirlenmesi için yapılmıştır (Şekil 1). Çalışma kapsamında inceleme alanının içerisinde bulunduğu bölgenin jeolojisi incelenmiş, bölgede yapılan jeolojik araştırma ve sondaj çalışmalarından yararlanarak sonuca gidilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

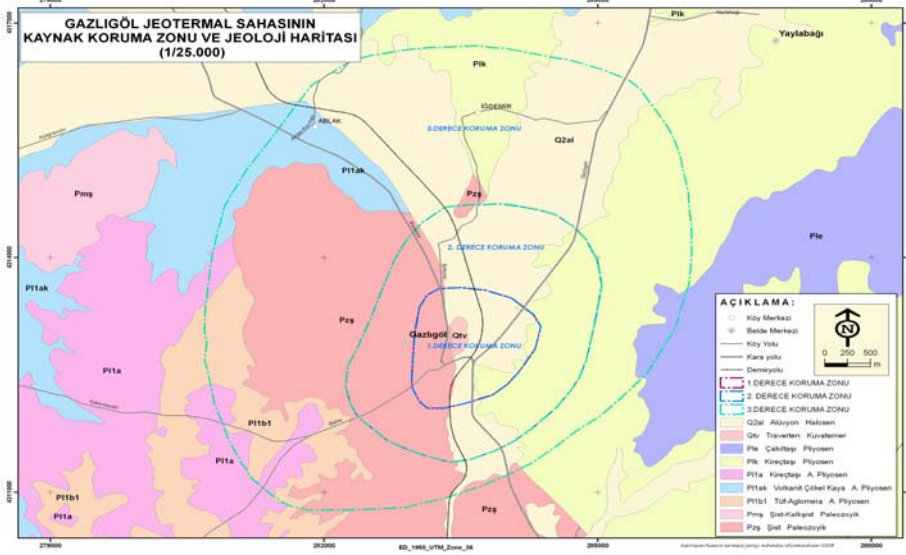
2.1. Stratigrafi

İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfileri temeli oluşturmaktadır. Formasyon Çobanlar metamorfik şisti (Pzş) ve İscehisar mermerinden (Pmş) oluşmuştur. Bunların üzerine uyumsuz olarak Orta – Üst Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonu gelmektedir. Bu formasyon Özburun üyesi (P11a, P11ak, Plk, Plç) ve Seydiler tufünden (P11b1) meydana gelmiştir. En üstte ise traverten ve alüvyon yer almaktadır (Şekil 2).

Çobanlar Şisti, Paleozoyik yaşlı diğer metamorfik birim olan **Paşadağ mermerleri** ile yer yer geçişli olup çoğunlukla mermerlerin altında yer almaktadırlar. Şistler arazide, albit – klorit – muskovit – biyotit - kuvarşist, kalkşist ve meta kumtaşı – meta konglomera olarak gözlenmektedir. Şistlerin içinde yer yer kuvarsitlere rastlanır. Ayrıca çatlakların arasında ise yersel olarak kuvars damarlarını görmek mümkündür (Metin vd., 1987). Bu birim genellikle kahve, boz, yeşil renklidir ve çok kıvrımlı bir yapıya sahiptirler. Öktü vd (1997) tarafından düşük dereceli yeşilşist fasiyesine ait mineral parajenezleri kapsadığı tespit edilmiştir. Granoblastik dokuludur.

Metamorfik temel üzerine uyumsuzlukla Orta-Üst Miyosen yaşlı **Özburun üyesi** çökelmiştir. Birim konglomera, kumtaşı, aglomera, tuf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisifiye kireçtaşı gibi birimlerden oluşmuştur. Aynı üye altında isimlendirilen birimin toplam kalınlığı 50 – 150 m arasında değişmektedir. **Seydiler tufü**, Gebeceler formasyonunun diğer üyesi olan Özburun üyesiyle iç içedir. Özburun üyesinin bulunmadığı yerlerde ise, direkt şistler üzerinde yer alır. Genellikle süt beyaz ve krem renkli olup, çok kalın tabakalanmalar gösterir. Peri bacaları gibi aşınım şekilleri

oluşturdukları için bölgede hemen dikkati çekmektedir. Metin vd (1987) tarafından birimin yaklaşık kalınlığı 50 - 150 m olarak belirtilmiştir.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası.

Traverten, Gazlıgöl eski ve yeni hamam çevresinde hidrotermal oluşumlar olarak yüzeylenmişlerdir. Ortalama 15m kalınlıkları vardır. Dolgu travertenler kama şeklinde oluşum gösterirler ve derinlikleri 100m'yi bulmaktadır. Bölgede Alçin çayı vadisi boyunca biriken çakıl, kum, mil ve kilden oluşan tutturulmamış güncel çökellerden oluşan **alüvyonun** kalınlığı 5 – 6 m civarındadır.

2.2. Yapısal Jeoloji

Kızılay madensuyu sahası yakınında Alçin çayı vadisinde eğim atımlı normal fay olan Alçin fayı bulunmaktadır. Fayın yükselen bloğu batıda olup, metamorfik şistleri ortaya çıkarmıştır. Fay KD eğimlidir. Alçin çayı metamorfik şistlerle, doğu bloğunda yer alan Gebeceler formasyonunun sınırını oluşturmaktadır. Egedemir köyü GB de, K 35D yönlü ana fay bulunmaktadır. Egedemir fayının Gazlıgöl tarafında K25D, yönlü ikinci bir fay bulunmaktadır. İki fay arasına traverten dolgu kama şeklinde oluşmuştur.

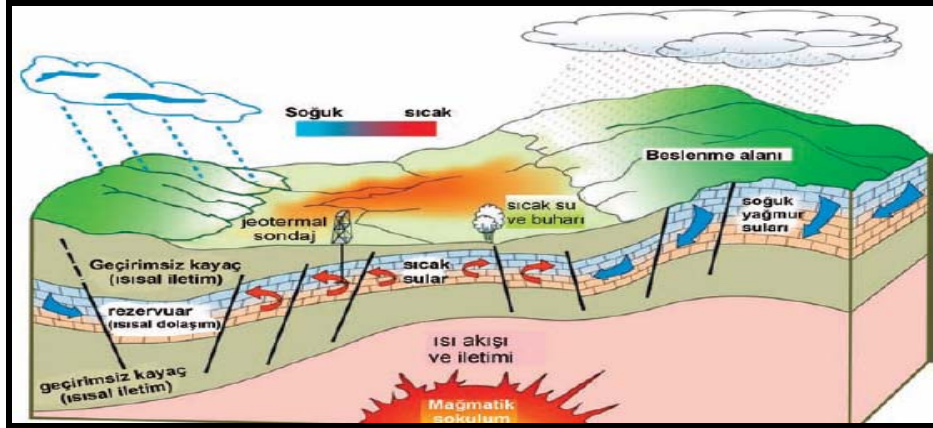
3. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLJİSİ

Kızılay Maden Suyu tesislerinin de yer aldığı, Gazlıgöl jeotermal havzasında, hazne, ısıtıcı ve örtü tabaklarının yaygınlığı ve kayaların yapısal konumları oldukça uygundur (Şekil 3). Hazne kayayı; Afyonkarahisar Metamorfikleri içinde bulunan mercekssel yapıya sahip kristalize kireçtaşları, kuvarsitler, kuvarsitler ve kalkışitler oluşturur. Bu birimler üzerine gelen Neojenin kıltaşı, marnlı seviyeleri örtü kayayı oluşturur. Ayrıca

tüf-tüfit ve aglomeralar ile Gazlıgöl formasyonunun kil, gevşek siltleri de bazı bölgelerde örtü kayayı oluşturur. Rezervuar ana kayacı oluşturan kristalize kireçtaşları çok fazla kalın olmamakla birlikte, çatlaklı kırıklı olmaları, sekonder porozite ve permabiliteye sahip olmalarını sağlamıştır. Bu kırıklı ve çatlaklı yapıları, kayaç içindeki meteorik ve diğer kökenli yer altı sularının serbest hareket ederek konveksiyon akımlarının oluşmasına, ısı akımının iletilmesini ve iyi bir hazne kaya olmasını sağlamıştır.

3.1. Su Kimyası

Suların Ph değerleri 6.1 ile 7.45 arasında değişen genellikle nötr bir karakter sergilerler. Maden suları ise 6.2 civarında Ph değeri ile sahanın geneline göre biraz daha asidik bir yapıya sahiptirler. Gazlıgöl maden suyunda toplam çözülmüş madde içeriği 2295-4625 mg/lit arasında değişmektedir. Sıcaklık 18.5-31°C arasında değişmektedir. Bu değere göre Gazlıgöl maden sularını ılık maden suyu olarak nitelenebilir. Kızılay maden suyunun kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir. Langelier-Ludwig (1942) diyagramına yerleştirildiğinde Gazlıgöl maden suyunun Na ve HCO₃ bakımından zengin oldukları görülür (Şekil 4; Şekil 5).

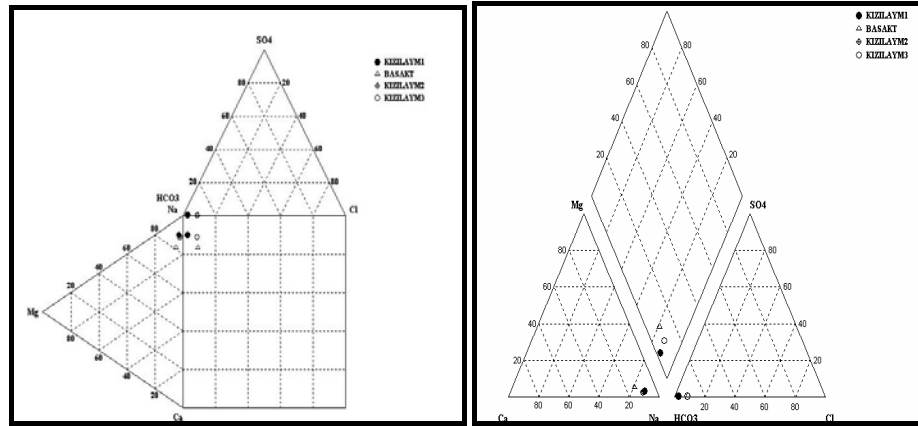


Şekil 3. Jeotermal kaynağı oluşturan öğeler.

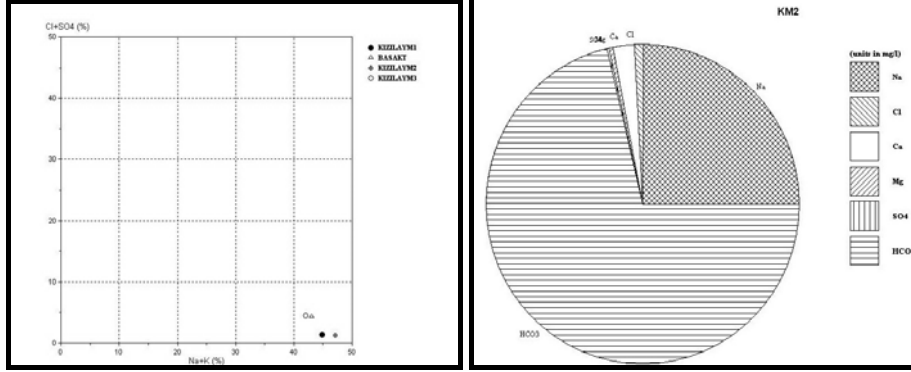
Gazlıgöl sularındaki HCO₃ derişiminin kökeni CO₂ bakımından zengin sularla olan karışımları nedeniyle olduğunu söylemek mümkündür. Gazlıgöl maden sularında yapılan ölçülmeye H₂S gazına raslanmadığı için söz konusu kabarcıkların CO₂ gazından kaynaklandığı düşünölmektedir. Gazlıgöl 'deki madensuları daha soğuk olmalarına rağmen yapılan analiz sonuçlarında, termal sıcak sulara göre daha zengin mineral içerirler. Bu durum maden sularına CO₂ in etkisi nedeniyle (MTA H.Mutlu) Madensuları, termal , sulara göre sığ kökenli sulardır. Bu nedenle PH değerleri termale göre düşüktür. Ayrıca HCO₃ fazlalığı Halim Mutlu tarafından yine CO₂ etkisine bağlanmaktadır. Maden suları, termal sulara göre daha asidik sulardır.

Çizelge 1. Kızılay maden suyunun kimyasal analiz sonucu.

ÖRNEK NO	T (°C)	pH	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄
KM2	18.5	6.2	96	900	72	17	2696	9
KM3	18.5	6.2	92.9	1080	97.8	19.2	3103	<10
KM3	31.5	6.2	90.0	1042	100.6	18.5	3012	<10
B1	44.5	7.13	43	580	87	20	1696	<10
ÖRNEK NO	Cl	Fe	Al	SO ₂	Br	Li	TÇM	Y.D (%)
KM2	137	<0.1	<0.02	48	16	1.9	4625	0.25
KM3	157	<0.1	<0.02	38	16	1.9	4625	0.25
KM3	126	<0.1	<0.02	23	14	1.8	4474	0.25
B1	93	<0.1	<0.02	20	11.6	2.0	2548	3.05



Şekil 4. Kızılay maden suyunun Durov ve Piper diyagramı



Şekil 5. Gazlıgöl maden suyu ve termal su için Langelier-Ludving ve Pie diyagramı

3.2. Rezervuar Sıcaklıkları

Gazlıgöl ve Kızılay Madensuyu yöresi rezervuar sıcaklıkları, Founder ve Potter (1982) ile Arnorrsson (1985) tarafından, kalsedon ve kuvars jeotermometreleri kullanılarak 63 ile 159 derece arasında hesaplanmıştır. Mg jeotermometresi uygulamasında ise 66-120 derece rezervuar sıcaklığına ulaşılmıştır.

3.3. Kızılay Maden Suyu Tesisleri Sondajı ve Özellikleri

Bölgede açılan 64m derinlik ve 10 ½” çapındaki sondaj kuyusunda Afyon metamorfileri ve Gebeceler formasyonun birimleri kesilmiş olup, sondajda geçilen birimlerin derinlik değerleri ve kuyuyla ilgili diğer bilgiler Çizelge 2 ve 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Sondajda geçilen birimler

Derinlik (m)	Kesilen Birim	Derinlik (m)	Kesilen Birim
0,00-0,50	Bitkisel toprak	15,00	Kumlu, siltli kil
15,00-60,00	Kuvarsit ara katkılı mikaşist	60,00-64,00	Yeşil renkli mikaşist

Teçhiz borusu ile formasyon arası 7/15mm ebatlı çakıl ile çakıllanmıştır. Kuyu Sıcaklığı:30 °C, kuyu debisi: 5 lt/sn (Dalgıç Pompa ile), statik seviye: 28,00m, dinamik seviye: 45,00m, su yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre Na+2 ve HCO₃⁻ iyonları bakımından zengin olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Teçhiz şeması.

Derinlik (m)	Sondaj Borusu	Derinlik (m)	Kesilen Birim
0,00-20,00	6 ½” Kapalı Boru	20,00-32,00	6 ½” Filtre Boru
32,00-36,00	6 ½” Kapalı Boru	36,00-48,00	6 ½” Filtre Boru
48,00-52,00	6 ½” Kapalı Boru	52,00-60,00	6 ½” Filtre Boru
60,00-64,00	6 ½” Kapalı Boru		

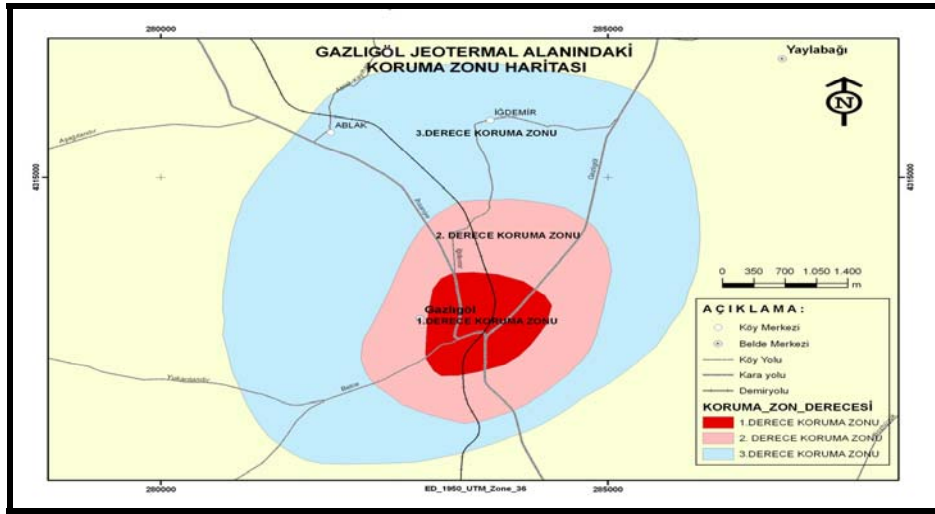
Langeiler Kalsiyum denge diyagramına göre ise, rezervuar alanının basınçlı akifer niteliğinde olmayışı ve sondaj sırasında geçilen formasyonların mika ve kuvarşitist kökenli birimlerden oluştuğu için kabuklaştırıcı (kireçlendirici) özelliği olmadığı gözlenmiştir.

4. KIZILAY MADEN SUYU VE JEOTERMAL SULARIN KORUMA ALANLARI

4.1. Koruma Alanlarının Belirlenmesi

İnceleme alanımızı oluşturan Kızılay Maden Suyu ve Gazlıgöl Jeotermal alanıyla ilgili olarak MTA tarafından Jeotermal Kaynakların Koruma Zonlarının Belirlenmesi konusunda çalışma yapılmış, bu çalışmada; Kızılay Madensuyu ve Jeotermal Alanı; bugüne kadar açılmış ve jeotermal potansiyelin artırılmasına yönelik açılacak kuyular da düşünülerek 3 zona ayrılmıştır (Şekil 5).

1. derece koruma zone: Jeotermal sahası sondaj kuyuları için,
2. derece koruma zone: Jeotermal alan potansiyeli için,
3. derece koruma zone: Sahanın kirlenmesini önlemek için belirlenmiştir.



Şekil 5. Gazlıgöl jeotermal alanında koruma zone haritası.

Şifalı madensuyu ve termal suların özelliklerinin suni etkilerle değişmemesi, biyolojik ve kimyasal etkenlerle kirlenmemesi, bozulmaması, şifa özelliklerinin yitirilmemesi, kaynak ve sondajların mekanik her türlü etkilerden korunması amacıyla şifalı bu gibi kaynak ve sondajlar için koruma alanları tespit edilmekte ve bu alanlarda önlemler alınması gerekmektedir.

Sondaj ve kaynakların koruma alanlarının tespitinde o yörenin ve sondajın açıldığı bölgenin jeoloji ve hidrojeolojik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun yanında açılan sondajın teçhiz işleminin sondaj tekniğine uygun olması gerekmektedir.

Bunlardan başka maden suyu ve termal suyun yüzeye çıkış yerlerinde ve çevresinde patlatma, hafriyat ve yapılaşmanın suyun azalmasına veya kaybolmasına neden olacağı bilinmelidir. Yapılan çalışmalar sonucunda üç zon olarak belirlenen koruma alanlarında dışdaki zonda alınması gereken önlemlere içindeki zonda da uyulması gerekmektedir. Kızılay madensuyu 2. sondaj kuyusu açılmasında üstte kapalı boru konması ve teçhiz arkasının çakıllanması uygun olmuştur.

4.2. Koruma Alanlarında Alınacak Önlemler

4.2.1. Birinci derece koruma alanında alınacak önlemler

Şekil 5’de belirtilen yaklaşık 100m’lik sınırlar içinde şu önlemler alınmalıdır.

- ❖ Alan içinde suyun alınması ve depolanması dışında hiçbir yapılaşmaya izin verilmemelidir.
- ❖ Her türlü kirlenme olasılığı kesinlikle önlenmelidir.
- ❖ Tespit edilmiş alan çimle kaplanmalı ve sadece kökü derin olmayan fidanlar dikilerek park haline getirilmelidir.
- ❖ Maden suyu tesisinin atık sularının 3.cü zon dışına kadar izole edilmiş borularla götürülmesi sağlanmalıdır.
- ❖ Yüzey suları ile yağmur sularının birikinti yapması önlenmelidir.
- ❖ Sondajın açıldığı noktanın yanından geçen Alçın Çayının kirlenmemesi için önlem alınmalı, gerekirse nehir tabanı betonlanmalı veya kil blanket kaplanmalıdır.
- ❖ Kirlenmeye neden olabilecek malzeme depolanmasına izin verilmemelidir.

4.2.2. İkinci derece koruma alanında alınacak önlemler

- ❖ Sondajlar çevresinde kirlenmeye neden olabilecek kirli ve atık suların izole edilerek birinci zon içinden geçmeyecek şekilde alan dışına çıkarılması sağlanmalıdır.
- ❖ Bu alan içinde kirlenmeye neden olabilecek gübre ve çöp yığını depolanmasına izin verilmemelidir.
- ❖ Alan içinde mezar bulunuyorsa alan dışına çıkarılmalıdır.
- ❖ Patlayıcı kullanılarak yapılacak her türlü çalışmaya izin verilmemelidir.
- ❖ Sıvı ve katı yakıt depolanmasına izin verilmemelidir.
- ❖ Kanalizasyon ve kirli su sistemleri çok iyi izole edilmiş tesislerin yapımına izin verilebilir.
- ❖ Drenajı birinci zon olmamak üzere yol veya caddeye açılabilir.
- ❖ Bu zon içerisinde yeni kuyu açılmasına izin verilmemelidir. Daha önce açılıp kullanılmayan kuyular kille doldurularak kapatılmalıdır.

4.2.3. Üçüncü derece koruma alanında alınacak önlemler

- ❖ II.derece koruma alanı dışında kalan ve drenaj alanını kapsayan bölge III. Zon olarak belirlenmiştir.
- ❖ Kirlenmeye neden olabilecek atıkların emniyetli koruma alanı dışına sevk etmeyecek her türlü kuruluş ve yapılaşmaya izin verilmemelidir.

- ❖ Üçüncü zonda kirlenmeye sebep olmayacak her türlü sanayi kuruluşuna izin verilebilir.
- ❖ Patlayıcı kullanımına uygun şartlarda ve kontrollü şekilde izin verilebilir.
- ❖ Dışdaki zonlar içinde uygulanacak önlemler, iç deki zonlarda da geçerlidir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir kalkınma ve çevresel korumayı sağlayacak gerekli kontrol ve denetleme mekanizmaları ve bölgesel sorumluluk sistemini içeren ve toplumun onayını alacak Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Yasası,03.6,2007 tarihinde 5686 sayı ile yayınlanmıştır. Bu yasa ile Doğal Mineralli sular ve jeotermal sular yasal denetim altına alınmış olup, bu gelişme ülkemiz için çok önemli bir kazançtır.

İlimizin jeotermal potansiyeli olan Ömer-Gecek ve Gazlıgöl jeotermal havzalarında akışkanların çevresel etkileri, sondajlar ve kaynaklar etrafında oluşan kooperatifler, besihaneler, tarım ilaçları yerel yönetimlerce mutlaka denetlenmelidir. İnceleme alanı olan Gazlıgöl ve Kızılay Jeotermal alanlarında yapılan gözlemlerde, Alçın Çayının beton kaplamasının yapılması çok önemli bir kirliliği kısmen de olsa önlemektedir. Ancak, çevredeki kooperatiflere ait jeotermal akışkanların dereye açıkça deşarj edilmesi, bu tesislerin çöp ve evsel atıkları dereye bırakmaları, besihane ve tavuk kümeslerinin varlığı ve halen faaliyette olmaları, Gazlıgöl kuyularının ve Kızılay Madensuyu sondajlarının kirliliğine etki edebilecektir.

Araştırma ve geliştirme çalışmalarının çevreye vereceği zararlar nedeniyle ileride çıkacak problemleri önlemek amacıyla ön çevresel çalışmalar yapılmalıdır.

Sürdürülebilir jeotermal gelişim için sahaların uzun dönemli gözlem programlarının, kullanım denetimleri ve modellemelerin oluşturulması şarttır.

Jeotermal enerjinin sürdürülebilir gelişimi için reenjeksiyon işlemi, çok amaçlı kullanım ve sığ rezervuarlarda ısı pompalarının kullanımı sağlanmalıdır.

Jeotermal sahaların geliştirilmesi ve bu ısı kaynağından maksimum fayda sağlamak için bölgesel jeotermal gelişim politikalarının yerel yönetimlerce oluşturulmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Akan, B., 2002. Afyon Ömer-Gecek Jeotermal sisteminin modellemesi Jmo dergisi 26.2.2002
- Giggenbach, W.F. Geotermal Solute Equilibra, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, Geochim, Cosmochim Acta 52, 2746-2765, 1988
- Gökalp, E., 1970. Gazlıgöl (Afyon) sıcak suları etüd raporu M.T.A rapor no:4366
- Gülay, A., 1972. Ömer-Gecek,-Afyon ovası, Gazlıgöl, Çobanlar, Çay yöresi jeotermik enerji araştırmaları rezistivite etüd raporları. MTA Rapor no:4852
- Karamanderesi, İ, H., 1972. Afyon K24 paftası detay jeoloji etüdü ve jeotermal alan olanakları hakkında rapor. MTA Rapor No:5733
- Langelier, W and Ludwig, H., 1942. Graphical methods for indicating the mineral character of naturel waters J, Amer, W, W Assoc v, 34p 335-352

- Mutlu, H., 1996, Afyon jeotermal alanındaki termal suların jeokimyasal değerlendirmesi ve jeotermometre uygulamaları Doktora tezi . ODTÜ 169s.
- Mutlu, H., Gazlıgöl (Afyon) termal ve maden sularının jeokimyasal özellikleri ve jeotermometre uygulamalar JMO dergisi sayı:50
- Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve Yakın Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Yay., Ankara.
- Öktü, G. Kara, İ. ve Önder, İ., 1997. Afyon İlinde Yer Alan Ömer – Gecek – Uyuz Hamamı ve Gazlıgöl Jeotermal Enerji Sahalarının Detay Etüdü, M.T.A. Enerji Ham. Etüt ve Arama Dairesi, 41s. Ankara.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses, American Geophysical Union Transactions, 25, 914–923.
- Scholler, H., Les eaux souterraines masson et cie Paris, İstanbul 1962.

ASİT MADEN SULARININ OLUŞUMUNDAKİ BİYOJEOKİMYASAL PROSESLER

BIOGEOCHEMICAL PROCESSES IN THE FORMATION OF ACID MINE DRAINAGE SITES (AMD)

ÇELİK BALCI, N.^{1,2}, MANDERNACK, K.²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları Jeokimya ABD,
İstanbul ncelik@itu.edu.tr

²Department of Chemistry and Geochemistry, Colorado School of Mines, 1500 Illinois Street,
Golden, CO 80401, USA kmandern@mines.edu

ÖZET

Bakterilerin katalize ettiği reaksiyonlar Fe, S, O ve C gibi birçok elementin jeokimyasal döngüsünde önemli yer alır. Sülfürlü minerallerin, biyolojik ve kimyasal olarak ayrışması maden sahalarında asit oluşumunun ana kaynağıdır. Asit maden sahası/suları olarak (AMS) bilinen bu ortamlar günümüzde madencilik faaliyetleri nedeniyle oluşan en yaygın çevre problemidir. Bu tür sahalar yüksek asidite ve metal içeriğine sahip olmaları nedeniyle ortamdaki ekolojik hayatı önemli oranda tehdit etmektedir. Uygun rehabilitasyon metodlarının geliştirilmesi için sülfürlü minerallerin oksidasyon mekanizmalarının ortaya konması kaçınılmazdır. Bu minerallerin bakteriler tarafından oksitlendiği yaygın bir şekilde kabul edilmektedir. Sülfür ve Fe (II) oksitleyen *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakteri türü, asit maden sahalarında (pH<3) yaygın olarak bulunmaktadır. Bu nedenle, sülfürlü minerallerin oksidasyon mekanizmasının ve bakterilerin buna katkısının ortaya konması asit maden sahalarının iyileştirilmesi için alınacak uygun tedbirlerin belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, özellikle AMS'da yaygın olarak bulunan sülfürlü minerallerin oksitlenmesinde bakterilerin rolü araştırılmıştır. Bu amaçla pirit, sfalerit, galen mineralleri AMS'ı temsil edecek laboratuvar koşulları altında bir seri oksitlenme/liç deneylerine tabii tutularak oksitlenme oranları hesaplanmıştır. Deneyler, biyolojik ve kimyasal olarak aerobik ve anaerobik koşullar altında pH 3 ve 2'de gerçekleştirilmiştir. Biyolojik deneylerde, *A. ferrooxidans* bakteri türü kullanılmıştır. Deney sonuçları, sülfürlü minerallerin bakteriler tarafından kimyasal reaksiyonlara oranla daha hızla oksitlendiğini ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçları ve önerilen iyileştirme metodları detaylı olarak tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Acidithiobacillus ferrooxidans, sülfür, asit maden sahası.

ABSTRACT

Bacteria are important catalysts of numerous redox reactions that govern the cycling of such elements as Fe, S, O, and C. The main source of acid production in AMD is biological and chemical weathering of sulfur minerals. The environments known as AMD is one of the most common environmental problems developed due to mining activities. These environments are harmful to ecological life because they have high heavy metal concentrations and acidity. In order to develop proper remediation strategies it is vital to elucidate the oxidation mechanism of sulfur minerals. It is widely accept that sulfur minerals can be oxidized by bacteria. *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Fe(II) and sulfur oxidizing bacteria, is commonly found in AMD.

In this study, bacterial influences on oxidation of sulfur minerals were investigated. For these purposes, pyrite, sphalerite and galena minerals were leached under the laboratory conditions which mimic AMD sites and their oxidation rate were calculated. The experiments were carried out as biological and chemical under aerobic and anaerobic conditions at pH 3 and 2. In the biological experiments *A. Ferrooxidans* were used. The results indicated that bacteria faster oxidized sulfur minerals relative to chemical reactions. The results and suggestions for rehabilitation strategies will be discussed in detail.

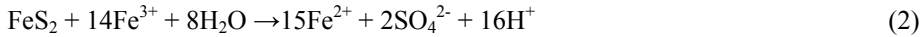
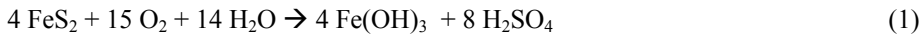
Key Words: Acidithiobacillus ferrooxidans, sulfur, acid mine drainage sites.

1.GİRİŞ

Yüzey ve/veya yeraltı madencilik işlemleri sırasında, sülfürlü cevher ve kömürün içerisinde dingin durumdaki kükürt, kaya parçalanıp ufalandığından atmosferik oksijen ve su ile tepkime olanağı bularak oksitlenmeye başlar. Bu oksidasyon sonucunda, yüksek sülfat, metal ve düşük pH'lı (<3) asit maden suları oluşur. Düşük pH'lı bu asidik sular kaya parçalarındaki ağır metalleri çözerek, yüzey ve yeraltı sularına karışmasına neden olur.

Asit maden sahalarının (AMD) oluşmasında genellikle sülfür içeren minerallerin (galen, sfalerit ve kalkopirit vb.) etkisi olmasına rağmen, pirit doğada bulunan en yaygın sülfür minerali olduğundan, bu tür sahaların oluşmasında birincil etkindir. Madencilik aktiviteleri sonucunda, hava ve suyla temas haline gelen pirit aşağıda belirtilen reaksiyonları geçirerek, sülfürik asit (H₂SO₄) ve demir (Fe²⁺) üretir.

bakteri



bakteri



Pirit reaksiyon 1'de gösterildiği gibi, atmosferik oksijenle temas ederek, hem kimyasal hem de biyolojik olarak oksitlenir. *A. ferrooxidans*, bu tür sahalarda yaygın olarak bulunan bakteri türüdür. Atmosferik oksijenin yanı sıra, pirit Fe (III) iyonu tarafından da oksitlenmektedir (reaksiyon 2) (Taylor ve Wheeler, 1994; Balcı vd., 2006, 2007). Fe(III) iyonu piriti, O₂'e oranla daha hızlı oksitlemektedir ve asit koşullar altında (pH

<3), Fe (III) iyonunun oluşumu, *A. ferrooxidans* bakterisi tarafından kontrol edilmektedir (reaksiyon 3).

Bu çalışmada, AMD sahalarını temsil edecek laboratuvar koşulları altında (pH<3), pirit, sfalerit, ve galen mineralleri biyolojik ve kimyasal liç deneylerine tabii tutulmuştur. Asit maden sahalarında sülfürlü cevherlerin ana oksitleyicileri O₂ ve Fe(III)'tür. Bu nedenle, liç deneyleri O₂ ile oksitlenmeyi temsil etmek üzere aerobik, Fe(III) ile oksitlenmeyi temsil etmek üzere anaerobik koşullar altında gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde kullanılan pirit minerali, Colorado School of Mines (Amerika) jeoloji müzesinden, sfalerit ve galen mineralleri USGS (Amerika Jeoloji Kurumu)'den elde edilmiş ve kimyasal bileşimi USGS Denver, Colorado'da analiz edilmiştir. Deneylerde kullanılmadan önce mineraller 63 µm boyutuna getirilmiş; yüzeyi Moses vd., (1987) tarafından belirtilen yöntemler kullanılarak temizlenmiştir. Yüzeyi temizlenen ve steril hale getirilen mineraller, biyolojik ve kimyasal olmak üzere aerobik ve anaerobik koşullar altında oksidasyon deneylerine tabii tutulmuştur.

2.1 Bakteri Kültürünün Hazırlanması

Biyolojik deneylerde kullanılmak üzere, *A. ferrooxidans* (20273) bakterisi türü Amerikan Bakteri Bankasından (ATCC) elde edilmiş ve özel kimyasal bileşimli çözelti içerisinde büyütülmüştür (çözelti bileşimi için bak Balcı vd., 2007). Yaklaşık 12 günlük bakterisi Whatman 1'nolu filtre kullanılarak süzülümüş ve daha sonra santrifüj edilerek konsantre hale getirilmiştir. Hazırlanan bakterisi kültürü, aynı gün biyolojik deneylerde kullanılmıştır.

2.2 Aerobik Biyolojik ve Kimyasal Oksidasyon Deneyleri

Biyolojik deneyler için sülfat ve Fe(II) içermeyen çözelti hazırlanmış (NH₄Cl, 0.6 g; MgCl₂.6H₂O, 0.2 g ; K₂HPO₄, 0.1 g ; Wolfe mineral solüsyonu, 5 ml) ve çözeltinin pH'sı 6M HCl kullanılarak 3'e ayarlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiden 250 ml, 500 ml'lik. erlenmeyer beherler içine konulmuş ve 121 °C'de 25 dakika süreyle steril edilmiştir. Bu sterilizasyon işleminden sonra, erlenmeyer beherler 25 dakika süreyle yüzeyi temizlemek amacıyla UV radyasyonuna tabii tutulmuştur. Yüzeyi temizlenmiş ve steril hale getirilmiş 500 mg pirit, 830 mg sfalerit ve galen ve 5ml *A. Ferrooxidans* bakterisi (~2.7 x 10⁷ bakterisi) steril koşullar altında beherlere eklenerek, deneylere başlanmıştır. Deneylerin tümü, 25 °C sabit sıcaklıklarda ve sallantılı masalarda (150 rpm) yapılmıştır. Deneylerde kullanılan beher ağızları giriş ve çıkış noktaları bulunan kauçuk tıpalarla kapatılmıştır. Beherler çıkış noktalarından geçirilen teflon tüpler yardımıyla, hava tankından taşınan hava ile havalandırılmış ve deney süresince oksijene doymun bir ortam yaratılmıştır. Buharlaşmayı ve mikrobiyolojik kirlenmeyi engellemek amacıyla teflon tüp ve beherlerin birleşim noktalarına 0.2 µm boyutunda filtreler yerleştirilmiştir. Kimyasal deneyler, biyolojik deneyler ile aynı koşullar altında fakat bakterisi eklenmeksizin gerçekleştirilmiştir.

2.3 Anaerobik Biyolojik ve Kimyasal Oksidasyon Deneyleri

Anaerobik deneyler için, 100 ml daha önce kimyasal bileşimi verilen deneysel çözelti, 200 ml'lik serum şişelerine konarak, pH'sı HCl ilavesiyle 2'ye ayarlanmıştır. Düşük pH, Fe (III) iyonlarının çözeltide tutulması için gerekmektedir. Serum şişeleri 121°C'de 25 dakika süreyle steril edilmiş ve çözünmüş oksijeni ortadan kaldırmak için 30 dakika nitrojen gazı ile havalandırılmıştır. Bu işlemlerden sonra, serum şişeleri mikrobiyolojik anaerobik oda içerisinde 24 saat süreyle bekletilmiştir. Deneylerde oksitleyici olarak kullanılan Fe (III) çözeltisi Balcı vd., 2007'de belirtilen yöntemler kullanılarak hazırlanmıştır. Pirit deneyleri, 200 ml'lik serum şişesi içerisine 100 ml deneysel çözelti, 10 ml Fe (III) çözeltisi, 200 mg pirit ve 1ml *A. ferrooxidans* bakterisinin, eklenmesiyle başlatılmıştır. Sfalerit ve galen deneyleri için 1.6 gr mineral kullanılmıştır. 1 L serum şişesi içerisine 500 ml çözelti, 100 ml Fe (III) çözeltisi, 5 ml *A. ferrooxidans* bakterisi eklenerek sfalerit ve galen deneyleri başlatılmıştır. Kimyasal anaerobik deneyler, biyolojik deneyler ile aynı koşullar altında, bakteri eklenmeksizin tekrar edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 Aerobik Deney Sonuçları

Piritin oksitlenme ürünleri olan, sülfat ve Fe (III) konsantrasyonları göz önüne alındığında, *A. Ferrooxidans*'nın piriti kimyasal reaksiyona oranla daha hızlı oksitlediği saptanmıştır (Şekil 1). Bu saptama, hesaplanan oksitlenme oranları ile de uyumludur. Biyolojik deneylerde piritin oksitlenme değeri 1.32×10^{-8} mol/m²/s, kimyasal deneylerde ise 1.80×10^{-10} mol/m²/s olarak hesaplanmıştır. Kimyasal deneylerde, sülfat konsantrasyonu deney süresince artmasına rağmen, bu artış biyolojik deneylere oranla oldukça azdır (Şekil 2). Deneyler sonunda (45 gün) sülfat konsantrasyonu biyolojik deneylerde ~1150 mg/l ölçülürken, aynı değer kimyasal deneylerde 42 mg/L olarak ölçülmüştür. Fe (III) konsantrasyonu biyolojik deneylerde 271 mg/L, kimyasal deneylerde 2 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, *A. ferrooxidans* bakterisinin Fe (II) iyonunu (pH <3) hızla oksitlediği gerçeği ile uyumludur (Nordstrom, ve Southam, 1999). Piritin oksidasyonu ile doğru orantılı olarak biyolojik deneylerde pH 2.1'e kadar düşmüştür. Buna karşın, kimyasal deneylerde, deneysel çözeltinin pH'sı ancak 2.8'e ulaşmıştır (Şekil 2). Pirit deneyleri ile uyumlu olarak bakteri sfaleriti hızla oksitlemiş ve oksitlenmenin sonucunda sülfat konsantrasyonu düşen pH ile birlikte hızla artarak 60 gün sonra 884 mg/L 'ye ulaşmıştır (Şekil 3). Kimyasal deneylerde, sülfat konsantrasyonu deney sonunda (60 gün) 25.9 mg/L olarak ölçülmüş ve çözeltinin pH'sında önemli bir değişim gözlenmemiştir (pH = 3.9) (Şekil 3). Pirit ve sfalerit deneyleriyle uyumlu olarak, biyolojik galen deneylerinde de yüksek sülfat konsantrasyonları ölçülmüştür (veriler sunulmadı).

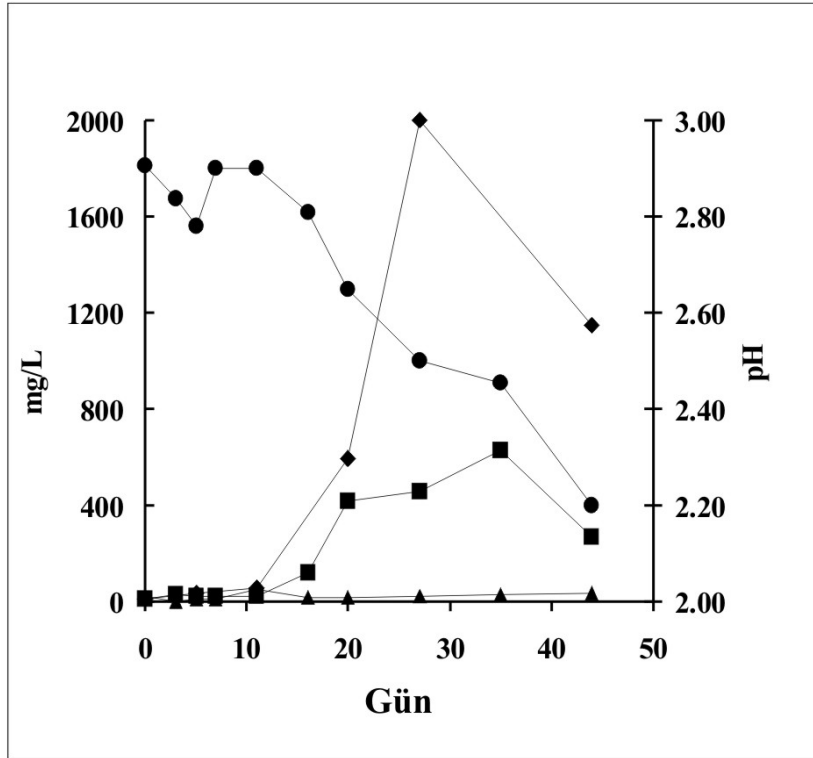
3.2 Anaerobik Deney Sonuçları

Aerobik biyolojik deney sonuçlarına oranla, anaerobik biyolojik ve kimyasal deneylerde sülfat konsantrasyonu düşüktür. En yüksek sülfat konsantrasyonu 462 mg/L olarak pirit deneylerinde ölçülmüştür. Aynı değer biyolojik sfalerit deneylerinde 144 mg/L, kimyasal deneylerde ise 94.08 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4). Galen deneylerinde (biyolojik ve kimyasal) sülfat konsantrasyonu çok düşük olduğundan ölçülemedi.

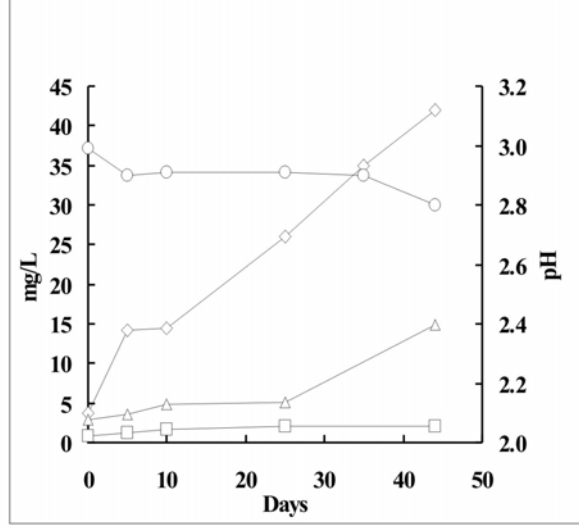
Biyolojik ve kimyasal anaerobik deneylerinde, benzer sülfat konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu sonuç, minerallerin Fe (III) tarafından kimyasal olarak oksitlenmesinin, biyolojik reaksiyonlara göre daha baskın olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4). Piritin Fe(III) iyonu tarafından oksitlenmesinde ana ürün sülfat iyonu iken, sfaleritin ve özellikle galenin ana oksitlenme ürünü elementel kükürttür. Bu nedenle, galen deneylerinde sülfat konsantrasyonu önemli değerlere ulaşmamıştır.

3.4 Biyojeokimyasal Prosesler

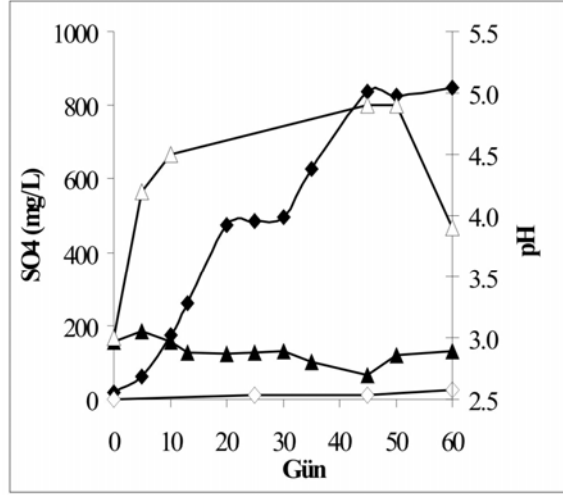
Pirit bakteri tarafından iki farklı mekanizma ile oksitlenir. Bakterinin, piritin yüzeyine yapışarak enzimatik olarak gerçekleştirdiği oksitlenme, direk oksidasyon mekanizması olarak adlandırılmaktadır. İndirekt olarak adlandırılan mekanizma da ise bakteri ortamdaki Fe(II) iyonunu oksitleyerek Fe(III)'e dönüştürür. Fe(III) iyonu ise piriti kimyasal olarak oksitler. İkinci mekanizma ortamdaki Fe(II) iyonunun varlığına ve oksitlenme derecesine bağlıdır. Aerobik koşullarda yüksek sülfat konsantrasyonu ve düşük pH değerleri, bu iki mekanizmanın da oluştuğuna işaret etmektedir. Fe(III) piriti oksijene oranla daha hızlı oksitlediğinden, piritin oksidasyonunda bakterinin ana görevi Fe(III) iyonunu oluşturmaktır.



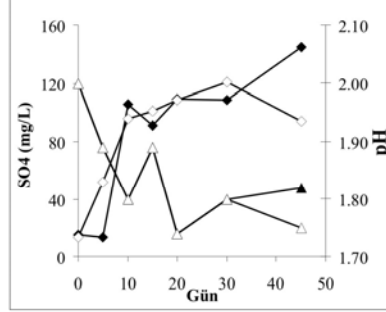
Şekil 1. Biyolojik pirit oksidasyonu süresince solüsyon kimyasındaki değişimler. (◆) sülfat, (■) Fe(III), (▲) Fe(II), (●) solüsyonun pH'si.



Şekil 2. Kimyasal pirit oksidasyonu süresince solüsyon kimyasındaki değişimler.(◇) sülfat, (□)Fe(III), (△) Fe(II), (○) solüsyonun pH'ı



Şekil 3. Aerobik biyolojik ve kimyasal sfalerit oksidasyonu süresince solüsyon kimyasındaki değişimler.(◆) sülfat, (▲) solüsyonun pH'ı.



Şekil 4. Anaerobik biyolojik ve kimyasal sfalerit oksidasyonu süresince solüsyon kimyasındaki değişimler (◆) sülfat, (▲) solüsyonun pH'si. (İçi dolu semboller, biyolojik deneyleri temsil eder.)

Oluşan Fe(III) piriti oksitleyerek tekrar Fe(II)'ye dönüşür ve bakteri devreye girerek bu döngünün devamını sağlar. Piritin sfalerit deneylerinde Fe(II) iyonunun olmaması nedeniyle yalnızca direkt mekanizma gelişir. Sfalerit ve galen gibi monosülfid mineralleri asidik ortamlarda kimyasal olarak hızla kükürte dönüşür. *A. Ferrooxidans* bakterisi mineralin kendisinin yanı sıra, mineralin yüzeyinde oluşan kükürtü oksitleyerek ortamdaki oksitleyicilerin mineralin yüzeyine diffüz etmesine olanak sağlar. Bu nedenle, sfalerit ve galenin oksitlenmesi direkt olarak bakteriyel faaliyetlere bağlıdır. Fe(III) iyonu bu mineralleri oksitlemede yetersiz kalarak ancak kükürt oluşuma neden olmaktadır. Bu nedenle anaerobik koşullar altında yapılan deneylerde, bakteriyel faaliyetlerin eksikliği nedeniyle sülfat konsantrasyonu yok denecek derecede azdır. Bakteriyel faaliyetler olmaksızın kimyasal olarak Fe(III) iyonu bu mineralleri oksitlemede yetersiz kalmaktadır. Yapılan bu çalışma, piritin sfalerit ve galene oranla farklı bir oksidasyon mekanizması sergilediğini ortaya koymuştur. Piritin aksine, sfalerit ve galen minerallerinin oksidasyonu direkt olarak bakteriyel faaliyetler tarafından kontrol edilmektedir. Fe(III) iyonu piriti hızla oksitleyerek sülfat oluşumuna ve düşük pH koşullarının oluşmasına neden olurken, sfalerit ve galen minerallerinin oksitlenmesinde bakteri olmaksızın yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Balcı, N., Bullen, T. D., Witte-Lien, K., Shanks, W.C., Motelica, M. and Mandernack, K. W., 2006. Iron isotope fractionation during microbially stimulated Fe(II) oxidation and Fe(III) precipitation *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 622-639.
- Balcı, N., Shanks, W.C., Mayer, B. and Mandernack, K. W., 2007. Oxygen and Sulfur Isotope Systematics of Sulfate Produced by Bacterial and Abiotic Oxidation of Pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 3796-3811.
- Taylor, B. E. and Wheeler, M.C., 1984. Stable isotope geochemistry of acid mine drainage: Experimental oxidation of pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 2669-2678.
- Nordstrom, D.K. and Southam, G., 1999. Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation. In *Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals*, Mineralogical Society of America 35 (eds. J. F. Banfield and K. H. Nealson), 361-390.

AFYON-SANDIKLI JEOTERMAL SAHASI KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF PROTECTION AREAS IN AFYON-SANDIKLI GEOHERMAL FIELD

AKAN, B¹., TAMGAÇ, Ö. F¹. ve ÜNAL, H.¹

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.
bakan@mta.gov.tr

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Afyon-Sandıklı jeotermal sahasında yer alan sıcak su kaynakları ve kuyular çevresinde koruma alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sandıklı kaplıca ve çevresinde değişik yıllarda MTA Genel Müdürlüğü ve özel şirket tarafından toplam 12 adet sondaj yapılmıştır. Bu kuyulardan kaplıca, sera ve şehir ısıtmasında faydalanılmaktadır. Bunların derinlikleri 49-427 m arasında değişmektedir. Afyon-Sandıklı jeotermal alanında yer alan sıcak suların sıcaklığı 66.8-80 °C, EC'si 2050-2340 (µS/cm) ve pH'ı 6.52-6.91 arasında değişmektedir. İnceleme alanının temelinde şist, kuvarsit ve fillitten oluşan Afyon Pelozoyik grubu olarak adlandırılan birimin Hüdayi kuvarsit üyesi yer almaktadır. Bu birimin üzerinde kalın katmanlı dolomitik kireçtaşları ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Akdağ formasyonu bulunmaktadır. Birim Üst Miyosen kaplıca üyesi tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve traverten en genç birimlerdir. İnceleme alanında yapılan hidrokimyasal değerlendirmeler sonucunda sıcak ve mineralli suların ise Na+K ve SO₄'ca zengin olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanında yürütülen jeoloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimya çalışmaları sonucunda sıcak suların koruma alanı sınırları belirlenerek jeoloji haritasına işlenmiş ve bu zon sınırları içerisinde alınması gerekli önlemler belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Afyon, jeotermal, koruma alanları, Sandıklı, termal su

ABSTRACT

This paper presents a case study of the protection areas of the Afyon-Sandıklı geothermal systems in Turkey. 12 boreholes has been drilled by national thermal water authorities and private organizations in Afyon-Sandıklı geothermal field. The depth of these wells is between 49-427 m. The stratigraphy in the Sandıklı area starts with the Paleozoic

basement which is represented by metamorphic rocks consisting of schist, quartzite, and phyllite. of these, only the quartzites are called as “Hüdaı quartzite member”. Mesozoic rocks overlie the Paleozoic basement with a tectonic contact and are composed of conglomerate, shale, limestone, radiolarite and associated submarine volcanics. Of these units, only the Cretaceous limestone, named as Akdağ limestone is exposed in the vicinity of the Hüdaı hot springs. The Neogene sequence, which overlies the Mesozoic units with an unconformity, is represented by tuff breccia, limestone, conglomerate, marl, clay, and silt deposits. Tuff breccia deposits comprise the basement of Neogene. The Quaternary units consist essentially of alluvium and travertine deposits. Studies were carried out to obtain the main chemical and physical characteristics of thermal waters. The Afyon-Sandıklı hot waters represent Na+K-SO₄ dominated character. According to the evaluation of geological, hydrogeological and hydrogeochemical characterization of the Sandıklı geothermal field the protection areas are defined for geothermal area. The criteria that led to their definition and the measures are also presented.

Key words: Afyon, geothermal energy, protection areas, Sandıklı, thermal waters

1. GİRİŞ

Afyon-Sandıklı jeotermal sahasında, kaplıca turizmi, seracılık ve şehir ısıtması amacı ile açılmış olan sondajlardan çıkan suların fiziksel etkiler ile kimyasal-biyolojik her türlü kirlenmelerden korunması amacı ile jeotermal alanın koruma alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli Afyon L24a2 ve L24b1 paftaları içinde yer almaktadır. Sandıklı kaplıcası ve çevresinde değişik yıllarda MTA Genel Müdürlüğü ve özel şirket tarafından toplam 12 adet sondaj yapılmıştır. Bu kuyulardan kaplıca, sera ve şehir ısıtmasında faydalanılmaktadır.

Çalışma kapsamında daha önce yapılan jeoloji çalışmaları dikkate alınarak jeotermal alanın jeolojisi revize edilmiş, kayalıklara ait hidrojeolojik özellikler incelenmiş, sıcak su kuyularından su kimyası analizi amaçlı örnekler alınmıştır. Jeoloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimya çalışmaları ile elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, koruma alanlarının sınırları ve bu alanların sınırları içinde uyulması gereken kurallar, alınması gereken önlemler belirlenmiştir.

Afyon-Sandıklı jeotermal sahasında yapılan koruma alanları etüdü çalışmaları sonucunda belirlenen koruma alanları zonları ile uyulması gereken kurallara dikkat edilmesi bölge için önemli bir ekonomik değer olan sıcak suyun, uzun yıllar kullanılabilmesi ve gelecek nesillere aktarılabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

İnceleme alanı, Orta Anadolu’da, 38° - 39° kuzey enlemleri ile 30° - 31° doğu boylamları arasında yer almaktadır. İnceleme alanı sınırları içerisinde yer alan en önemli yerleşim merkezi Sandıklı ilçe merkezidir. Afyon Sandıklı jeotermal alanı Ege Bölgesi’nin İç Batı Anadolu kısmında yer almaktadır. Alan Sandıklı ilçesine 15 km uzaklıkta bulunmaktadır. Kuzey ve kuzeydoğuda Şuhut, güneyde Dinar ilçeleri, batıda da Denizli ve Uşak illeriyle çevrilidir. Alanın ortalama yüksekliği 1175 m’dir. İnceleme

alanı ve çevresinde ekonomik yapının temelini tarım ve hayvancılık oluşturmaktadır. Meyvecilik ve tarla ziraatı da yapılmaktadır. Yetiştirilen ürünlerin başında şeker pancarı, buğday, arpa, nohut, patates, elma ve haşhaş gelmektedir. Halkın geçim kaynakları arasında küçükbaş hayvan yetiştiriciliği de önemli bir yer tutmaktadır. Oldukça gelişmiş ulaşım koşullarına rağmen ilçede sanayi fazla gelişmemiştir. İlçenin bir diğer ekonomik kaynağı termal turizmdir. İlçenin kuzeyinde Ahır Dağı (1195 m) doğusunda Kumalar Dağı (2247 m) güneybatısında Akdağ, batısında Çatma Dağı (1876 m) yer almaktadır. İlçenin orta kesiminde yer alan Sandıklı Ovasının ortalama yüksekliği 1000 m'dir. Sandıklı jeotermal alanında yer alan en önemli akarsu Hamamçayı'dır. İnceleme alanı ve çevresinde karasal ve yarı kurak bir iklim vardır. Sandıklı Meteoroloji istasyonunun verilerine göre 20 yıllık ortalama sıcaklık 12.4 °C, ortalama yağış ise 53.15 mm dir.

3. JEOLJİ

3.1. Stratigrafi

Sandıklı jeotermal alanında volkanik kayalar ile büyük oranda tortul ve metamorfik kayalar yüzeylenir. Metamorfik kayalar da volkanik ve tortul kökenlidir. Jeotermal alanın temelini metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Metamorfik kayalar; volkanik kayalar ve sığ deniz tortullarından oluşmuş ve metamorfize olmuşlardır. Permiyen öncesinde oluşmuş ve metamorfikleşmiş bu temel Mesozoyik Tortulları ile örtülmektedir. Bu kayalar Permiyen'den Jura'ya kadar süren bir transgresyonla tortullaşmışlardır. Paleosen'e ait derin deniz çökelleri, bunları izlemektedir. Bunların üzerinde ise Eosen'in lagüner ve muhtemelen Oligosen'in konglomeraları yer almaktadır. Sahada görülen genç kayalar ise Miyosen yaşlı göl çökelleri ile Pliyosen yaşlı çökellerdir (Şekil 1). Çalışma alanının jeolojisine ilişkin bilgilerin önemli bir bölümü Öngür (1973)'den alınmıştır.

3.1.1. Afyon Paleozoyik grubu

Alanda metamorfik temeli oluşturan kayalar, "Afyon Paleozoyik Grubu" olarak adlandırılmıştır. Burada ortak depolama havzaları olan, aynı metamorfik ve tektonik süreçleri geçirmiş, birbirleriyle geçişli farklı litolojik birimler topluca ele alınmaktadır. Kestel Yeşil Şist Formasyonu, farklı litolojileri temsil eden üyelere ayrılmıştır. Formasyonu oluşturan kayaların en belirgin ortak özellikleri; aynı derecede ilerlemiş "Yeşil Şist Fasiyesinde" metamorfizmaya uğramalarıdır. Formasyonu oluşturan üyelere Hüdai Kuvarsit Üyesi ve Koçgazi Fillit Üyesi jeotermal alanda yayılım gösterir. Kocayayla Porfiroid Üyesi ile arada yer alan metabazalt tabakası ise yakın paftalarda yer almaktadır. Kestel Formasyonu alanda özellikle batı kesimlerde yer alır. Hüdai Kaplıcası güneyinde de gözlenmektedir. Kestel formasyonunun tabanı gözlenmemektedir. Üstten güneyde ve güneydoğuda Mesozoyik yaşlı taban konglomeraları tarafından açılı uyumsuzlukla örtülür. Doğuda ve kuzeydoğuda ise gene Mesozoyik sedimanları tarafından bindirme ile sınırlanmaktadır.



Sekil 1. Afyon-Sandıklı jeotermal alanının jeoloji ve koruma alanları haritası

Koçgazi Fillit Üyesinin tipik görünümü Koçgazi güneyindedir ve litolojisini esas olarak fillit oluşturur. Kıvrımlı durumundan dolayı kalınlığı belirlenmemektedir. Gri yeşilden, krem rengine, bordoya varan renkli, sadece fillitten oluşan bir istif sunar. Bunlar ince (0.1-0.4 cm) tabakalı, parlak yüzlü, yumuşak şistlerdir. Fillitler şistsel dokulu, serizit pulla, aksesuar kuvars ve opak katkılarında oluşmuşlardır. Klorit egemendir ve apatit, titanit ve ilmenit içerirler. Kalınlığının 200-250 m kadar olduğu düşünülmektedir. Alttan Kocayayla Üyesi, üstten de Hüdai Üyesi ile sınırlandırılırlar. Kuzeydoğuda, Hüdai Üyesine yanal ve tedrici olarak geçişlidir.

Formasyonu oluşturan üyelerden Hüdai Kuvarsit Üyesi, en belirgin bir şekilde Hüdai Kaplıcası yakınında Demirlik Tepe'de yüzeylenmektedir. Radar Tepe dolaylarında mor renkli kalsit damarlarıyla kesilmiştir. Yerel olarak kalın tabakalı, boz renkli, orta irilikte kristalli kuvarsit olarak gözlenir. Kuvarsit, granoblastik dokulu, birbirine dış-dış geçmiş (0.5-0.9 mm) kuvarstan oluşmuştur. Çimento maddesi olarak çok az klorit maddesi yer alır. Yerel olarak içinde aksesuar olarak turmalin ve apatit içerir. Görünür kalınlığı 400 m kadardır. Alt sınırını, Koçgazi Fillit Üyesi oluşturur. Üstten ise genelde Neojen yaşlı birimler ile uyumsuz olarak sınırlanır. Güneybatıda Koçgazi Üyesine yanal geçişlidir.

3.1.2. Pisidya Mesozoyik grubu

Mesozoyik yaşlı çökeller alanda oldukça geniş bir yayılım gösterirler. Bu grup içinde Karatepe Verrucano Formasyonu, Derealanı Şist Formasyonu ve Akdağ Kireçtaşı Formasyonu yer almaktadır. İlk kez Parezas tarafından ayrıntılandırılan bu Formasyon Güney Avrupa'da Verrucano Fasiyesi ile benzerliğinden dolayı Verrucano diye anılmıştır. Alttan konglomera ile başlayıp üste doğru alacalı şist tabakalarından oluşmaktadır.

Alanda sınırlı bir yayılıma sahip olan Derealanı Şist Formasyonu, en kalın çökellerine Derealanı dolaylarında sahiptir. Bu formasyon değişik yerlerde değişik kalınlıklardadır. Kalınlığı 100 m'den, Derealanı dolaylarında 1500 m'ye kadar ulaşmaktadır. Doğuda Karatepe dolaylarında boz renkli şistel kumtaşı, kıltaşı ve killi-kumlu kireçtaşlarının oluşturduğu bir istif sunmaktadır. Batıya doğru yaygınlaşan ve kalınlaşan yüzeylenmelerde killi şist, kalkşist, kumtaşı ardalanması ve tavana yakın bir bazik lav akıntısı yer almaktadır. Derealanı dolaylarında istif killi şist-kalkşist ardalanması, mercan ve bitki dalları içeren kumtaşı ve mikritik kireçtaşı ve tavanda arkoz, konglomera ve killi şist ve en üstte kumtaşı, killi şist ve kuvars çakıllı konglomeratik kumtaşı şeklinde tamamlanmaktadır.

Bu formasyon uyumlu olarak Karatepe Formasyonu üzerinde yer almakta, üzerine ise Akdağ Kireçtaşları gelmektedir. Bu ilişki uyumlu ve yanal geçişli olarak izlenmektedir. Çökellerin kalınlığı Derealanı civarında en kalın olacak şekilde iki yönde az, ortada fazladır.

3.1.3. Sandıklı Neojen formasyonu

Bu formasyon Pliyosen Hamamçay Üyesi, Volkanit Zonu ve Üst Miyosen Sandıklı Üyesi-Soğucak Tüf Üyesinden oluşmaktadır. Soğucak Tüf Üyesi Neojen Formasyonu'nun tabanında ve alanın tüm doğu yarısında gözlenmektedir. Bütün tüflerden kuruludur ve üzerindeki diğer Neojen birimleriyle volkanik kayalardan ayrılır.

Kalınlığı 50 ile 120 m arasında değişmektedir. Hemen her yerde daha yaşlı formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelmekte olup, üstten de Sandıklı Miyosen Üyesi tarafından sınırlanmaktadır. Üst Miyosen Sandıklı Üyesi Üst Miyosen yaşlı marn, kumtaşı, silttaşı, marnlı kireçtaşının oluşturduğu kayaç topluluğundan oluşmaktadır. Çok geniş bir yayılıma sahiptir ve Yayman, Koçgazi dolayları en yaygın olduğu yerlerdir.

Pliyosen Hamamçay Üyesi, Hamamçay boyunca izlenmektedir. Karatepe-Hüdaı arasında devam eden birim, Sandıklı ovasında yaygınlaşır. Yanal olarak çok değişkendir. Hüdaı-Karatepe arasında kil, kum ve çakıl tabakaları; Karatepe-Sandıklı eşiğinin doğusunda volkanik konglomera örtüsü, batısında ince çakıllı-killi silt, genelde volkanit, kısmen de kuvarsit ve kireçtaşı çakıllı konglomera şeklindedir. Koçgazi'nin batısında kırmızı kahverengi gevşek konglomera, altında silt, kil ve arasında konglomera halinde rastlanır. Kalınlık yerel olarak değişmekle beraber 20-100 m arasındadır. Genelde doğuda daha çok siltli, batıda ise çakıllı olarak belirginleşmektedir. Kalınlığı batıda daha fazladır. Tabanda Sandıklı Üyesi ile uyumlu, üstten ise Alüvyon Zonu ile sınırlıdır.

4. HİDROJEOLOJİ

4.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Sandıklı-Hüdaı jeotermal alanında temeldeki metamorfik kayaçlardan kuvarsitler ikincil permeabiliteleri nedeniyle önemli bir rezervuar kayaç özelliği göstermektedir. Sandıklı jeotermal alanı ve çevresi yeraltı suyu yönünden zengindir. Bölgede yaygın karstik boşluklu kireçtaşları içinde açılan sondajlarda yüksek debili yeraltı suyuna rastlanmaktadır. İnceleme alanında ova içinde yer alan Derealanı Formasyonu ve Sandıklı Formasyonuna ait kayaçlar düşük geçirimsizliğe sahiptirler. Bu nedenle jeotermal sistem için uygun bir örtü kayaç özelliği göstermektedirler. Ancak yapısal jeoloji söz konusu hidrotermal sistemin, rezervuar kayaçlarının yüzeyde yer aldığı ve örtü kayacın bulunmadığı bir horstun kenarında yer aldığını göstermektedir.

4.2. Su Noktaları

4.2.1. Yüzey suyu

Çalışma alanında yer alan tek akarsu Hamamçayı'dır. Hamamçayı inceleme alanına güneydoğudan girip, sıcak suların bulunduğu alanı kat ederek, kuzeybatıdan terk etmektedir.

4.2.2. Sıcak su kaynakları

İnceleme alanında, önceki yıllarda Hamamçayı boyunca çeşitli yerlerde kaynak çıkışları bulunmasına rağmen sıcak su kuyularının açılmasından sonra bu kaynakların hepsi kurumuştur.

4.2.3. Sıcak su kuyuları

Afyon-Sandıklı jeotermal sahasında 1994 yılından günümüze kadar MTA Genel Müdürlüğü ve özel şirketler tarafından 12 tane sıcak su kuyusu açılmıştır. Bunun

dışında, soğuk su amaçlı açılan pek çok kuyuda da, sıcak su elde edilmiştir. Bunların derinlikleri 49-520 m arasında değişmektedir.

Afyon-Sandıklı jeotermal alanında gerçekleştirilen koruma alanı çalışması kapsamında yapılan arazi çalışmasında, sıcak su kuyularına ait koordinatlar belirlenmiş ve fiziksel ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlere göre, kuyulardan elde edilen suların sıcaklığı 66.8-80 °C, EC'si 2050-2340 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve pH'ı 6.52-6.91 arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 2. Afyon-Sandıklı jeotermal alanında yer alan kuyulardan elde edilen sıcak akışkanın fiziksel özellikleri

Kuyu Adı	Kuyu Türü	Koordinatları			Fiziksel Özellikleri		
		x	y	z	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sıcaklık (°C)	pH
AFS-1	Üretim	4257695	254265	1004	-	-	-
AFS-2	Üretim	4257656	254342	1006	2130	66.8	6.91
AFS-3	Reenjeksiyon	4257888	254326	1016	-	-	-
AFS-4	Üretim	4257862	254294	1016	-	-	-
AFS-5	Üretim	4257625	254262	1005	-	-	-
AFS-6	Üretim	4257628	254544	1006	-	-	-
AFS-7	Üretim	4258067	254678	1014	-	-	-
AFS-8	Üretim	4257360	254312	1010	-	-	-
AFS-10	Üretim	4257758	254395	1036	-	-	-
AFS-11	Üretim	4258473	255731	1025	2340	80	6.64
AFS-12	Üretim	4258911	257191	1016	-	-	-
AFS-13	Üretim	4258123	257428				

İnceleme alanında koruma alanı çalışmaları yürütülürken, jeotermal etkinliğin hakim olduğu düşünülen alan içerisinde yer alan soğuk su amaçlı açılan kuyular da tespit edilerek koordinatları ölçülmüştür. Bu kuyulardan üretim yapılabilecek durumda olan kuyular çalıştırılarak sıcaklık ölçümü alınmıştır. Soğuk su amaçlı açılan kuyuların önemli bir kısmının sıcaklığının 20 °C'in üzerinde olduğu bir kısmının ise sıcaklığının 60-70 °C'e kadar ulaştığı belirlenmiştir. Bu kuyulara ait kuyu loglarının elde edilmesi mümkün olmamakla birlikte yapılan sözlü görüşmelerde derinliklerinin 200-300 m'ye ulaştığı bilgisi edinilmiştir.

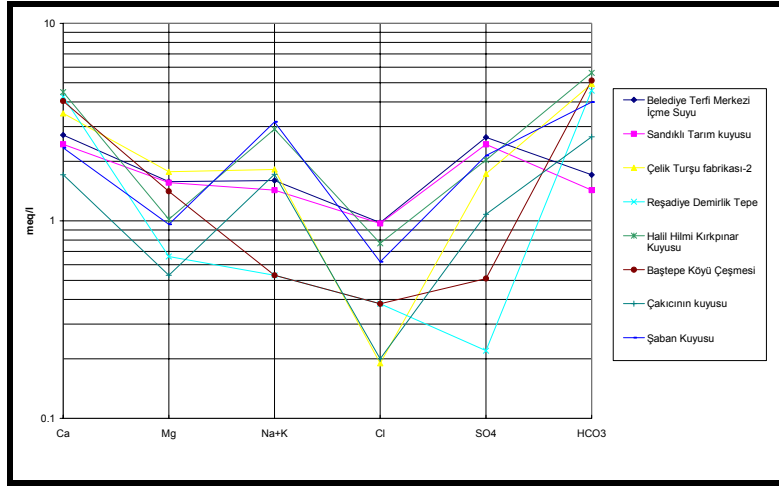
5. HİDROJEOKİMYA ÇALIŞMALARI

5.1. Suların Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Göre Birbirleri ile Karşılaştırılması

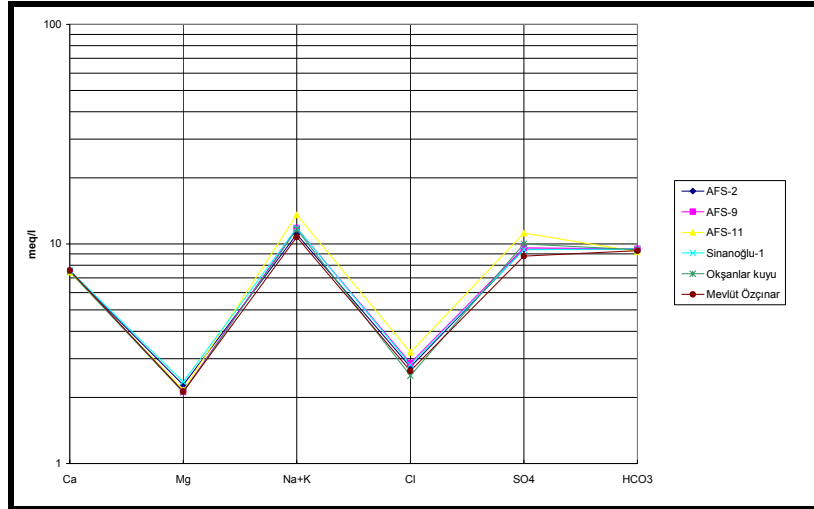
Sıcak su kaynaklarının litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sisteminde geçirdiği hidrokimyasal süreçler ve birbirleri ile olan kökensel ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla sıcak su örneklerinin analiz sonuçları yarı logaritmik Schoeller diyagramı ve Piper diyagramı kullanılarak açıklanmıştır (Şekil 2-3) İnceleme alanında yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler sonucunda soğuk suların hakim iyon diziliminin $\text{Ca} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$, sıcak ve mineralli suların genel olarak hakim iyon diziliminin $\text{Na} + \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ ve $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$ şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Schoeller diyagramından elde edilen sonuca göre, inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sular genel olarak Na-SO₄'lı sular sınıfına girmektedir. İnceleme alanında soğuk ve sıcak suların kimyasal özellikleri belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir, soğuk sular Ca-HCO₃'lı sular sınıfına girmektedir (Şekil 2-3).

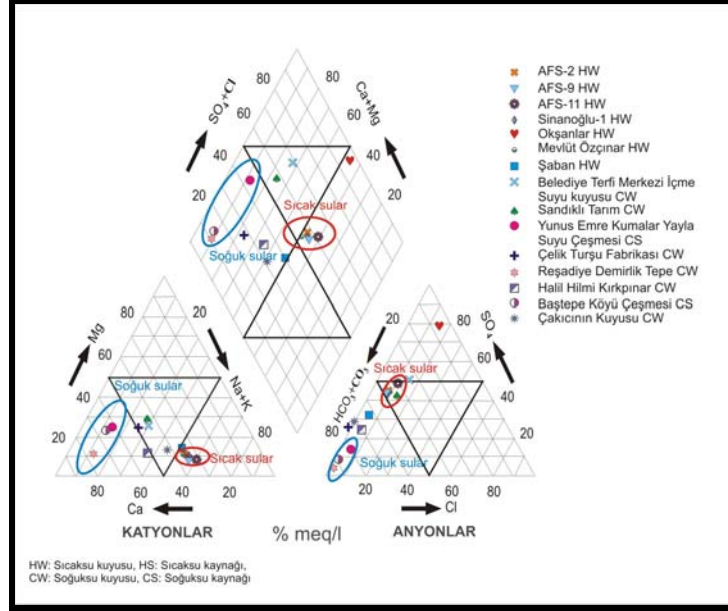
İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk sulara ait Piper diyagramı Şekil 4'te yer almaktadır. Sıcak suların bu diyagramda aynı bölgede yer almaları, aynı kökenli olduklarını, dolayısı ile aynı rezervuardan geldiklerini göstermektedir.



Şekil 2. İnceleme alanında yer alan soğuk sulara ait schoeller diyagramı



Şekil 3. İnceleme alanında yer alan sıcak sulara ait schoeller diyagramı



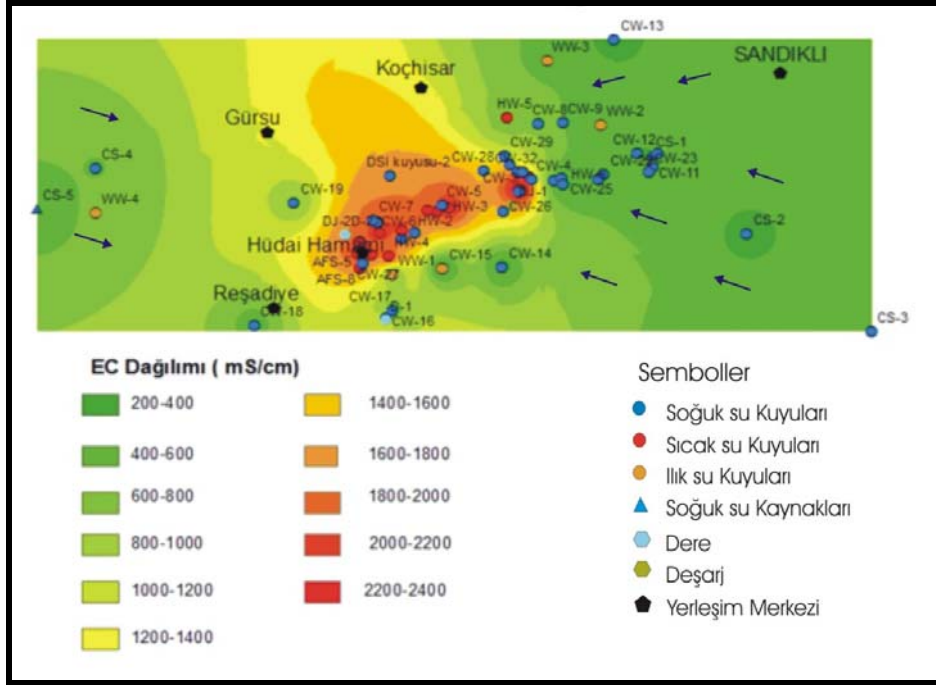
Şekil 4. İnceleme alanında yer alan soğuk ve sıcak suların piper diyagramında gösterimi

Sıcak suların kirlilik parametrelerinin analiz sonucuna göre, kirlilik yaratan NH_4 , NO_2 , B, PO_4 gibi organik kirlilik parametreleri ve Pb, Zn, Cu, Mn gibi ağır metal kirlilikleri görülmemiştir.

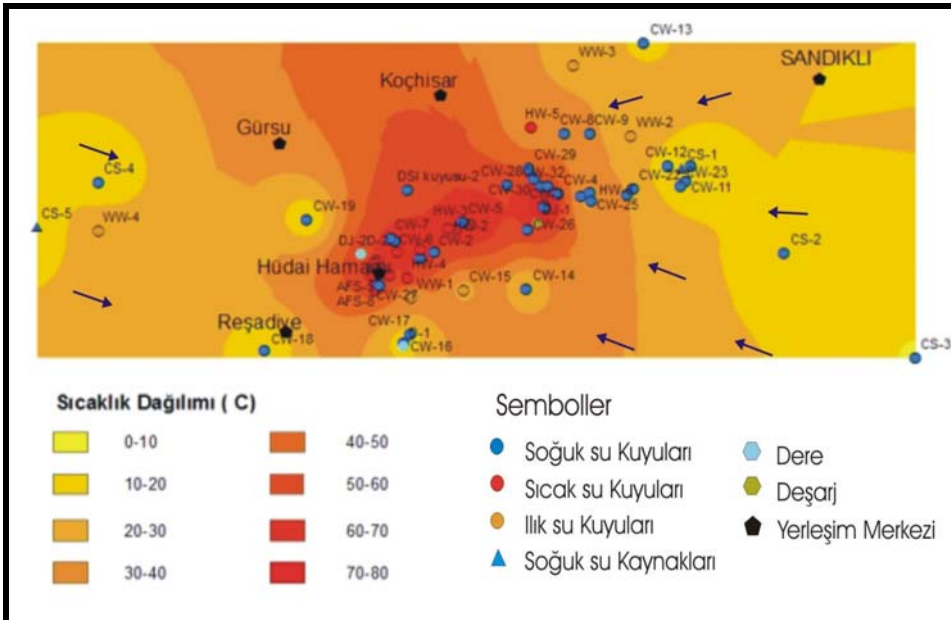
5.2. Suların EC ve Sıcaklık Dağılımı

Sandıklı jeotermal alanında yer alan kuyu ve kaynaklardan alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin analiz sonuçlarına göre, alanın doğu, batı ve güney kesiminden alana doğru bir soğuk su girişi söz konusudur. Dolayısı ile büyük ihtimalle beslenme bu bölgelerden olmaktadır (Şekil 5). Bu bölgelerde açılan kuyularda sıcak suya rastlanmamıştır. Sıcak su kuyularının etrafında görülen kırmızı ve turuncunun tonları ile gösterilen bölge sıcak suyun bulunduğu bölgedir. Bu bölgede EC 1600-2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.

Sandıklı jeotermal alanındaki kuyulardan elde edilen bilgilere göre oluşturulan sıcaklık dağılımı Şekil 6'da görülmektedir. Kırmızı renkle gösterilen sıcak su kuyularının etrafında en yüksek sıcaklıklı bölge görülmektedir. Turuncu renkle gösterilen ılık su kuyuları ise DSİ'den soğuk su ruhsatı olarak 200-300 m'lerden sıcak su alan kuyuları temsil etmektedir. Bu kuyulardan elde edilen suyun sıcaklığı 28-40°C arasında değişmektedir. EC dağılımını doğrular şekilde sıcaklık dağılımına göre de alanın doğu, güney ve batı kesiminden soğuk yeraltı suyu girişi olmaktadır. Turuncu ile gösterilen bölgede açılan kuyulardan ılık su elde edilmiştir. Bu durumda sıcak su-soğuk su karışımından da bahsedilebilir. Sahanın işletme koşulları değerlendirilirken, özellikle turuncu ile sınırlandırılan bölgede açılacak soğuk su kuyularında 200-300 m'nin altına inilmemesi, sıcak su-soğuk su akiferi arasındaki dengenin bozulmaması açısından önem taşımaktadır.



Şekil 5. Sandıklı jeotermal alanı EC dağılım haritası



Şekil 6. Sandıklı jeotermal alanı sıcaklık dağılım haritası

Jeotermometre çalışmaları sonucunda Sandıklı jeotermal alanında rezervuar sıcaklığının 100°C civarında olacağı belirlenmiştir.

6. KORUMA ALANLARI

Jeotermal alanların koruma alanlarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, belirli bir yöntem dahilinde gerçekleştirilmekle beraber, farklı özelliklere sahip alanlarda, alanın karakteristik özelliklerini yansıtacak farklı çalışma şekilleri gerektirebilmektedir. Ancak genel olarak koruma alanları çalışmalarında dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar her saha için ortak özelliktedir. Kaynakların korunması genel anlamda sıcaklık ve debilerinde azalma olmadan sürdürülebilirliğinin sağlanması, özellikle yüzeysel etkiler nedeniyle yeraltına sızan suların yaratacağı fiziksel ve kimyasal kirliliğin engellenmesi ve rezervuarın fiziksel, kimyasal, termal ve hidrojeolojik parametrelerinin değişmeden korunması çalışmalarını kapsamaktadır. Bu çalışmalar kapsamında özellikle alanda yer alan faylar ve kırık hatları yeraltına iletişimin en hızlı olduğu yapılar olması nedeniyle koruma alanı içinde titizlikle değerlendirilmesi gereken yapılardır. Sıcak su amaçlı açılan kuyularda stratigrafik olarak örtü kayacın varlığı, geçirimsizlik derecesi ve kalınlığı önemli özelliklerdir.

6.1. Birinci Derece Koruma Alanının ve Alınması Gereken Önlemler

- * Hüdai Kaplıcalarında gözlenen travertenlerin yer aldığı alan, olumsuz özellikte sahalar sınıfına girdiğinden I.derece koruma alanları içerisine alınmıştır.
- * Yapılan çalışmada açılmış bulunan sıcak su sondajlarında kirlilik parametrelerine rastlanmamıştır. Ancak yağışlı dönem sonunda gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde kirlilik parametrelerine rastlanmamış olması sıcak suların yüzeydeki kirletici kaynaklarından etkilenmeyeceği anlamına gelmemektedir. Bu nedenle sıcak su sondajları ve muhtemel sondaj alanları I. derece koruma alanı sınırı içerisine alınmıştır .
- * Sıcak ve mineralli su kaynaklarının ve sondajların bulunduğu alanda özellikle Hüdai Kaplıcalarının etrafında yer alan yapıların kirli suları iyi tecrit edilmiş borularla alan dışına çıkarılmalıdır .
- * Özellikle Hüdai Kaplıcalarının bulunduğu alanda Hamamçayı dere yatağı kirletici unsurlara karşı mümkünse betonlanmalı, istinat duvarı oluşturulmalıdır .
- * Hüdai Kaplıcalarının bulunduğu alanda yer alan travertenlerin ve açılma çatlaklarının üzerinde ve içerisinde hiçbir kirletici unsur yer almamalı ve atılmamalıdır.
- * Alanda yer alan yerleşim bölgeleri ve diğer işletmelerin atıkları, gübreleri çöpleri açıkta kalmamalı özellikle yağışlı mevsimlerde sızdırmaz platformlarda toplanmalıdır. İnceleme alanında yer alan tüm kuyuların etrafı çimentolanmalı, korunaklı bir hale getirmeli, üzerine kulübe veya benzeri bir yapı inşa edilerek çöp ve benzeri atıkların atılması önlenmelidir .
- * Alan içerisinde kirliliğe sebep olacak türde tarımsal faaliyetlere izin verilmemelidir. derece koruma alanı içerisinde suyun alınması, depolanması ve doğrudan termal suyun kullanıldığı sağlık ve termal tesislerin yapılmasına en fazla 2 katlı olmak, atıklarını kapalı borularla yeraltına sızdırması engellenecek şekilde uygun şartlar sağlanarak 3. derece koruma alanı dışına atılması koşuluyla izin verilebilir. Kesinlikle umuma ait tesisler (devre mülk, şahsa ait oturma amaçlı binalar vb.) yapılamaz, bu amaçla imar

planının buna göre düzenlenmesi gerekir. Alan her türlü kirlenmeye karşı kesin olarak korunmalıdır.

* Sandıklı jeotermal alanında muhtemel arama ve üretim sondaj yerleri belirlenmeli ve bu alanlar boş bırakılmalıdır. Ayrıca sondajlarda yapılacak testler sonucunda etki yarı çapı belirlenerek sondaj lokasyon yerleri bu test sonuçlarına göre planlanmalıdır.

* Afyon Sandıklı jeotermal alanında DSİ tarafından soğuk su açma amaçlı izin verilen ancak sıcak su elde edilen ve izinsiz açılıp kullanılan sıcak su sondajları İl Özel İdaresi tarafından kapatılmalıdır.

6.2 İkinci Derece Koruma Alanı ve Alınması Gereken Önlemler

* II. derece koruma alanı sınırı; sahanın jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik özelliklerinin yanı sıra açılmış bulunan sıcak su sondajlarının birbirleriyle olan bağlantıları, etkileşim durumları göz önüne alınarak tespit edilmiştir .

* İkinci derece koruma alanı sınırı içinde soğuk su sondajı olarak açılan ve sıcak su sondajına dönüştürülen ve kaçak olarak kullanılan kuyular kapatılmalıdır. DSİ tarafından bölgede açılacak soğuk su sondajlarının derinlikleri 200-300 m'yi geçmemelidir.

* Özellikle II. derece koruma alanı sınırı içinde yer alan bölgede fay ve çatlak sistemlerinin geçtiği kesimlerle, Hamamçayı deresi içinde ve civarında kirletici unsurlar bulunmamalı, çöp, moloz v.s yığıntılarının olmaması gerekmektedir.

* Kirli sular iyi tecrit edilmiş borularla alan dışına sevk edilmelidir. Bu kapsamda alan içinde yer alan yapılar ile bundan sonra yapılacak inşaatların kanalizasyon ve kirli su iletim boruları yer altına sızıntı olmayacak şekilde düzenlenmelidir.

* Kirlenmeye sebep olabilecek malzeme depolanmasına (çöplük, gübre yığını, mezarlık v.b.) izin verilmemeli, mevcut alanlar bu alandan kaldırılıp yerleri temizlenmelidir. Gübre kullanımı önlenmeli atıklar çöp toplama merkezinde toplanarak, çürümeye meydan verilmeden alan dışına çıkarılmalıdır.

* Alan içinde yapılacak olan tesis ve diğer yapı projelerinde yakıt depolanması ile ilgili (akaryakıt istasyonu v.b.) atıkların alan içinde sızdırmazlığı sağlanmalı alanda biriktirilmemelidir.

* Alan içerisinde özellikle sıcak sulara çıkış yolu sağlayan aktif kırık ve fay hatları üzerinde yapılaşma yapılmamalıdır.

* Alandaki su birikintileri ve kirli sular iyi tecrit edilmiş kapalı borularla alan dışına sevk edilmelidir.

* Alan içerisinde kum ocağı, taş ocağı, yarma, kanal v.b. kazılara izin verilmemelidir. Dinamit kullanılarak yapılacak her türlü hafriyat çalışmasına izin verilmemelidir.

6.3. Üçüncü Derece Koruma Alanı ve Alınması Gereken Önlemler

* II. derece koruma alanı sınırı dışında kalan ve drenaj alanını kapsayan bölge III. derece koruma alanıdır. Bu alanda koruma tedbirleri II. derece koruma alanı sınırlarından itibaren tedrici olarak azaltıp kaldırılabilir.

* Alan içerisinde çöp biriktirilmesine, gübre yığınlarına, kirletici unsurlara izin verilmemelidir.

* III. Derece Koruma Alanı içinde yer alan tesisler ve yapıların atıkları sızdırmaz borularla alan dışına çıkarılmalı, arıtma tesisleri kesinlikle oluşturulmalıdır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Afyon-Sandıklı jeotermal alanında 1994 yılından günümüze kadar 12 tane sıcak su kuyusu açılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri 49m-520m arasında değişmektedir. Bunların dışında soğuk su amaçlı açılan pek çok kuyuda da sıcak su elde edilmiştir.

İnceleme alanında yer alan suların sıcaklığı 66.8°C-80°C, EC'si 2050-2340 µS/cm ve pH'ı, 6.25-6.91 arasında değişmektedir. İnceleme alanında yapılan hidrokimyasal değerlendirmeler sonucunda soğuk suların hakim iyon diziliminin Ca>Na>K>Mg ve HCO₃>SO₄>Cl, sıcak ve mineralli suların genel olarak hakim iyon diziliminin Na>K>Ca>Mg ve SO₄>HCO₃>Cl şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Sıcak suların kirlilik parametrelerinin analiz sonucuna göre; kirlilik yaratan NH₄, NO₂, B, PO₄ gibi organik kirlilik parametreleri ve Pb, Zn, Cu, Mn gibi ağır metal kirlilikleri görülmüştür.

Sandıklı jeotermal alanında yer alan kuyu ve kaynaklardan alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin analiz sonuçlarına göre, alanın doğu, batı ve güney kesiminden alana doğru bir soğuk su girişi söz konusudur. Bölgede yer alan sıcak suların EC'leri (elektriksel kondüktivite) 1600-2400 ms/cm arasında değişmektedir. Jeotermometre tekniklerinin değerlendirilmesi sonucunda Sandıklı jeotermal alanında rezervuar sıcaklığının 100°C civarında olacağı belirlenmiştir.

İnceleme alanında DSİ'den soğuk su ruhsatı alınarak açılan 200-300m derinlikteki kuyulardan 28°C-40°C arasında sıcak sular elde edildiği belirlenmiştir.

Yapılan koruma alanları çalışmasında; zon sınırları belirlenirken dünyada son zamanlarda ön plana çıkan kaynakların kaptajlarının geliştirilmesi, yenilenmesiyle birlikte potansiyel alanın belirlenerek koruma altına alınması hedeflenmiştir. 11.12.2007 tarih ve 26727 sayılı resmi gazete de yayımlanan Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde kaynak rezervuarının korunması ile ilgili hükümlere yer verilmiş ve bu yönetmelik Ek-8'de ise kaynak koruma alanını zonlara ayırma ve bu zonlarda alınması gereken tedbirler belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında söz konusu kanun ve uygulama yönetmeliği hükümlerine uygun olarak koruma alanı zon sınırları belirlenmiş ve bu zon sınırları içerisinde alınması gereken tedbirler belirtilmiştir.

Hüdayi kaplıcalarında gözlenen travertenlerin yer aldığı alan, olumsuz özellikteki sahalar sınıfına girdiğinden I. derece koruma alanları içerisine alınmıştır. Yapılan çalışmada açılmış bulunan sıcak su sondajlarında kirlilik parametrelerine rastlanmamıştır. Ancak yağışlı dönem sonunda gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde kirlilik parametrelerine rastlanmamış olması sıcak suların yüzeydeki kirletici kaynaklarından etkilenmeyeceği anlamına gelmemektedir. Bu nedenle sıcak su sondajları ve muhtemel sondaj alanları I. derece koruma alanı sınırı içerisinde alınmıştır. II. Derece koruma alanı sınırı; mevcut verilere göre saptanmış muhtemel jeotermal potansiyel alanı olarak belirlenmiştir. Drenaj alanı sınırı III. derece koruma alanı sınırı olarak belirlenmiştir.

Tüm doğal enerji kaynaklarında olduğu gibi jeotermal sistemlerde de sürdürülebilirlik kavramı büyük bir önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında, jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması bu kaynakların korunmasına bağlıdır. Bu durumda hem jeotermal kaynağın dolayısıyla da jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın bir takım çevresel etkenlerle kirlenmesinin önlenmesi, hem de rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarında meydana gelebilecek olumsuz değişimlerin önüne geçilmesine yönelik tedbirler alınması büyük önem taşımaktadır. Bu durum göz önüne alınarak, jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın kirletici unsurlardan korunması amacıyla, Kaplıca amaçlı kullanılan sıcak sulara, 24.07.2001 tarih ve 24472 sayılı resmi gazetede yayımlanan Kaplıca Yönetmeliği ile düzenlenen esaslara göre gerekli analizler yaptırılmalıdır. Isıtma uygulaması yapılan jeotermal kaynaklarda ise rezervuardaki sıcaklık ve basınç koşullarında meydana gelebilecek değişimlerin gözlenmesi amacıyla, üç aylık periyotta basınç, sıcaklık, girişim, basınç yükselimi ve basınç düşüm testleri yapılmalıdır. Gözlem kuyularına otomatik limnigraf yerleştirilerek sürekli seviye ölçümleri alınmalıdır. Ayrıca gözlem kuyularına sürekli ölçüm yapabilecek basınç ölçer yerleştirilerek kuyu içi basınç ölçümleri yapılmalıdır. Bu ölçüm ve test sonuçları değerlendirilerek rezervuarın değişik üretim koşullarındaki davranışı belirlenmeli ve jeotermal kaynağın sürekli izlenmesi sağlanmalıdır.

Reenjeksiyon kuyularında en az 3 aylık periyotlarda, üretim kuyularında ise 6 ayda bir alınacak su örneklerinde kimyasal analizler yapılarak, kabuklaşma ve korozyon problemleri ile rezervuardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açacak parametreler takip edilmelidir.

8. KAYNAKLAR

- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları. MTA Rap., Nob.5520, Ankara.
- Tamgaç, Ö. F., Akan, B., Ünal, H. Ve Peker, B., 2008. Sandıklı (Afyon) Jeotermal Alanının Koruma Alanları Etüt Raporu, Yayınlanmamış.

ESKİ ÇAĞLARDA AFYONKARAHİSAR YÖRESİNDEKİ DOĞAL SICAK SU KAYNAKLARI

DİRER ÖZSAYIN, A¹. ve DİRER F.N.

¹ Namık Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Eski Çağ Tarihi Bölümü,
Tekirdağ.

ÖZET

Doğal sıcak su kaynaklarının kullanımı tarih öncesi döneme kadar dayanır. Anadolu, Mısır ve Mezopotamya da varlık gösteren pek çok uygarlık sıcak su kaynaklarını kullanmıştır.

Günümüzde olduğu gibi antik çağlarda da su hayati önem taşımaktaydı. Yerleşim alanları seçilirken mevcut su kaynaklarının yakın olması seçim nedeniydi. Sıcak su kaynakları da öncelikli günlük kullanım da temizlik amaçlı tercih edilmişse de zaman içinde tedavi edici özellikleri keşfedilmiştir.

Doğal sıcak su kaynaklarının şifa verici niteliğinden ilk bahseden M.Ö. 5.yy'da yaşayan tarihçi Herodotos'tur. M.Ö 460-375 yıllarında yaşamış olan Hippocrates'ta sıcak su kaynaklarının sağlık amaçlı ve tedavi edici özelliklerinden de bahsetmiştir. Hippocrates'ten başka tıp bilimi ile uğraşan pek çok kişide doğal sıcak su kaynaklarının tedavi edici özelliklerine dikkat çekmişlerdir.

Bugünkü Afyon civarında bulunan ve tedavi edici özelliklere sahip sıcak su kaynaklarından dolayı bu bölgeye 'Şifalı Frigya' ya da Frigya Salutanis' adı verilmiştir. Antik dönem de Şifalı Frigya olarak tanımlanan bu bölgede ki en önemli sıcak su kaynakları Aqua Germ (Ömer-Gecek), Gazlı Göl, Agros Thermon (Hüdaı Kaplıcaları) dır.

Anahtar kelimeler: Afyon, eski çağlar, sıcak su.

1. ESKİ ÇAĞLARDA TERMAL SULARIN KULLANIMI

Termal sulardan eski çağlardan beri yararlanıldığı bilinmektedir. İlk çağlarda suların kutsallık taşıdığı, insanlara sağlık, esenlik başışlayan gizli güçlerin suları ısıttığı düşünülürdü. Koruyucu güçlerin yönetiminde olduğu sanılan termal sulara karşı ise özel bir saygı gösterilirdi. Bu sebeple termal suların bulunduğu alanlar korunur, yılın belli zamanlarında buralara törenler, şölenler düzenlenirdi.

Termal sular ile ilgili ilk eserde M.Ö 5.yüzyılda yaşayan Hippokrates tarafından yazılmıştı. Eski Yunan ve Roma dönemlerinde de termal suların önemini koruduğu,gizli güçleri olduğu inancının devam ettiği görülür. Günümüzde hala tedavi amacı ile kullanılan kaplıcaların bir çoğu Roma döneminde inşa edilen kaplıcalardır. Bu tür kaplıcalara yurdumuzun dört bir yanında rastlamak mümkündür.

İzmir, Afyon, Bursa,Uşak, Ankara, Balıkesir, Denizli, Çanakkale, Ordu gibi pek çok ilimizde halen kullanılmakta olan kaplıcaların temelleri günümüzden 2000-2500 yıl öncesine kadar dayanmaktadır.

Roma lejyonlarının savaş öncesi güçlenmek için kaplıcaya gitmeleri,savaş sonrasında yaralarını bu kaplıcalarda tedavi etmeleri bunun önemli bir kanıtıdır.Ortaçağ'da kısa bir süre gözden düşen termal sular 17. yüzyıldan itibaren Avrupa'da giderek yaygınlaşmış, sağlıklı yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Akla gelebilecek her türlü hastalığın termal sularla tedavi edilebileceğine inanılmaktadır. İçerdikleri minerallere göre sular sınıflandırılmış, hangi hastalıklarda, hangi bölgedeki sulara gidileceğinin listesi yapılmıştır.18. yüzyılda,suların tedavi edici incelemesi yapan Theophile de Bordeu (1722-1776),tıbbi hidrolojinin temelini atmıştır.Türkler,Anadolu'ya geçtikten sonra ,kısa zamanda buradaki kaplıca ve içmece sularının imarı ve kullanımına büyük önem vermiştir.

Su, günümüzde olduğu gibi antik dönemlerde de büyük yaşamsal önem taşımaktaydı. Yerleşim alanları seçilirken bu özelliği taşıyan yerler öncelikli olarak tercih edilirdi. Suyu günlük hayatın her bölümüne aktarabilmek için geliştirilen özel su kanalları, sulama sistemleri ile ilgili kalıntılar günümüze kadar ulaşmıştır.

Başlangıçta sadece temizleme aracı olarak kullanılan doğal sıcak su kaynakları,tedavi edici ve iyileştirici özelliklerinin de keşfedilmesiyle, antik dönemlerden günümüze kadar kaplıcalar olarak da kullanılmıştır.. Bu yönü öyle itibar görmüştür ki günümüzden yaklaşık 2000-2500 yıl öncesinden itibaren kalan mimari kalıntılar,İspanya'dan Suriye'ye,İngiltere'den Kuzey Afrika'ya kadar Anadolu dahil çok geniş bir coğrafi alan üzerine yayılmıştır.

Şifa verici olarak kullanılan bu kaynaklara ilk dikkati çekenlerden biri de tarihçi Herodotos'tur. M.Ö 5.yy'da yaşayan ünlü tarihçi, kaplıca terapilerinden bahseder ve bir doktor gibi kesin talimatlar vererek yılın belirli dönemlerinde 21 günlük kaplıca terapisi önermiştir.

O dönemlerde hastalıkların kaynakları ve tedavileri tanrılarla ilişkilendiriliyordu. Bu İlk dönemlerde sıcak sular, öncelikle temizlik ve hijyenik amaçlarla nedenle ilaç ve tedavilerde tanrılar önemli roller oynamaktaydı. Örneğin Roma'da başlıca iyileştirici tanrı olan Apollon, salgınları gönderebilir yada önleyebilirdi. Asklepios'da mitolojide sağlık tanrısı olarak betimlenir. En ünlüleri Yunanistan'da Epidauros ve ülkemizde ise Pergamon ve Kos'ta bulunan bu tanrının tapınakları çevresinde asklepiyon denilen kutsal hastaneler ve sağlık evleri kurulmuştur.

2. TÜRKİYE'DE ANTİK DÖNEM KAPLICALARI

Ülkemiz, genç tektonik hareketlerin etkisi ile fayların, volkanik alanların, aktif deprem kuşaklarının bulunduğu bir hat üzerindedir. Bu nedenlere bağlı olarak doğal sıcak su kaynakları bakımından oldukça zengindir. Sıcak su kaynaklarının sayısı 1500'ün üzerindedir. Bu zenginlik, ilk çağlardan beri Anadolu'da yaşayan kültürlerin dikkatini çekmiş ve hemen her dönem, sıcak su kaynaklarından faydalanılmıştır. Antik dönemlerde yaygın olan kaplıcalara ait komplekslerin kalıntıları günümüze kadar ulaşmıştır. Hatta 2000 yıl önce kullanılan sıcak su kaynakları, günümüzde bile hala kullanılmaya devam etmektedir.

2.1. Afyon'daki Kaplıcalar

Antik kaynaklarda "Agua Germ" olarak geçen Ömer-Gecek, Sandıklı, Gazlı Göl ve Antik dönemde "Agros Thermon" olarak bilinen Hüdai Kaplıcalarıdır.

2.1.1. Gazlıgöl kaplıcaları

Tarihçesi: Efsaneye göre, Kral Midas her şeye sahip olmasına rağmen hiç çocuğu olmayan bir kralmış. Kral bu duruma çok üzülduğünden gece gündüz Tanrı'ya yakarıp yalvarmış bir çocuğu olması için. Nihayet Kral Midas'ın dünyalar güzeli bir kızı olmuş. Kral'ın kızı Suna; genç kızlığa adım attığı yıllarda illet bir hastalığa yakalanmış. Bu güzel kızın vücudunda çıbanlar çıkmış. Bu sulu çıbanları hiçbir hekim iyileştirememiş. Ağrısına ve sızısına ve bir türlü iyileşmeyen bu yaraların üzüntüsüne dayanamayan güzel kız suna; yollara düşmüş. Dağ tepe demeden gezip dolaşır olmuş. Kral Midas ,kızını kollamaları için peşinden gözcü yollamış. Kralın toprakları içindeki Afyon yakınlarına kadar gelmiş güzel kız. Tam yaz aylarında olduğu için çok susamış. Biraz su içebilmek için su aramış Şu an Gazlıgöl kaplıcasının bulunduğu yerlerde yeşilliklerle çevrili bir su görmüş. Susuzluktan kavrulan kızcağız, çevresindeki bataklığa aldırmadan koşmuş suya. Eğilerek o sudan kana kana içmiş. Birde bakmış, suyun değdiği yerlerde bir tatlı gıcıkama ,bir sancı kesilme, bir huzur oluşmuş. Güzel kız atmış kendini suyun içine . Ağrıları yavaşlamış. Sudan çıkıp günlerdir uykusuz ve yorgun olduğundan uzanır vermiş oraya ve derin bir uykuya dalmış. Suna, uyandığında ağrılarının kalmadığını , çıbanların kurumaya başladığını görmüş. O suyun yanında bir hafta kalmış . Bir hafta sonra çıbanları, yaraları tamamen geçmiş. Suların aksinde eski güzelliğine kavuştuğunu gören güzel Suna, sevincinden deliye dönmüş. İleriden onu gözleyen gözcüler, kızın iyileştiğini anlayınca yanına gelmişler. Suna başına gelenleri bir bir anlatmış sonra saraya dönmüşler . Kızını merak edip gece gündüz yas tutan Kral Midas, kızının bu iyileşmiş halini görünce çok sevinmiş. Kızına " Seni hangi hekim iyileştirdi , söyle hekim başı yapayım?" demiş. Sunada " Beni hekim değil, ülkende çıkan su iyileştirdi, baba" diye cevap vermiş. Bunun üzerine Kral, " Tez oraya bir hamam yapılınsın, gelen geçen dertliye derman dağıtır." diye ferman vermiş, Bu kaplıcanın Frigyalılar zamanından beri kullanıldığı sanılmaktadır. Fatih Sultan Mehmet, Karamanoğulları seferine çıkarken yol üzerinde Gazlıgöl'e uğramış ve burayı imar etmiştir.

2.1.2. Ömer kaplıcası

Yeri ve Ulaşım: Afyon-Kütahya karayolu üzerinde bulunan Ömer Kaplıcası,Gecek Kaplıcasının yanında ve İl merkezine 15 km uzaklıktadır. Ulaşım ,merkezden kalkan servisler aracılığı ile yapılmaktadır.

Tarihçesi: Eskiden beri kullanılan kaplıcanın tarihi hakkında bir bilgi bulunmamakla beraber, kaplıcanın büyük havuzunu yaptıran kişiye ait kitabe 1889 tarihi bulunmaktadır.

Yapılan Arkeolojik çalışmaların sonucu,termal suların yaklaşık 10 bin yıldan fazla süredir bir çok topluluk tarafından termal tedavi ve terapiler için kullanıldığı anlaşılmıştır.Ahya da bronz çağından bu yana termal sular Mısırlılar,Persler,Romalılar ve Türkler tarafından birçok tedavide kullanılmıştır.

Evliya Çelebi'nin anlatımına göre (9.Cilt) kaplıcamızın bulunduğu yerde Ömer Bey Köyü vardır. Evliya Çelebi bu köyde misafir olmuş ve Ömer Kaplıcası 'nın suyunu methetmiştir.

Burada oluşan kaplıca suyu çamurundan Afyon Sancak Beyi romatizmalarına şifa bulduğu için buraya büyük bir havuz yaptırmıştır. Büyük havuzu ise Tütüncüde Hacı Hasan adında bir zat yaptırmıştır.

Kitabenin yanında şu anda tatil köyüne ismini veren Ömer Dede türbesi mevcuttur. Yazar Fikri Yazıcıoğlu'nun "Afyon Evliyalari" kitabında anlattığına göre yaklaşık 400 yıl önce bu beldede çobanlık yapan Ömer Dede yeri kazarak halen mevcut olan kaynağını bulmuştur.Kaplıca Ömer Dede'nin ismiyle ün yapmış ve bu ismi "Ömer Kaplıcası"olarak halen sürdürmektedir.

İstiklal Savaşı öncesi yörenin işgali sırasında kaplıcanın ahşap kısımları işgal askerleri tarafından yakılmıştır. Şu anda restorasyonu tamamlamak üzere olan tarihi hamam binası tüm bu izleri taşımaktadır. Orjinaline uygun ama günün rahatlığıyla döşenecek olan bu tarihi bina kaplıca tarihini yaşatacaktır.

2.1.3. Sandıklı hüdei kaplıcaları

Frig'lerden bu yana şifa dağıtan kaplıca,Sandıklı'ya sekiz kilometredir. Dünyaca ünlenmiş çamur banyolarında Toprak 68° şifalı su ile karıştırıldığında 40°-45° bir çamur ortaya çıkar. Bu toprak kaplıca yakınlarından sağlanan çok az kumlu kırmızı bir kildir.

İlk Hristiyanlık devrinde Hieropolis (Koçhisar),Başpiskoposu Sen Mişel hastaları kaplıcada tedavi ederek mucize göstermiş,bundan dolayı Hiepolis mukaddes şehir sayılmıştır.

Sir W.M Ramsey 1881'de yazdığı " Küçük Asya'nın Tarihi ve Coğrafyası" isimli kitabında, Frigya arazisi içinde bulunduğunu söylediği Sandıklı için Pentapolis ismini kullanmakta ve bu alanda Otrans (Çarhisar),Brouzos (Karasandıklı), Stektorion(mirhisar), Hieropolis (Koçhisar) ve Eukarjis adında beş kasabanın bulunduğu

belirtmektedir. Hatta İsa'nın on iki havarisinden biri olan Paulus'un bu yörede piskoposluk yapmış olduğunu da sözlerine eklemektedir.

Yahudiliğin tarihçesini anlatan Talmud'un 315. sayfasında Frikler devrinde bu yörenin şarap ve hamamlarının meşhur olduğu bildirilmektedir. Bundan anlaşılan sandıklının şifalı sularının tarihin en eski devirlerinden beri dertlere deva olup geldiğidir. Frigler döneminde ve daha sonraları da kaplıcalardan dolayı Frigya Salutaris(Şifalı Frigya) denilmiştir. Latince, dertlerden kurtulma anlamına gelen "Salut" sözcüğü yerine,bugün "Allah korusun" "Şifa versin" anlamına gelen HÜDAİ kullanılmaktadır. Halen eski dönemlere ait havuzlar misafirlerimizin ilgi odakları olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Blanck,H., 1999. Eski Yunan ve Roma'da yaşam. Arion Yayınevi, İstanbul.
Çakalgöz, S., Antik dönemlerde sıcak su kaynaklarının kullanımı
Er,Y., 2004. Klasik Arkeoloji sözlüğü, Phoenix Yayınevi., Ankara.
Karagülle Z.,2000. Yaşlılıkta balneoterapi ve kaplıca tedavisi. Geriatri 3(3) :119-124.
Mergen H., Mergen B.E.,Erdoğan A.B., 2006. Jeotermal Enerji ve Balneoterapi uygulamaları FTR Bil Der.J PMR SCI: 9(3) 108-113.
Saltuk S., 1989. Arkeoloji Sözlüğü.İnkilap Kitapevi, İstanbul.

Bölüm 4

KAPLICA VE SAĞLIK TURİZMİ

AFYONKARAHİSAR'DA TERMAL TURİZM POTANSİYELİ VE GELECEĞİNE İLİŞKİN BEKLENTİLER

THERMAL TOURISM POTENTIAL AND FUTURE PROSPECTS OF AFYONKARAHİSAR

EMİR, O.¹, SOYBALI, H. H.² ve BAYTOK, A.³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksek Okulu
oemir@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksek Okulu
hsoyballi@aku.edu.tr

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksek Okulu
ahmetbaytok@aku.edu.tr

ÖZET

Afyonkarahisar, Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin kesişme noktasında yer alan coğrafi yapısı ve konumunun stratejik önemi nedeniyle önemli turizm potansiyeli bulunan bir ilimizdir. İlde termal turizm başta olmak üzere kültür, eko-turizm ve alışveriş turizmine yönelik önemli arz kaynakları bulunmaktadır. Termal turizm Afyonkarahisar'ın temel turizm ürününü oluşturmaktadır. Afyonkarahisar il merkezinde "Ömer-Gecek", İhsaniye ilçesinde "Gazlıgöl", Sandıklı ilçesinde "Hüdai" ve Bolvadin ilçesinde "Heybeli" olmak üzere dört bölgesindeki zengin termal su kaynakları ile ülkemizin önemli termal turizm merkezlerinden birisidir. Bu araştırmanın amacı ülkemizin önemli termal turizm merkezlerinden birisi olan Afyonkarahisar ilinin termal turizm arz ve talebi açısından mevcut durumunu ortaya koymak, potansiyelini incelemek ve geleceğe ilişkin çözüm önerilerinde bulunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar, Termal Turizm, Ürün Çeşitlendirmesi

ABSTRACT

Afyonkarahisar located at the crossroads of Mediterranean, Aegean and Central Anatolia regions holds an important tourism potential because of its geographical structure and importance of its strategic location. There have been significant resources in the province for thermal tourism in particular, cultural, tourism, eco-tourism and shopping tourism. Thermal tourism forms the main tourism product of Afyonkarahisar. Afyonkarahisar is one of the important thermal centers in Turkey with its rich thermal spring resources in its four regions; "Omer-Gecek" in city center, "Gazligol" in Ihsaniye district, "Hudai" in

Sandıklı district and “Heybeli” in Bolvadin district. The aim of this study, as an important thermal tourism center in Turkey, to put Afyonkarahisar’s current thermal tourism supply and demand structure into perspective, examine the future prospects thoroughly and propose possible solutions related to future developments.

Key Words: Afyonkarahisar, Thermal Tourism, Product Diversification

1. GİRİŞ

Turizm; hizmet üreten ve bu üretimi çoğunlukla çok fazla maliyet gerektirmeyen doğal ve kültürel kaynakların kullanımı yoluyla gerçekleştiren, sektörel özelliği nedeniyle emek yoğun ve dolayısıyla istihdama büyük katkı sağlayan, nihai tüketici bir sektör ve rekabet avantajına sahip olması nedeniyle ekonomik getirisi yüksek, ülke içinde yapılan bir dış satım olması nedeniyle gelişmekte olan ve dış ticareti ithalat lehine kalan veren ülkeler için bu olumsuzluğu azaltan bir sektördür. Türkiye turizm potansiyeli zengin bir ülke olarak sektörün yukarıda sayılan özelliklerinden yararlanmak amacıyla 1980 sonrası dönemde turizme büyük önem vermiş ve bu amaçlı fiziksel üst yapısında ve yasal mevzuatında önemli gelişmeler gerçekleştirmiştir. Ancak dünyada yaşanan global değişimler, tüketici olarak turistlerin beklentilerinin değişmesi ve turizmin sektörel yapısına bağlı olarak zamanda ve mekanda yoğunlaşması gibi yapısal sorunlar sektörün ülke ekonomisine sağladığı katkıların artarak devam etmesinin sağlanması için yeni ürünlerin turizm piyasasına sunularak ürün çeşitliliği oluşturulmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle zamanda ve mekanda yoğunlaşmanın ortaya çıkardığı Taşıma Kapasitesinin Yetersiz Kalması, Turistik Üründe Bozulma, Sezon Dışı Oluşan Atıl Kapasite, Verimliliğin Azalması, Mevsimlik İstihdam, Talebin İsteklerinin Karşılanamaması, Rekabet Olanaklarının Sınırlanması, Ekonomik Kayıplar, gibi sorunlar ürün çeşitlendirmesine gidilmesinin temel nedenlerini oluşturmaktadır. Bu sorunlar ürün çeşitlendirme stratejisi kapsamında geliştirilecek ürün veya ürünlerin hangi özellikler taşımalarının da belirleyicisi olmaktadır. Bu kapsamda geliştirilecek yeni turizm ürünlerinin; Talepteki Değişmeye Cevap Verebilecek Nitelikte Olması, İstihdam Artışı Sağlaması, Yeni Bölgelerin Turizme Kazandırılması, Yüksek Potansiyele ve Rekabet Gücüne Sahip Olması ve Turizmde Yaşanan Yapısal Sorunlara (zamanda ve mekanda yoğunlaşma) çözüm getirecek özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Türkiye’nin turistik ürün çeşitlendirme stratejisi kapsamında geliştirebileceği alternatif turizm çeşitleri arasında sağlık amaçlı olma, tüm yıl yapılabilme, diğer turizm türleri ile entegre olabilme, farklı bölgelere yayılmış olma, konaklama süresinin uzun olması ve termal turizm tesislerinin ortalama doluluk oranı yüksekliği gibi özellikleri ile termal turizm ilk sıralarda yer almaktadır. Ayrıca Türkiye’nin sahip olduğu 1500 dolayındaki termal doğal kaynak ile dünyanın bu alanda önde gelen ülkelerinden birisi olması ve Avrupa’nın toplamından fazla kaynağa sahip olması rekabet yapısı açısından termal turizmi öncelikli alternatiflerden birisi yapmaktadır.

Mineralize termal suların ve bunlara ait çamurların, uzman hekim programı ve denetimi ile termal su banyosu, içmece, çamur banyosu gibi çeşitli türdeki yöntemler ve iklim kürü, fizik tedavi rehabilitasyon, egzersiz, psikoterapi, diyet gibi destek tedavilerle birleştirilecek şekilde yapılan kür uygulamaları için yapılan turizm hareketi olarak ifade

edilen termal turizm (Özbek, :16) sağlık turizminin bir alt dalıdır. Yer altından çıkan ve mineral ve eriyik madde açısından zengin belli sıcaklığa sahip jeotermal suların sağlık ve dinlenme amaçlı kullanımını ifade eden termal turizm son yıllarda devletin gerçekleştirdiği yasal düzenlemeler ve teşvikler ile özel sektörün girişimlerinin artmasına bağlı olarak ülkemizde hızlı bir gelişme göstermektedir.

Afyonkarahisar coğrafi yapısının özelliği ile ülkemizde zengin termal kaynaklara sahip illerden birisidir. İlde il merkezinde “Ömer-Gecek”, Sandıklı İlçesinde “Hüdaî”, Bolvadin İlçesinde “Heybeli” ve İhsaniye ilçesinde “Gazlıgöl” olmak üzere dört termal bölge bulunmaktadır. Afyonkarahisar termal su kaynakları açısından zengin potansiyeli olan bir il olmakla birlikte bu kaynakları turizm amaçlı değerlendirme yönünden yeterli düzeyde değildir. İlde termal turizme yönelik sürdürülebilirliği sağlayacak alt-yapı, nitelikli konaklama işletmeleri ve rekreasyonel alanların oluşturulması yönünden önemli sorunlar bulunmaktadır. İlin sadece Ömer-Gecek Bölgesinde nitelikli termal turizm konaklama işletmeleri bulunmakta, diğer termal turizm bölgelerinden Sandıklı Hüdaî Bölgesinde nitelikli işletmeler kurulması yönünde çalışmalar yapılmakta, İhsaniye ilçesindeki “Gazlıgöl” ve Bolvadin ilçesindeki “Heybeli” bölgelerinde ise işletmelerin büyük çoğunluğu belediye belgeli ve niteliksiz işletmeler ile devre-mülk şeklinde yapılmış ikinci konutlardan oluşmaktadır. Afyonkarahisar’ın Kültür ve Turizm Bakanlığı’nın Türkiye Turizm Stratejisi 2023, Eylem Planı 2007-2013’de ürün çeşitlendirmesi kapsamında geliştirilmesi öncelikli ürün çeşitlerinden birisi olarak belirlenen termal turizm kapsamında geliştirilecek dört öncelikli termal bölge arasında Kütahya, Uşak, Ankara ve Eskişehir ile birlikte Frigya Bölgesi içinde yer alması (Kültür ve Turizm Bakanlığı; 2007) ve aynı zamanda 5084 sayılı Kanun kapsamında devletin sağladığı teşviklerden yararlanan illerden birisi olması ilin termal turizm alanında yaşadığı sorunların çözümünde önemli bir gelişme olarak görülmektedir. Ayrıca doğal termal suyun kullanımına yönelik koordinasyonu sağlama amaçlı ATTİD’in kurulması geleceğe yönelik planların yapılmasında önemli bir diğer gelişmedir.

Bu çalışmanın amacı Afyonkarahisar’ın termal turizm açısından mevcut durumunu ve potansiyelini ortaya koymak, yasal, sektörel ve diğer konularda yaşanan ve olası gerçekleşmesi beklenen gelişmeler ışığında ilde termal turizmin sürdürülebilirlik ilkelerine göre gelişmesi için yapılması gerekenleri irdelemek ve önerilerde bulunmaktır.

2. AFYONKARAHİSAR’IN TERMAL TURİZM ARZI

Bir ülke, bölge veya ilin turizm sektörü açısından değerlendirilebilmesi ancak turizm arz unsurlarının ortaya konması ve turizm talebinin analiz edilmesi ile mümkündür. Kısaca “bir ülke veya destinasyonun turistlere satmaya veya kullanımına sunmaya hazır olduğu turistik zenginliklerinin tümü”(Yağcı, 2003: 40) olarak ifade edilen turizm arzı kapsamında değerlendirilen unsurlar, doğal kaynaklar, tarihi, kültürel ve rekreasyonel kaynaklar, turistik alt-yapı ve üst yapıdır. Araştırma termal turizm odaklı bir yaklaşıma sahip olduğu için Afyonkarahisar’ın arz unsurları çoğunlukla konaklama amaçlı üst yapıya yönelik ortaya konacaktır. Termal doğal kaynakların özellikleri ve sağlık amaçlı kullanımı araştırma kapsamında dikkate alınmayacaktır.

Afyonkarahisar'ın temel turizm ürününü termal turizm oluşturmaktadır. İlin turizm amaçlı kaynak arz yapısı, turistik amaçlı üst yapısı ve il'e yönelik talebin geliş amaçları incelendiğinde bu açıkça görülmektedir. Afyonkarahisar il sınırları içinde turizm merkezi ilan edilmiş dört bölgenin tamamının termal turizm bölgeleri olmaları bu durumu destekleyen bir diğer göstergedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Afyonkarahisar ilindeki turizm merkezleri

Turizm Merkezi Adı	Turizm Merkezi İlan Tarihi
Gazlıgöl Kaplıcası Turizm Merkezi	17.10.1993 tarih ve 21731 sayılı Resmi Gzt. 06.01.2005 tarih ve 25692 sayılı Resmi Gzt.'de sınır değişikliği
Ömer-Gecek Turizm Merkezi	13.09.1989 tarih ve 20281 sayılı Resmi Gzt. 17.10.1993 tarih ve 21731 sayılı Resmi Gzt.'de alanı genişletilmiştir. 06.01.2005 tarih ve 25692 sayılı Resmi Gzt.'de sınır değişikliği
Heybeli Kaplıcası Turizm Merkezi	17.10.1993 tarih ve 21731 sayılı Resmi Gzt. 17.02.1995 tarih ve 22205 sayılı Resmi Gzt.'de alanı genişletilmiştir.
Hüdayi Kaplıcası Turizm Merkezi	09.04.1987 tarih ve 19426 sayılı Resmi Gzt. 17.10.1993 tarih ve 21731 sayılı Resmi Gzt.'de alanı genişletilmiştir. 06.01.2005 tarih ve 25692 sayılı Resmi Gzt.'de sınır değişikliği

Kaynak: Afyonkarahisar İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2008.

Bir ilin turizm arzı açısından değerlendirilmesinde ilin turistik amaçlı üst yapı açısından durumu ilin turizm sektörü açısından düzeyini ortaya koymada önemli bir göstergedir. Çizelge 2'de gösterildiği gibi Afyonkarahisar'ın il genelinde Kültür ve Turizm Bakanlığında işletme belgeli toplam yedi tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin üçü beş yıldızlı termal otel üçü iki yıldızlı otel ve bir tanesi ise bir yıldızlı oteldir. İldeki bakanlıktan belgeli tesislerin toplam kapasitesi 2219 yataktır. İlin Bakanlık belgeli yatak arzının 2008 yataklık kapasitesinin termal turizme yönelik beş yıldızlı otellerde olması arzın niteliği ve gelişim açısından önemlidir.

Çizelge 3 Afyonkarahisar'da belediye belgeli çeşitli sınıflardaki işletmelerin oda ve yatak sayılarına ait bilgileri göstermektedir. Çizelgedan görüldüğü gibi Afyonkarahisar'da toplam otuz yedi tesis faaliyet göstermektedir. Bu tesislerin sahip olduğu toplam oda sayısı 966 ve yatak sayısı 2133'tür. Bu veriler termal merkezlerde bulunan belediye belgeli arzı içermemektedir.

Afyonkarahisar'ın dört termal turizm merkezindeki belediye belgeli ve diğer konaklama kapasitesi Çizelge 4'te gösterilmektedir. Çizelge termal merkezlerde toplam yatak sayısının 3004 olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Afyonkarahisar'daki kültür ve turizm bakanlığından işletme belgeli konaklama işletmelerinin oda ve yatak sayıları

Tesisin Adı	Türü-Sınıfı	Oda	Suit	Yatak
Termal Resort Oruçoğlu*	Termal Otel 5 Yıldız	294	12	624
İkbal Otel Sağlık ve Termal Tesisi*	Termal Otel 5 Yıldız	270	16	604
Korel Termal*	Termal Otel 5 Yıldız	268	58	780
Büyük Rama Otel	Otel 2 Yıldız	26	4	64
Güzelköy Otel	Otel 2 Yıldız	11	1	25
Kolaylı Otel	Otel 2 Yıldız	31	10 Aile Odası	92
Ekiz Otel	Otel 1 Yıldız	15	-	30
Toplam		915	101	2219

Kaynak: Afyonkarahisar İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2008. **Termal Turizm İşletmeleri**

Çizelge 3. Afyonkarahisar'daki belediye belgeli konaklama işletmelerinin tesis, oda ve yatak sayıları

	Tesis Sayısı	Oda	Yatak
Otel	2	114	242
Otel Lüks	4	188	503
Otel 1/A	2	80	170
Otel 1/A-B	3	91	182
Otel 1.Sınıf	3	69	117
Otel 2.Sınıf	9	160	316
Otel 3.Sınıf	10	190	458
Pansiyon	2	39	81
Pansiyon 3.Sınıf	2	35	64
TOPLAM	37	966	2133

Kaynak: Afyonkarahisar İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2008.

Çizelge 4. Afyonkarahisar'ın termal turizm merkezlerindeki belediye belgeli ve diğer konaklama kapasitesi

	1	2	3	4	5	6	7
Ömer	35	20	49	-	-	-	270
Gecek	-	-	-	45	-	-	180
Hayat	-	25	-	-	-	-	100
Gazlıgöl	48	-	19	-	48	-	404
Sandıklı Hüdai	166	143	-	-	110	-	1400
Bolvadin Heybeli	25	74	-	-	-	60	650
	274	262	68	45	158	60	3004

Not: (1): Oda, (2): Apart, (3): Villa, (4): Devremülk, (5): Daire, (6): Halk Tipi Ev, (7): Yatak. Kaynak: Afyonkarahisar İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2008.

Afyonkarahisar ilinde halen mevcut olan turistik üst yapı yatak arzı 7356 yataktır. İlin toplam yatak arzının 2008'i nitelikli olmak üzere 5012 yataklık kısmı yani yaklaşık % 70'i termal merkezlerdeki kapasiteden oluşmaktadır. Mevcut yatak arzına ilave olarak Afyonkarahisar ilinde yatırım aşamasında bakanlık belgeli beş tesis bulunmaktadır (Çizelge 5). Afyonkarahisar'da yatırım aşamasında bulunan tesislerin toplam yatak kapasitesi 2529 yataktır. İlde gerçekleştirilme düzeyinde bulunan turistik üst yapı yatırımlarında termal konaklama işletme yatırımları 2271 yatak sayısı ile önemli bir kısmı oluşturmaktadır.

Çizelge 5. Afyonkarahisar'daki Kültür ve Turizm Bakanlığında Yatırım Belgeli Tesis Sayıları

Tesisin Adı	Türü-Sınıfı	Oda	Suit	Yatak
Salutaris Otel*	5 Yıldızlı Otel	316	208	1492
Anemon Afyon Oteli*	5 Yıldızlı Otel	143	55	428
Durkaya Afyon Resort Otel**	4 Yıldızlı Otel	168	7	351
Karamehmetoğlu Oteli	3 Yıldızlı Otel	46	4	104
Vahapoğlu Resort Otel	3 Yıldızlı Otel	50	-	100
Toplam		723	274	2529

Kaynak: Afyonkarahisar İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2008.

* Termal Turizm İşletmeleri

** Termal Turizm İşletmeleri, 5084 Sayılı Kanun Kapsamında Gerçekleşmektedirler.

Afyonkarahisar ayrıca 5084 sayılı Kanun kapsamındaki teşviklerden turistik amaçlı yatırım olarak en fazla yararlanan il konumundadır. Çizelge 6 5084 sayılı Kanun kapsamında Afyonkarahisar'da termal turizm amaçlı tahsisleri göstermektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi eğer yatırımlar gerçekleşirse Afyonkarahisar'a Kanunun sağladığı teşvikler ile on yeni otel işletmesinin yapılması söz konusudur. Kanun kapsamında sağlanan teşviklerden yararlanan iki termal otel işletmesi yatırımı başlamış bulunmaktadır (Çizelge 5).

Afyonkarahisar halen 5000 dolayında termal turistik üst yapı arzına sahip konumdadır. Yatırım aşamasında ve 5084 sayılı kanun kapsamında gelecekte gerçekleşmesi olası yatırımlarında devreye girmesi ile ilde nitelikli termal turizm işletme sayısı ondört'e yükselecektir. Bu kapsamda ilde termal yatak sayısının 10.000'in üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir. Ancak bu noktada özellikle 5084 sayılı Kanun kapsamında gerçekleşmesi beklenen yatırımların durumu önemlidir. Çizelge 6'nın ikinci kısmında gösterildiği gibi Kanun kapsamında iptal edilen tahsislerin yedi tanesinin termal turizm işletme yatırımı olması bu konuda bir endişe kaynağını oluşturmaktadır.

Çizelge 6. 5084 sayılı kanun kapsamında Afyonkarahisar’da termal turizm amaçlı tahsisler ve iptaller

İŞLEMDE OLAN DOSYALAR						
Sıra No	Firma	Yatırım Yeri	Yatırım Türü	Tapu Devri	Tamamlanma Tarihi	Açıklama
1	Anemon A.Ş.	Merkez	Termal Otel-Turizm	06.09.2006	30.04.2008	Devredildi.
2	Güzbeyler Ltd.	Merkez	Termal Otel-Turizm	26.03.2007	30.08.2009	Devredildi.
3	Budan Ltd.Şti.	Merkez	Termal Otel-Turizm	13.03.2007	30.12.2009	Devredildi.
4	Durkaya A.Ş.	Merkez	Termal Otel-Turizm	29.03.2007	15.04.2009	Devredildi.
5	Haskale Ltd. Şti	Merkez	Otel-Turizm	-	31.12.2009	Devredilmedi.
6	Termal&Spa Ltd.	Merkez	Termal Otel-Turizm	-	31.12.2010	Devredilmedi.
7	Lila Ltd.Şti.	Merkez	Termal Otel-Turizm	-	31.12.2010	Devredilmedi.
8	Deva A.Ş.	Merkez	Termal Otel-Turizm	-	31.12.2010	Devredilmedi.
9	Çelik Doğan Ltd.	Merkez	Termal Otel-Turizm	-	30.06.2007	Devredilmedi.
10	Varlıbaş A.Ş.	Merkez	Termal Otel-Turizm	Bakanlıkça İrtifak Ön İzni Verilmesi Uygun Görüldü		
İPTAL EDİLENLER						
Sıra No	Firma	Yatırım Yeri	Yatırım Türü	Açıklama		
1	Kıraç A.Ş.	Sinanpaşa	Termal Otel-Turizm	Bakanlığa 02.01.2008-39 sayılı yazı ile iptali yazıldı.		
2	İncesu Ltd. Şti.	Merkez	Termal Otel-Turizm	Bakanlığa 18.12.2007-5989 sayılı yazı ile iptali yazıldı.		
3	İlgaz Ltd. Şti	Merkez	Termal Otel-	Bakanlıkça iptal edildi.		
4	İlci A.Ş.	Merkez	Termal Otel-	Bakanlıkça iptal edildi.		
5	Osman Boztaş	Çay	Gıda	Bakanlıkça iptal edildi.		
6	Best Mermer Ltd.	Merkez	Mermer	Bakanlıkça iptal edildi.		
7	Norm A.Ş.	Merkez	Mermer	Bakanlıkça iptal edildi.		
8	Atabir Ltd.Şti.	Merkez	Termal Otel-	Bakanlıkça iptal edildi.		
9	Oba A.Ş.	Merkez	Termal Otel-	Bakanlıkça iptal edildi.		
10	Snow Valley Ltd.	Merkez	Turizm	Bakanlıkça iptal edildi.		

Kaynak: T.C. Maliye Bakanlığı Afyonkarahisar Defterdarlığı, 2008

3. AFYONKARAHİSAR’A YÖNELİK TERMAL TURİZM TALEBİ

Bir ilin turizm açısından durumunu ortaya koymada arz verileri dışında diğer önemli belirleyici unsur il’e yönelik turistik taleptir. Bu kapsamda Afyonkarahisar iline yönelik termal turizm amaçlı son üç yıllık talep verileri Çizelge 7’de gösterilmektedir. Çizelge Afyonkarahisar’a yönelik termal turizm talebinin hafif dalgalanma gösterse de istikrarlı bir gelişim gösterdiğini göstermektedir. Özellikle 2005-2006 döneminde talepte 100.000 kişilik bir artış olduğu görülmektedir. Çizelge ayrıca Afyonkarahisar’a yönelik termal turizm talebinin tüm yıl devam etmekle birlikte Mayıs-Eylül döneminde yoğunluk gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çizelgenun Afyonkarahisar’a yönelik termal

turizm talebi ile ilgili ortaya koyduğu bir diğer önemli veri ilin yerli turistlere hitap eden bir turistik talep yapısına sahip olduğudur. Yabancı turistler açısından talep neredeyse yok denecek kadar düşük bir düzeyde görülmektedir.

Çizelge 7. Afyonkarahisar ilinde konaklama yapan yerli ve yabancı turistlerin aylık dağılımı

2004	Yerli	Yabancı	2005	Yerli	Yabancı	2006	Yerli	Yabancı
Ocak	28056	39	Ocak	38053	68	Ocak	49533	32
Şubat	29859	9	Şubat	29473	54	Şubat	37317	18
Mart	23425	122	Mart	30715	81	Mart	45202	35
Nisan	35297	16	Nisan	35486	107	Nisan	41096	32
Mayıs	38197	9	Mayıs	50073	29	Mayıs	50276	68
Haziran	66825	20	Haziran	29991	32	Haziran	58420	91
Temmuz	55133	4	Temmuz	58398	56	Temmuz	73832	69
Ağustos	78142	25	Ağustos	68291	31	Ağustos	87753	135
Eylül	57737	197	Eylül	51685	33	Eylül	57897	142
Ekim	39923	85	Ekim	22016	11	Ekim	23478	101
Kasım	38113	1138	Kasım	44965	19	Kasım	39215	54
Aralık	40301	45	Aralık	45079	0	Aralık	41840	75
Toplam	531008	1709	Toplam	504225	521	Toplam	605859	852

Kaynak: Afyonkarahisar Kültür ve Turizm İl Müdürlüğü, 2007

Afyonkarahisar'a yönelik termal turizm talebinin yapısı incelendiğinde bu durumun ortaya çıkma nedenleri arasında il'de faaliyet gösteren işletmelerin alt-yapının durumu nedeniyle pazarlama açısından iç pazara yönelmeleri sebebiyle ilin termal destinasyon olarak uluslararası düzeyde yeterli tanınırlılığa sahip olmaması temel neden olarak ortaya konabilir. Bunun dışında talebin düzeyi açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse özellikle sağlık amaçlı yasal düzenlemelerin yetersizliği, termal suların sağlık amaçlı kullanımı amaçlı kür tesislerinin yetersizliği ve halkın termal sulardan yararlanmayı bir hamam kültürü olarak görmeleri temel etkenler olarak sayılabilir.

4. AFYONKARAHİSAR'IN TERMAL TURİZM AÇISINDAN SORUNLARI

Afyonkarahisar termal turizm açısından sürekli gelişme gösteren ve ulaştığı turistik üst yapı ile termal destinasyon imajı oluşmaya başlayan bir turistik destinasyondur. Bununla birlikte il'in termal turizm açısından bazı sorunları bulunmaktadır. Bu sorunların bazılarının kaynağı genel sorunlar, bazıları ise il'deki termal turizmin bölgesel düzeyde yapılanmasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda Afyonkarahisar'ın termal turizm sorunlarını şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Termal turizm bölgelerinin turizm master planlarının hazırlanmamış olması,
- Ömer-Gecek Bölgesi dışındaki termal bölgelerdeki termal turizm üst yapının niteliğinin yetersizliği,
- Afyonkarahisar'ın Havayolu ile ulaşım alt-yapısının mevcut olmaması,
- Havayolu'nun yokluğuna bağlı olarak uluslararası pazara yönelimin az olması,

- İl’de yeterli turistik üst yapı arz kapasitesinin bulunmaması,
- Afyonkarahisar’ın termal turizm destinasyonu olarak imajının oluşmamış olması,
- İl’deki işletmelerin pazarlama faaliyetlerinin yetersizliği,
- İl’de termal turizmi destekleyici diğer turistik aktivitelerin gelişmemiş olması,
- Tesislerin Nitelikli işgücü bulma konusunda yaşadığı sıkıntılar,
- İlde sektörü oluşturan işletmeler arasında koordinasyonun yetersizliği
- Doğal kaynak kullanımı ve termal turizm işletmeciliği konusunda yasal mevzuatın yetersizliği veya eksiklikleri,

5. AFYONKARAHİSAR’DA TERMAL TURİZMİN GELECEĞİNE YÖNELİK SONUÇ VE ÖNERİLER

Afyonkarahisar’ın termal turizm açısından geleceğine yönelik öneriler ilin önemli potansiyeli bulunan termal turizm potansiyelinin sürdürülebilirlik ilkelerine göre planlanması ve eksikliklerinin tamamlanması amacının gerçekleştirilmesine yönelik mevcut durumun ortaya konması, ilin yaşadığı sorunların çözümüne bir başlangıç olması açısından önemlidir. Bu amaçla ilgili önerilerin gerçekleşmesinin, merkezi ve yerel kamu idaresi ile sektör temsilcisi işletmelerin koordinasyonu ile mümkün olabileceği öncelikle düşünülmesi gereken bir husustur. Bu kapsamda ilin termal turizm sorunları olarak sıralanan sorunları tek tek ele almak mümkündür.

5.1. Termal Turizm Bölgelerinin Turizm Master Planlarının Hazırlanmamış Olması

Bir ülke veya ilin sürdürülebilirlik ilkelerine göre geliştirilmesi ancak, doğal kaynağın potansiyeli ve korunmasını sağlayacak master planının hazırlanması ile mümkündür. Bu kapsamda Afyonkarahisar’da öncelikle tüm bölgelerin turizm master planları hazırlanarak, doğal termal kaynağın niteliğinin ve miktarının tespit edilmesi ve bölgelere kurulması gerekli konaklama üst-yapı kapasitesi, rekreasyonel alanlar ve diğer alanların durumunun ortaya konması gerekmektedir. Bu sayede gereksiz yatırımların yapılması dışında bölgenin plansız gelişimi de önlenmiş olacaktır. Bu amaçla Afyonkarahisar’da Ömer-Gecek bölgesinde çevre düzenlemesi ve yerleşim ile ilgili çalışmalar devam etmekle birlikte diğer üç bölge plansız bir şekilde büyümeye devam etmektedir.

5.2. Ömer-Gecek Bölgesi Dışındaki Termal Bölgelerdeki Termal Turizm Üst Yapının Niteliğinin Yetersizliği

Afyonkarahisar’da termal turizme yönelik nitelikli konaklama kapasitesi sadece Ömer-Gecek bölgesinde mevcut bulunmakta ve yatırım aşamasındaki tüm yatırımlar ilgili bölgeye yönelik planlanmaktadır. Diğer bölgelerden özellikle Gazlıgöl ve Heybeli bu amaçlı atıl durumda bulunmaktadır. Bu bölgelerin nitelikli işletme yatırımları açısından cazip hale getirilmesi zorunludur. Bu amaçlı master planları önemli bir yol gösterici olacaktır. Bu sayede en azından kaynağın özelliğinin korunması veya kontrol altına alınması mümkün olabilecektir. Yerel idarelerin bu konuda geleceği düşünerek hareket etmeleri gerekmektedir. özellikle devre-mülk şeklindeki villaların hızlı gelişimi mutlaka dikkat edilmesi gereken bir durumdur.

5.3. Afyonkarahisar'ın Havayolu İle Ulaşım Alt-Yapısının Mevcut Olmaması

Özellikle uluslararası pazar açısından havayolu ile ulaşım sorununun mutlaka çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla askeri havaalanının kullanımı konusundaki girişimlerin sonuçsuz kalması ve Kütahya Altıntaş'a havaalanı yapılacağı sözlerinin söylentiden öteye geçmemesi çözülmesi gereken bir sorundur. Bu özellikle Avrupa'da sağlık amaçlı seyahat eden kişilerin belli mesafeden öteye karayolu ile taşınmasının mümkün olmaması nedeniyle mutlaka çözülmesi gereken bir sorun olarak durmaktadır.

5.4. Havayolu'nun Yokluğuna Bağlı Olarak Uluslararası Pazara Yönelimin Az Olması

Havayolunun yokluğu nedeniyle ilde faaliyet gösteren işletmelerin yurt dışı pazarlara yönelimleri sınırlı düzeyde kalmaktadır. Ayrıca unutulmaması gereken bir diğer önemli husus uluslararası pazarda rekabet etme ve müşteri çekmenin sadece alt-yapı ile ilgili bir sorun olmadığıdır. Bu noktada işletmelerin fiziksel niteliklerini ve hizmet kalitelerini geliştirmeleri önemli rol oynamaktadır.

5.5. İlde Yeterli Turistik Üst Yapı Arz Kapasitesinin Bulunmaması

Afyonkarahisar her ne kadar ülkemizde termal konaklama işletmeleri açısından iyi düzeyde bulunan illerden birisi kabul edilse de sadece 2008 nitelikli termal yatağa sahiptir. İlde sadece üç otel işletmesi bulunmakta ve bunların tümü Ömer-Gecek bölgesinde faaliyet göstermektedir. Bu bölgenin termal destinasyon imajı için yeterli bir düzey değildir. Yatırım aşamasındaki ve 5084 sayılı Kanun kapsamında bölgede yapılması planlanan yatırımların hızlı bir şekilde devreye sokulması gerekmektedir.

5.6. Afyonkarahisar'ın Termal Turizm Destinasyonu Olarak İmajının Oluşmamış Olması

Afyonkarahisar coğrafi olarak stratejik bir noktada bulunmakla birlikte bu konumunu termal turizm amaçlı değerlendirme açısından yeterli düzeyde değildir. Bu alanda son dönemde özellikle Ömer-Gecek Bölgesinde nitelikli işletmelerin yapılması olumlu bir gelişmedir. Ancak ilin termal destinasyon olarak popülaritesi henüz oluşmamıştır. Bu noktada ildeki tesislerde bulunan kür ünitelerinin işlevselliği, tesislerde sunulan konaklama hizmetinin niteliğinin sürekli artırılması ve pazarlama faaliyetlerinin daha organize olması imajın oluşmasını destekleyecek yaklaşımlardır.

5.7. İldeki İşletmelerin Pazarlama Faaliyetlerinin Yetersizliği

Havayolu'nun yokluğu nedeniyle sadece iç pazara yönelik ve bölgesel faaliyet gösteren işletmeler son dönemlerde turizm amaçlı fuar ve benzeri organizasyonlara iştirak etmeye başlamış olmakla birlikte bu henüz yeterli düzeyde değildir. Konaklama tesislerinin pazarlama amaçlı faaliyetlerinin organizasyonunda akademik bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir. Özellikle talebin yapısını öğrenmek, hangi araçlarla tanıtım ve pazarlama faaliyetlerinin yapılmasının gerektiğini planlamak açısından bu gereklidir. Ayrıca tanıtımın işletme odaklı değil bölge odaklı yapılması düşünülmeli

gereken bir diğer konudur. Bu noktada yerel kamu idaresinin görev üstlenmesi ve işletmeleri desteklemesi faydalı olacaktır.

5.8. İlde Termal Turizmi Destekleyici Diğer Turistik Aktivitelerinin Gelişmemiş Olması

Termal turizm uzun süre konaklama yapmayı gerektiren bir turizm türüdür. Bu süre bazı tedavilerde üç haftaya kadar çıkabilmektedir. Bu termal tedavi veya dinlenme süresince Afyonkarahisar'a gelen müşterilerin kalışları boyunca yararlanabilecekleri rekreasyon alanları, sosyal ve kültürel faaliyetlerini önemli hale getirmektedir. Müşterilerin otel dışında da faydalanabilecekleri rekreasyon alanları, parklar, spor tesisleri (Bowling, Golf, Atıcılık, Binicilik vb), tiyatro, sinema, hobi merkezi vb. kültürel aktivite merkezleri, yakın çevre gezi programları (Frig Vadisi) müşterilerin memnuniyeti ve tekrar ziyaretleri açısından büyük önem arz etmektedir.

5.9. Doğal Kaynak Kullanımı ve Termal Turizm İşletmeciliği Konusunda Yasal Mevzuatın Yetersizliği veya Eksiklikleri

Termal kaynakların sahibinin devlet olması ve kaynağın kullanımı konusunda yetki ve sorumlulukların çok farklı işletmeler arasında dağılmış olması bu konuda işletmelerin temel sorununu oluşturmaktadır. Ayrıca son dönemde suyun kullanımı konusunda alınan kararlar ile su kullanım bedellerinin artırılması işletmeler için büyük bir maliyet oluşturmaktadır. Ayrıca suyun bilinçsiz kullanımı ve herkesin izin alarak istediği şekilde kuyu açması bir diğer sorundur. Bu genel merkezi idare tarafından çözülmesi gereken bir sorundur. Bu konuda 2023 Türkiye Turizm Stratejisi kapsamında termal turizmin öncelikli geliştirilecek turizm ürünlerinden birisi olarak ele alınması ve bu amaçlı yasal düzenlemelerin yapılmasının planlanması olumlu bir gelişmedir.

5.10. Tesislerin Nitelikli İşgücü Bulma Konusunda Yaşadığı Sıkıntılar

Önümüzdeki yıllarda bölgede nitelikli tesis ve yatak sayısının büyük artış göstereceği göz önünde bulundurulduğunda, bu gelişime paralel olarak önemli sayıda nitelikli işgücüne de ihtiyaç ortaya çıkacaktır. Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne bağlı, 5 yıllık turizm ve otel işletmeciliği eğitimi veren Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksekokulu ile 2 yıllık eğitim veren Afyon, Sandıklı ve Dinar Meslek Yüksekokulları Turizm ve Otel İşletmeciliği, Seyahat İşletmeciliği ve Aşçılık programları bulunmaktadır. Bu okul ve programların öğrencilerinin staj ve mezuniyet sonrası çalışma amaçlı ilde kalması tesislerin nitelikli personel ihtiyacının giderilmesi için bir çözüm olarak görülebilir. Bu amaçla Üniversite ve sektör işletmeleri arasında öğrencilerin staj olanakları ve eğitim döneminde pratik uygulama bilgilerini geliştirme amaçlı çalışmaların yakın işbirliği faydalı olacaktır. Bu süreç ayrıca işletmelere istedikleri nitelikte öğrencileri seçme fırsatı da sunacaktır.

5.11. İlde Sektörü Oluşturan İşletmeler Arasında Koordinasyonun Yetersizliği

Afyonkarahisar'da termal turizm sektörünü oluşturan işletmeler arasında fiyat, pazarlama faaliyetleri, suyun kullanımı ve diğer konularda bir bütünlük ve uyum bulunmamaktadır. İlde ATTİD'in (Afyonkarahisar Termal Turistik ve Otelciler ve

İşletmeciler Derneği) 2006 yılında kurulmuş olması koordinasyonu sağlayacak bir merkez için ilk adımdır. Ayrıca yerel kamu idaresinin de bu konuda sivil oluşumlara destek olması gereklidir.

Afyonkarahisar'a coğrafi yapısının sağladığı bir zenginlik olan termal kaynaklar il'in turizm sektörünün yapılanmasının temelini oluşturmaktadır. Afyonkarahisar mevcut durumu ile ülkemizde gelişme aşamasında olan termal turizm açısından iyi düzeyde sayılan iller arasında yer almaktadır. Ancak Avrupa'daki benzerleri ile karşılaştırıldığında maalesef hem ülkemiz hem de il düzeyinde bölgelerimiz termal turizm açısından sahip olunan doğal kaynak potansiyeli ile kıyaslandığında çok gerilerde bulunmaktadır. Bu durumun oluşmasının temel nedenleri arasında termal turizme yasal mevzuat açısından yeterli ilginin gösterilmemesi, planlı gelişim planlarının hazırlanmaması, özellikle iç turizm talebinin kaynak kullanımına hamam kültürü ile yaklaşımı ve termal kür merkezlerinde gerçekleştirilebilecek sosyal güvenlik harcamalarının karşılanması ile ilgili yasal düzenlemelerin yapılamamış olması sayılabilir. Bununla birlikte son dönemlerde termal turizm ile ilgili konularda olumlu yönde gelişmeler başlamış bulunmaktadır. Özellikle merkezi idarenin termal turizme bakış açısının değişmesi ve gelişimi amaçlı yasal düzeyde kanuni düzenlemelerde iyileştirmeler yapması, ayrıca teşvik uygulamalarını devreye sokarak özel sektörü termal turizm amaçlı yatırıma yönlendirmesi ve bölgesel gelişim planları oluşturması bu amaçlı temel olumlu gelişmeler olarak sayılabilir. Örneğin Afyonkarahisar Ömer-Gecek Termal Turizm Bölgesinde son 10 yıllık dönemde nitelikli konaklama üst yapısında gözlemlenen artış ve yatırımlar bunun bir sonucu olarak görülebilir. Bununla birlikte yukarıda sayılan birçok sebep hala mevcut bulunmakta ve çözüm beklemektedir. Bu sorunların çözümü ancak ilgili tarafların ortak koordinasyonu ile mümkündür. Özellikle gelecek planlarının sürdürülebilirlik ilkelerine göre oluşturulması başarıya oluşmada kritik unsur olarak görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- T.C. Maliye Bakanlığı Afyonkarahisar Defterdarlığı, 2008. 2007 Yılı Faaliyet Raporu, Afyonkarahisar Defterdarlığı, 2008.
- Afyonkarahisar Kültür ve Turizm İl Müdürlüğü, 2008. Konaklama İstatistikleri, Afyonkarahisar.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2007. *Türkiye Turizm Stratejisi 2023 Eylem Planı 2007-2013*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayın No: 3085, Ankara.
- T.C. Resmi Gazete, 2004. 5084 Sayılı Yatırımların ve İstihdamın Teşviki İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun. 06.02.2004. Sayı:25365. Ankara.
- Özbek, T., 1991. Dünya'da ve Türkiye'de Termal Turizmin Önemi. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2, (17-18), 15-29.
- Yağcı, Ö., 2003. *Turizm Ekonomisi*, Detay Yayıncılık, Ankara, 40.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ KAPLICA KÜR MERKEZİ TEDAVİ UYGULAMALARI

TOKTAŞ, H¹., DEMİRDAL, Ü. S¹., TÜREL, A¹., EVCİK, D²., KAVUNCU, V¹.

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon A.D.

² Ufuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon A.D.

1. GİRİŞ

Balneoterapi; yeraltı termomineral suyun, gazın, çamurun, kaynağın çıktığı yöreye özgü iklim koşullarında banyo, içme ve inhalasyon yöntemleriyle kür tarzında uygulanan bir stimülasyon tedavisidir dolayısıyla dolayısıyla romatizmal hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Özer, 1994). Günümüzde balneoterapi, kaplıca ve kür merkezlerinde tedavi, koruma ve rehabilitasyon amaçlarıyla kullanılmaktadır.

2. YÖNTEM

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Tedavi Rehabilitasyon ve Kaplıca kür merkezinde 2004 ve 2005 yıllarında kaplıca tedavisi ve fizik tedavi uygulamalarına ait kayıtların dökümü yapılmıştır.

3. SONUÇ

İki yıllık dönemde kür merkezimizde toplam 2103 hasta (1407 kadın, 696 erkek) tedaviye alındı. Kadın hastaların yaş ortalaması 48,82 (8-83), erkek hastaların yaş ortalaması ise 48,93 (8-87) idi. Hastaların aldıkları tedavilerin dağılımı Çizelge 1 ve 2’de tanıları ise Çizelge 3’ te sunulmuştur.

Çizelge 1. Uygulanan tedaviye göre hasta sayıları.

Alınan tedavi	Hasta Sayısı
Kaplıca	1804
Peloidoterapi	90
Masaj	747
Su içi egzersiz	248
Kara egzersizi	1676
Ek fizik tedavi	1829

Çizelge 2. Tanı gruplarına göre hasta sayısı dağılımı

No	Hastalık grubu	Sayı	Yüzde(%)
1	Ortopedik rehabilitasyon (artroplasti rehabilitasyonu, çapraz bağ ameliyatı sonrası rehabilitasyon)	75	3,56
2	İzole omuz lezyonları (İmpingement sendromu, rotator cuff patolojileri)	125	5,94
3	Romatolojik hast (RA,AS,Seronegatif sPA,Gut v.b.)	29	1,38
4	Nörolojik rehabilitasyon (Serebral palsi, hemipleji v.b)	20	0,95
5	Osteoartrit	776	36,90
6	Lomber Disk Hernisi, Mekanik bel ağrısı	439	20,87
7	Yumuşak doku romatizmaları (Fibromyalji, Miyofasiyal Ağrı Sendromu v.b.)	515	24,49
8	Servikal Disk Hernisi, Mekanik boyun ağrısı	124	5,90

4. TARTIŞMA

Kaplıca küründe en çok uyguladığımız tedavi termomineral su banyosudur ve 1804 hastamıza verilmiştir. Termomineral su banyosu mekanik, termal ve kimyasal etkileri sayesinde ağrının azaltılması, hastaların iyilik halinin ve yaşam kalitesinin artırılması gibi tedavi amaçlarımızı yerine getirebilmemizi sağlayan bir balneoterapi yöntemidir (Nasermoaddeli vd., 2005). Kaplıca kürü bir kombinasyon tedavisi olarak değerlendirildiğinden (Özer, 1994), kaplıca banyosu, peloidoterapi, su içi egzersizi ve masaj uygulanan hastalarımızın 1829'una eş zamanlı fizik tedavi ajanları da uygulanmıştır. Hastalarımızın en büyük çoğunluğu osteoartrit hastasıdır. Osteoartrit tedavisinde termomineral banyoların faydalı olduğu gösterilmiştir, ancak çalışmaların metodolojik eksikliklerden dolayı diğer balneolojik uygulamaların etkinliğine yönelik kesin kanıt bulunamamaktadır (Verhagen vd., 2007) ve ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Kür merkezimizde kas iskelet sistemi hastalıklarının tedavisi amacıyla balneoterapi yöntemleri, fizik tedavi uygulamaları ile su içi ve kara egzersizleri de uygulanarak hastalarımıza hizmet sunulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Nasermoaddeli A, Kagamimori S. 2005. Balneotherapy in medicine: a review. Environmental Health and Preventive Medicine. July;10: 171-79
- Özer (Usman) N. 1994. Kaplıca Tedavisi. İn: Romatizmal Hastalıklar. Ed: Tuna N. 3.baskı, Hacettepe Taş Kitapçılık, 229-42, Ankara.
- Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SMA, Boers M, Cardoso JR, Lambeck J, de Bie RA, de Vet HCW, 2007. Balneotherapy for osteoarthritis. Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 4. Art. No.: CD006864.

BEL AĞRISI TEDAVİSİNDE AKUATİK EGZERSİZLERİN KLİNİK ETKİNLİĞİ: RANDOMİZE KONTROLLÜ ÇALIŞMA

DÜNDAR Ü¹., SOLAK, Ö¹., YİĞİT İ¹., EVCİK D¹. ve KAVUNCU, V¹.

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı,
Afyonkarahisar.

1. GİRİŞ

Kara egzersizleri ve fizyoterapi bel ağrısı tedavisinde kullanılan ana tedavi araçlarıdır. Klinik deneyimler akuatik egzersizlerin bel ağrılı hastaların tedavisinde avantajları olabileceğine işaret etmektedir.

2. AMAÇ

Bel ağrısının tedavisinde akuatik egzersizlerin etkinliği ile kara egzersizlerinin etkinliğini karşılaştırmaktır.

3. HASTALAR VE YÖNTEM

Çalışmaya bel ağrısı olan 65 hasta dahil edildi. Hastalar rasgele günlük akuatik egzersiz ve kara egzersizi tedavi protokollerini almak üzere ikiye ayrıldı. Birinci grup (n:32, akuatik egzersiz grubu) 4 haftalık periyotta toplan 20 gün boyunca her gün bir saat süre ile mobilite, aerobik, kuvvetlendirme ve gevşeme egzersizleri programını aldılar. İkinci grup (n:33) yine 4 haftalık periyotta toplan 20 gün boyunca her gün bir saat süre ile kara egzersizlerini uyguladılar. Değerlendirme parametrelerine başlangıçta ve dört hafta sonra bakıldı. Görsel analog skala ile istirahat, hareket ve gece ağrısı ölçüldü. Eklem hareket açıklığı inklinometre ve gonyometre kullanılarak ölçüldü. Hastanın yaşam kalitesi kısa form 36 ile ve disabilite ise Oswestry bel ağrısı disabilite anketi ile değerlendirildi.

4. BULGULAR

Her iki grupta bütün değerlendirme parametrelerinde anlamlı iyileşmeler tespit edildi (p<0,05). Bununla beraber akuatik egzersiz grubunda oswestry bel ağrısı disabilite anketi ve kısa form 36'nın fiziksel fonksiyon ve fiziksel fonksiyona bağlı rol kısıtlılıkları alt gruplarındaki ilerlemeler istatistiksel olarak daha anlamlı idi (p<0,05).

5. SONUÇ

Su içi egzersizler bel ağrılı hastaların yaşam kalitesi ve disabilite parametrelerinde kara egzersizleri ile kıyaslandığında anlamlı olarak daha fazla iyileşme sağladı.

6. KAYNAKLAR

Bartels EM, Lund H, Hagen KB et al. Aquatic exercise for the treatment of knee and hip osteoarthritis. Cochrane Database Syst Rev 2007 Oct 17 (4): CD005523.
Munguia-Izquierdo D, Legaz-Arrese A. Exercise in warm water decreases pain and improves cognitive function in middle-aged women with fibromyalgia. Clin Exp Rheumatol 2007 Nov-Dec; 25 (6): 823-30.

SU İÇİ EGZERSİZ PROGRAMI POSTMENAPOZAL OSTEOPOROZU OLAN KADINLARDA DENGE VE YAŞAM KALİTESİNİ ARTTIRIR

**SOLAK Ö.¹, DÜNDAR Ü.¹, ÇAKIR T.¹, BABAĞLU S.¹, TOKTAŞ H.¹,
EVCİK D.¹ ve KAVUNCU V.¹.**

¹ Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon AD, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi,
Afyonkarahisar, Türkiye

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Akuatik çevre, ağrısı, kifoza ve denge bozukluğu olan osteoporoz hastaları için ek faydalar sunabilir. Su ortamı suyun kaldırma kuvveti, direnci, viskozitesi, hidrostatik basıncı, ısısı, türbülansı gibi özelliklerinden dolayı egzersizlerin yapılmasında avantajlar sağlayabilir. Suyun kaldırma kuvvetinden dolayı hastalar hareketleri daha kolay yapabilirler. Su ortamı düşme korkusunu azaltır ve hastaların egzersizlere uyumunu artırır. Ayrıca suyun ısısı arttıkça bağ dokusunun elastikiyeti artar ve hareket zorluğu çeken hastaların eklemlerini rahatça hareket ettirmesine yardımcı olur. Biz de çalışmamızda postmenapozal osteoporozu olan kadınlarda su içi ve kara egzersiz programlarının denge ve yaşam kalitesi üzerine olan etkilerini karşılaştırmayı amaçladık.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

60 postmenapozal osteoporozu olan bayan su içi veya kara egzersiz gruplarına randomize edildi. Su içi egzersiz grubundaki hastalar (n=30) her seans 1 saat olmak üzere haftada 5 seans 3 hafta boyunca fizyoterapist gözetiminde su içi egzersiz programı uyguladılar. Kara egzersiz grubundaki hastalar (n=30) her seans 1 saat olmak üzere haftada 5 seans 3 hafta boyunca evde kara egzersiz programı uyguladılar. Her iki program da sırt ve bacak kaslarını güçlendirme ve denge egzersizleri içeriyordu. Her iki gruptaki hastalara egzersiz programlarından önce, egzersiz programlarından sonra ve 2 ay sonra yaşam kalitesini değerlendirmek için Short Form 36 (SF-36) anketi ve dengeyi değerlendirmek için basamak testi uygulandı.

3. BULGULAR

Su ve kara egzersiz gruplarının ortalama yaşları sırasıyla 55.8 ± 4.6 ve 56 ± 4.1 idi. Su içi egzersiz grubunda SF-36 anketinin tüm bölümlerinde anlamlı artış vardı ($p < 0,05$), 2 ay sonraki değerlendirmelerde anketin 5 bölümündeki artış devam ediyordu. Kara egzersiz grubunda sadece SF-36 anketinin fiziksel fonksiyon bölümünde egzersiz sonrasında anlamlı artış sağlandı ($p < 0,05$). Su içi egzersiz grubunda basamak testinde egzersiz sonrasında hem sağ hem de sol tarafta anlamlı iyileşme vardı ($p < 0,05$) ve sağ taraftaki anlamlı düzelmelerin 2 ay sonraki değerlendirmelerde devam ettiği gözlemlendi. Kara egzersiz grubunda basamak testinde egzersiz sonrasında ve 2 ay sonrasında ne sağ ne de sol tarafta anlamlı düzelmeler saptanmadı.

4. SONUÇ

Kara egzersizi ile karşılaştırıldığında, su içi egzersizler postmenapozal osteoporozu olan kadınlarda dengeyi ve yaşam kalitesini arttırmada daha etkilidir.

DİZ OSTEOARTİTİ OLAN HASTALARDA KAPLICA VE ÇAMUR TEDAVİLERİNİN ETKİNLİĞİ

EVCİK D¹., KAVUNCU V¹., YETER A²., YİĞİT İ¹.

¹Ufuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel tıp ve Rehabilitasyon AD, Ankara.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon AD, Afyon.

1. AMAÇ

Diz osteoartriti sık görülen dejeneratif bir eklem hastalığıdır. Değişik tedavi yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışma diz osteoartritinde kaplıca ve çamur tedavilerinin etkinliğini araştırmak için planlanılmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmaya yaşları 39-78 arasında değişen 80 diz osteoartriti olan hasta dahil edilmiştir. Hastalar 3 tedavi grubuna ayrılmışlardır; Grup I (n=25) kaplıca tedavisi, grup II (n=29) çamur tedavisi ve grup III (n=26) sıcak paket tedavisi. Tedaviler haftada 5 gün, günde bir kez, 20 dakika süreyle uygulanmıştır. Hastalar ağrı, fonksiyonel kapasite ve yaşam kalitesi yönünden değerlendirilmiştir. Ağrı değerlendirmesinde Görsel Analog Skala ve “Western McMaster Osteoartrit İndeksi (WOMAC 0-4 skala)” kullanılmıştır. Fonksiyonel kapasite WOMAC fonksiyonel kapasite ve WOMAC global indeks kullanılarak ölçülmüştür. Yaşam kalitesi Nottingham Sağlık Profili (NHP) testi ile değerlendirilmiştir. Hekim global değerlendirmesi ve hastaların ağrısız yürüme mesafeleri de ölçülmüştür. Bu değerlere tedavi öncesi, tedavi sonrası ve tedaviden 3 ay sonra olmak üzere 3 kez bakılmıştır

3. BULGULAR

GAS ve WOMAC ağrı değerlerinde 3 grupta da iyileşmeler görülmüştür: grup I (p<0.001), grup II ve III (p<0.05). WOMAC fonksiyonel ve global indeksde de iyileşmeler olmuştur; grup I (p<0.05), grup II (p<0.001) ve grup III (p<0.05). Yaşam kalitesi sonuçlarında ve ağrısız yürüme mesafesi ölçümlerinde ise sadece kaplıca ve çamur tedavi gruplarında düzelme gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Diz osteoartriti hastalarında kaplıca ve çamur tedavileri etkin bir tedavi seçeneğidir

YETİŞKİNLİK, YAŞLANMA VE SOSYAL FAALİYET OLARAK TERMAL KAPLICALAR

DURSUN¹, P

Afyon Kocatepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Psikiyatri Ana Bilim Dalı

1. GİRİŞ

Gelişim bebeklikten ölüme dek süren, çok yönlü ve karmaşık bir süreçtir ve kişi gelişim süreçlerinin etkisini ömrü boyunca taşır (Cüceloğlu, 1991, s.335). Gelişim süreci aşağı yukarı biyolojik yapının ve çevre özelliklerinin birbirine karışması ve entegre olmasıyla ortaya çıkar. En önemli gelişim teorilerisyonlarından biri olan Erik Erikson (1950) gelişimin evrensel aşamalardan oluştuğunu vurgular ve bu teorisine Psikososyal Gelişim Aşamaları adını verir.

Bu aşamalar;

1. Temel güven ya da temel güvensizlik (0-1y)
2. Bağımsızlık ya da Utanç-Şüphe (2-3y)
3. Girişim ya da Suçluluk Duygusu (4-5y)
4. Üreticilik ya da Aşağılık Duygusu (6-12y)
5. Benlik özdeşleşmesi ya da Rol bunalımı (13-18y)
6. Yakınlık ya da Yalnızlık (19-25y)
7. Üreticilik ya da verimsizlik (26-40+)
8. Benlik Kaynaşımı ya da Çökkünlük (40+)

2. YETİŞKİNLİK VE YAŞLANMA SÜRECİNCE FİZİKSEL DEĞİŞİKLİKLER

Birçok araştırma bireylerin 30 yaşından sonra bedensel faaliyetlerinde yavaşlama olduğunu saptamıştır. Merkezi sinir sisteminde nöron kayıpları, beyin ağırlığında azalma, duyu organlarında fonksiyon kayıpları, kardiovaskular, bağışıklık sistemlerinde ve kognitif işlemlerdeki değişiklikler yaşlılığın en önemli olumsuzluklarıdır (Santrock, 1997; Kowalski ve Westen, 2005). Tüm bu değişimlere adapte olmaya çalışmak, (beyazlayan saçlar, kuruyan ve incelen deri, artan pigment sayısı, kırışıklıklar, sarkmalar, büyüyen burun ve kulaklar vb) özellikle Türkiye gibi genç nüfuslu toplumlar için oldukça zor. Özellikle hafıza, problem çözebilme gibi kognitif alanlarda fonksiyon kaybı çok yükündür.

Kognitif Alanda

- Kronik bir rahatsızlığı olmayan
- Ev işlerinde başarılı
- Esnek kişilik özellikleri olan
- Zeki eşlere sahip
- Geçmiş deneyimlerinden genel olarak memnun
- Beyin egzersizleri yapan bireyler daha az inaktif olur.

2.1 Yetişkinlik ve Yaşlanma Sürecince Duygusal ve Sosyal Değişiklikler

Erikson'un "Benlik Kaynaşımı ya da Çökkünlük" adını verdiği bu aşamada bireyler geçmiş yaşantıların bir nevi muhasebesini yapar ve ona göre ya kaynaşım yaşar ya da çökkünlük hissederler. Kendilerinden görece memnun, tekrar genç olmak istemeyen, birçok fiziksel ve mental eksiklerine karşın, kendilerini görmüş geçirmiş, deneyimli yaşlılar bu dönemi çok daha sorunsuz ve mutlu geçiriyor (Santrock, 1997).

2.2. Yaşlılıkta Arkadaşlık ve Sosyal Zaman Paylaşımı: Termal Terapi

Yaşlılıkta arkadaş sahibi olmak ruh sağlığının en önemli yordayıcılarından biri olarak kabul edilmektedir. Amerika'da yapılan bir araştırmada yaşlıların en çok kimlerle, neyi yaparken keyif aldıkları sorulduğunda arkadaşlarıyla yaptıkları faaliyetlerden aile üyelerine göre daha çok keyif aldıkları ortaya çıkmıştır. Özellikle yaşlılık dönemindeki kadınların daha çok arkadaş edindikleri ve çok yakın olmasalar da birlikte turlara gitmek, gezmek gibi ortak faaliyetler yaptıkları saptanmıştır. Bu tür arkadaşlıklara "İkincil arkadaşlıklar" denilmektedir (Santrock, 1997). Gerçekten de, bugün özellikle kaplıca ve termal havuz olanakları bulunan kadınların bu olanaklardan arkadaşlarıyla yararlandıklarını ve bu eğilimin giderek arttığını görmekteyiz. Bu tür kaplıca ve termaller, yaşlılığın getirdiği fiziksel rahatsızlıkları (Kan basıncı, kas ağrı ve sızıları, obesite, astım, diyabet, baş ağrısı, kanser çeşitleri, göz hastalıkları ve tansiyon gibi) gidermekle kalmıyor aynı zamanda giden kişiler arasında sosyalleşmeyi, kişiler arası iletişimi artırıyor ve kendisi terapi yöntemi olarak benimseniyor. Bu hizmetlerden faydalanan bireylerin kendilerine güvenleri artıyor, paylaşımında bulunuyor, tüm terapi çeşitlerinin odak noktası olan umudu sağlıyor (%30 iyileşme etkisi). Mineral tuzların ve diğer elementlerin deriye nüfuzu ile zaten bir terapi şekli olan kaplıca turizminin istatistiksel etkisi gelişim ve kişiler arası etkileşim bağlamında henüz çalışılmış bir konu değil ancak yaygınlaşmasıyla birlikte önümüzdeki yıllarda çalışmaların geleceğini düşünülmektedir.

3. KAYNAKÇA

Cüceloğlu, D. (1991). İnsan ve Davranışı. İstanbul:Remzi Kitabevi
Kowalski, R. & Westen, D. (2005). *Psychology* (4th ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.
Santrock, J.W. (1997). *Life-span Development*. (6th ed.). USA: McGraw-Hill Companies Inc.

AFYONKARAHİSAR İLİ SICAK SU KAYNAKLARINDAN İZOLE EDİLEN Gr(-) BASİLLERİN TANIMLANMASI

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF Gr(-)THERMOPHILIC BACILS FROM HOT SPRINGS IN AFYONKARAHISAR

ERCAN-AKKAYA, S¹. ve KIVANÇ M².

¹Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü. Eskişehir
sedaercanakkaya@gmail.com

²Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü. Eskişehir
mkivanc@anadolu.edu.tr

ÖZET

Ekstrem termofiller, jeotermal, endüstriyel, biyolojik aktiviteler yada güneş etkisi ile ısıtılmış alanlarda 55-85 °C arasında gelişme göstermektedir. Ülkemiz çok sayıda sıcak su kaynağına sahiptir. Bizim çalışmamızda Afyon ilinde bulunan Gazlıgöl(74°C), ve Ömer(92 °C), kaplıcalarından sıcak su örnekleri alınmış, 60-75 °C'de *Thermus* besi ortamında gelişme gösterebilen 6 adet Gr(-) aerobik bacil izole edilmiş, bu bakterilere biyokimyasal testler, SDS-PAGE analizleri yağ asiti analizleri, şeker testleri ve enzim testleri uygulanarak, türlerin identifikasyonu ve enzim profillerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. İzole edilen suşlara uygulanan testler sonucunda, alkalın fosfotaz, esteraz (C4), esteraz lipaz (C8), asid fosfotaz, naftol-AS-BI- fosfohidrolaz, α-glukozidaz, β-glukozidaz enzimlerinin yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir. İzolatların *Thermus*, *Meiothermus* cinslerine ait olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gr(-) Bacil, *Thermus*, *Meiothermus*, Termofilik enzim

ABSTRACT

Extreme thermophiles are organisms growing at elevated temperatures and typically associated with solar, geothermal, industrially or biologically heated environments. These develop generally at temperatures, 55-85 °C. Our country also have many hot spring. In this study Gr(-) six thermophilic aerobic bacteria, growing optimally at 60°C and 75 °C in *Thermus* medium, were isolated from Gazlıgöl(74°C) and Ömer(92 °C) hot springs. Then these isolates were identified according to nutritional characteristics, total protein profiles and cellular fatty acid profiles. Bacterial diversity and their enzyme

activities were investigated and alkaline fosfatase, esteraz (C4), esteraz lipaz (C8), asid fosfatase, naftol-AS-BI- fosfohidrolaz, α -glukozidaz, β -glukozidaz enzymes were founded high level. These isolates were determined as *Thermus* and *Meiothermus* genus.

Keywords: Gr(-) Bacil, *Thermus*, *Meiothermus*, Thermophilic enzyme

1. GİRİŞ

Bizim yaşam koşullarımızdan oldukça farklı şartlarda yaşayan ekstrem canlı gruplarından biri olan termofilik bakteriler son yıllarda oldukça yoğun ilgi duyulan araştırma odaklarından biri olmuştur. Pek çok canlı grubunun yaşayabilmesinin imkansız olduğu sıcaklıklarda bile bu canlıların enzimlerini kullanabilmeleri ve yaşamlarını sürdürebilmeleri araştırmacıları bu konuda çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. Son yıllarda dünyamızda solfatarik alanlar ve hidrotermal kuyular gibi çeşitli jeotermal alanlardan aerobik termofillerin izolasyonları yapılmaktadır (Baker, vd., 2001).

Doğadaki bütün organizmalar hücre yapılarının farklılığına dayanılarak, Archaea, Eubacteria ve Eukarya olarak üç büyük gruba ayrılırlar. (Beldüz, vd., 2003). Hem Archaea hemde Bacteria gruplarını oluşturan termofiller ise, güneşle ısınmış sahalar, jeotermal alanlar, endüstriyel yada biyolojik olarak ısıtılmış kaynaklar gibi yüksek sıcaklıklarda büyürler. Bu mikroorganizmalar genellikle bir dereceye kadar serbest olarak yayılırlar da, termofiller (35-70°C), ekstrem termofiller(55-85 °C),ve hipertermofiller(75-113 °C) olarak üç kategoride gruplandırılırlar (Beffa, vd., 1996).

Genellikle jeotermal alanlarda yayılım gösteren mikroorganizmaların büyük kısmı H, Fe, S bileşiklerini indirgeyerek yaşamını sürdüren litotroflardır (Hugenholtz, vd.,1998). Organik atıkların aerobik şartlarda parçalanması ile ısınmış (65-80 °C), kompostlar içinde ise *Bacillus* ve *Thermus* türlerine rastlanmıştır (Baker, vd., 2001). Prokaryot canlıların 55-60°C' arasında yaşayabilenleri büyük bir çeşitliliğe sahiptir. Bilinen termofillerin %80'i 1980'den sonra tanımlanmıştır. Yüzyılın sonlarında da termofiller üzerine yapılan araştırmalar artmıştır (Jacop, K. Kristjansson, 1995).

Sıcaklığın 53-86 °C, pH değerlerinin 7.0-8.0 arasında değiştiği ortamlarda aerobik olarak gelişebilen spor oluşturmayan, gram negatif basillerden olan, sarı, kırmızı, turuncu, renksiz koloniler oluşturan *Thermus* türlerine rastlamak mümkündür. İlk *Thermus* üyelerinden olan *T. Aquaticus* 1960'da Brock ve Freeze tarafından tanımlanmıştır (Welch, S.G., Williams, R.A.D., 1995).

Günümüzde termofiller ve hipertermofiller, biyolojik sınıflandırma çalışmalarının yanında geniş bir araştırma alanına sahiptir (Madigan, vd., 2000). Bu m.o ların diğerlerinden farkı enzim ve protein özellikleri sayesinde ekstrem şartlara oldukça dayanıklılık gösterebilmeleridir (Shap, R. ve Williams, R., 1992) Bilinen enzimler içinde en yaygın olanı *T.aquaticustan* izole edilen DNA polimeraz dır (Madigan, vd., 2000). Bilim dünyası ekstrem şartlar altındaki enzimlerin dayanıklılığını henüz yeni keşfetmeye başlamıştır. Proteinlerin biyokimyasal ve fiziksel yapısını anlamamız için yapılan bilimsel çalışmalar protein biyokimyası, dayanıklılığı ve kırılması gibi konuları

daha iyi anlamamızı sağlamıştır. (Shap, R. ve Williams, R., 1992). Ancak günümüzde laboratuvar ortamında termofil mikroorganizmaların kültüre alınması ve identifikasyonu ile ilgili yayınlanmış çalışmalarda mevcut mikroorganizmaların varlığının % 1 den daha azının izole edildiği, pek çok mikroorganizmanın ise geleneksel büyüme ortamlarında büyüemedikleri bildirilmiştir. (Beffa, vd., 1996; Hugenholtz, vd.,1998).

Ülkemiz pek çok jeotermal kaynağa sahiptir. İller bankasının yayınlamış olduğu bir çalışmada resmi kayıtlara göre, ülkemizde 134 adet jeotermal saha bulunmaktadır (Anonim, 2001). Bu kaynakların pek çok termofil bakteriyi barındırdığı düşünülmektedir. Buna rağmen ülkemizde bu komünitelerin karakteristiklerini belirlemek için yapılmış çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bizim çalışmamızda termal kaynaklardan izole edilen Gr(-) aerobik basillere, biyokimyasal testler, SDS-PAGE analizleri yağ asiti analizleri, şeker testleri ve enzim testleri uygulanarak, türlerin identifikasyonu ve enzim profillerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmış, termal sahaların enerji ve turizm bakımından önemli olmasının yanında sahip oldukları biyolojik çeşitlilik ve bu çeşitliliğin biyoteknoloji açısından önemi de anlatılmaya çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada Afyon ilinde bulunan Gazlıgöl(74°C), ve Ömer(92 °C), kaplıcalarından sıcak su örnekleri alınmış, termos içine konulan, 250 ml lik vidalı kapaklı şişeler aynı gün laboratuara getirilerek incelemeye alınmıştır (Beldüz, vd., 2003; Beffa, vd., 1996).

Sıcak su örnekleri 250 ml erlenler içine konulan 100 ml lik *Thermus* besi ortamında (Medyum 74), 60-75 °C'de pH 7,5'de inkübe edilmiştir (Hugenholtz, vd., 1998; Holt, vd., 2000; Ballows, vd., 1992).

Büyüme görülen kültürlerden Medyum 74 plaklarına 0,1 ml örnek aktarılmış 60 °C'de optimum büyüme gösteren 6 adet koloni seçilmiş, gram boyama, indol, citrat, nitrat redüksiyonu, katalaz, H₂S üretimi, üre hidrolizi, 37,65,75 °C'de ve pH 5 ve 6 da büyüme ve antibiyotiklere direnç aktivitesini saptama testleri uygulanmıştır (Devrim, Ç., ve Ozan, A., 1999; Tamer, A.Ü, vd., 1989).

SDS-PAGE protein analizleri için, izole edilen proteğin özütleri % 12 lik SDS-Poliakrilamid jele yüklenmiş, önce 80 daha sonra 120 volt. akımda protein yürütme işlemi tamamlanmıştır (Devrim, Ç., ve Ozan, A., 1999 ; Ertan, H., ve Arda, N., 1999; Sambrook, J., vd., 1989).

Bant oluşumu tamamlandıktan sonra jel Coomassie boyama tekniği ile boyanarak görülen bantların protein ağırlıkları UV Band Map programı ile saptanmış, değerlendirmeleri yapılmıştır (Ertan, H., ve Arda, N., 1999 ; Sambrook, J., vd., 1989).

API-ZYM kiti ile enzim içeriklerinin saptanması, *Thermus* agar besi ortamında 24 saat 70°C'de ve nutrient agarda 24 saat 60°C'de geliştirilen kültürlerden alınarak 2 ml hacimdeki distile suda sulandırılan örneklerin yoğunluğu 5-6 McFarland'a göre ayarlanmış, API-ZYM kiti ile enzim içerikleri saptanmıştır.

Yağ asidi analizi için, kültürler 70°C'de 24 saat de, pembe renk oluşturan 101 numaralı Gr(-) şuş ise 60°C'de 24 saat *Thermus* Agar üzerinde geliştirildikten sonra yağ asidi analizi için hazırlanmıştır. Hazırlanan ve 40 µg olarak tartılan her bir kültür, saponifikasyon, metilasyon ve ekstraksiyon basamaklarından sonra, yağ asitleri elde edilmiş, aynı şartlar altında analizleri laboratuvarımızda yapılan standart şuşlar ile kıyaslanarak identifikasyon çalışmaları tamamlanmıştır (Nazina, T.N., vd., 2001; Markosian, S., vd., 2000; Ferreira, A., vd., 1999).

3. BULGULAR

Termal kaynaklardan izole edilen 6 adet şuşa uygulanan biyokimyasal testler sonucunda elde edilen veriler Çizelge.3.1'de gösterilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu, elde edilen 6 izolatin tamamının gram negatif, indol negatif, sitrat ve katalaz pozitif özelliği gösterdiği saptanmıştır. Farklı sıcaklıklarda büyüebilme testlerinde 101 numaralı şuş 75 °C'de büyüme göstermemiştir. pH 5 ve %2 tuz konsantrasyonunda gelişme olmamıştır. Şeker testlerinde, glikoz, maltoz, sakaroz ve salicinin bütün şuşlar tarafından kullanıldığı saptanmıştır.

101 numaralı örnekte anaerobik büyüme gözlenmemiş, diğer şuşlarda zayıf üreme saptanmıştır. Streptomisin, chloramfenicol, vancomisin ve neomicin antibiyotiklerinde üreme tesleri yapılmış, hiçbir örneğin üreme göstermediği saptanmıştır (Huber, R., vd., 1987).

Yapılmış benzer çalışmalarda da *T. thermophilus* ve buna akraba türlerin, Ph 6-10, sıcaklık 60-75 °C aralığında gelişme göstermekte olup maksimum 80 °C'de gelişebildiği bildirilmiştir *T. brockianus*'un *T. aquaticus* ile birlikte bulunduğu, sarı pigment oluşturduğu, mikroskopik incelemede kısa çubuklar şeklinde gram negatif olarak görüldüğü, medyum 74 plakları üzerinde geniş koloniler oluşturduğu, fruktoz, galaktoz ve trehaloz da iyi, glikoz ve galaktoz da zayıf gelişme gösterdiği, kazeini hidrolize ettiği bildirilmiştir (Ralph, vd., 1995).

Bizim çalışmamızda izole ettiğimiz kolonilerimizden, 101 numaralı örnek koyu pembe diğerleri açık ve koyu sarı tonlarındadır. Antibiyotik direnci göstermemeleri, aynı sıcaklıkta bulunabilen archaea türlerine dahil olmadıklarını göstermektedir. Ayrıca tüm şuşlar gram negatiftir ve katalaz pozitifdir, aynı şartlar altında gelişebilen bacillus türleri ise, sporlu gram pozitifdir, katı besi yerinde beyaz koloniler oluşturur (Huber, R., vd., 1987).

Mikroorganizmalar yaşamlarını sürdürebilmek için çevresel şartlara adaptasyonlarını sağlayan çeşitli enzimlere sahiplerdir. Günümüzde sıcak su kaynakları üzerinde gelişen termofiller ile ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların çoğu yüksek sıcaklığa direnç gösteren termofil enzimlerin araştırılması üzerinedir. Son yıllarda bakteriyal kaynaklardan 2400'ün üzerinde endonükleaz enzimi identifiye edilmiş, bu enzimlerin 220'sinin farklı özellik gösterdiği ve bu enzimlerin özellikle *Thermus* ve *Bacillus stearothermophilus* türlerinden izole edildiği bildirilmiştir (Welch, S.G., ve Williams, R.A.D., 1995).

Çizelge 3.1. Gram negatif suşların biyokimyasal test sonuçları.

	101	331	333	335	337	385
Hücre boyutu µm	6-7µm	3-4µm	2 µm	2-3µm	4-5µm	2-2.5µm
Koloni özelliği	Turuncu-	Şeffaf-mat	Açık sarı	Koyu sarı	Koyu	Koyu sarı
Gr boyama	-	-	-	-	-	-
İndol	-	-	-	-	-	-
Sitrat	-	-	-	-	-	-
Nitrat	-	-	+	-	+	+
Katalaz	+	+	+	+	+	+
Üre	+	-	-	-	+	+
37°C	-	-	-	+	-	-
65°C	+	+	+	+	+	+
75°C	-	+	+	+	+	+
PH-5	-	-	-	-	-	-
PH-6	+	+	+	+	+	+
NaCl-%1	+	-	+	+	+	+
NaCl-%2	-	-	-	-	-	-
Glikoz	+	+	+	+	+	+
Laktoz	+	+	+	-	+	+
Maltoz	+	+	+	+	+	+
Sakaroz	+	+	+	+	Z	+
Fruktoz	-	-	-	-	+	-
Salicin	+	+	+	+	Z	+
Rafinoz	+	-	+	Z	Z	-
Galaktoz	+	Z	Z	+	+	+
Opt. pH	7	7	7	7	7	7
Opt. Sıcaklık	60	75	75	75	75	75
Anaerobik by.	-	Z	Z	Z	Z	Z

+: %90 yada daha fazla suş pozitif sonuç, -:%10 negatif Negatif sonuç, d: %11-89 pozitif sonuç, Z: zayıf üreme. İzole edilen suşlar, izolasyon yerine göre kodlanmıştır. Gazlıgöl 101, Ömerli, 331, 333, 335, 337, 385

Bizim çalışmamızda izole edilen altı adet termofilik bakteri izolatına çeşitli enzimlerin testleri uygulanmış, bunlardan çok yoğun oranda bulunanları tespit edilmiştir (Çizelge 3.2)

Çalışmamızda izolatlarımızın tamamının alkalın fosfotaz, esteraz (C4), esteraz lipaz (C8), asid fosfotaz, naftol-AS-BI- fosfohidrolaz, α-glukozidaz enzimlerini çok yoğun oranda ürettikleri saptanmıştır.

Yüksek sıcaklıklara adapte olmuş *Thermus* türlerinin sahip olduğu enzimler mezofillerin enzimlerine göre sıcaklığa daha dayanıklıdır. Bilinen enzimler içerisinde en yaygın olanı *T. aquaticus* dan izole edilen Taq DNA Polimerazdır(Madigan, vd., 2000). Thermal dayanıklılığa sahip enzimler ise şunlardır; Laktat dehidrojenaz, Malat dehidrojenaz, İzositrat dehidrojenaz, 3-izopropanol dehidrojenaz, Ferrodoksin, GALP dehidrojenaz, L-alanin dehidrojenaz, NADH dehidrojenaz, NADH oksidaz, Katalaz, Superoksit dismutaz, Sitokromlar, tRNA metil transferaz, RNA polimeraz, DNA polimeraz, Proteaz, Amilaz, Glikozidaz, Pullulanaz, Alkalın fosfotaz, Ribonükleaz, Asparginaz, İnorganik fosfotaz, ATPaz, DNA endonükleaz, Anthranilat sentetaz, Enolaz, Fumaraz, Tripton sentetaz, D-Ksiloz isomeraz, Aminoaçilsentetaz, CoA sentetaz, DNA ligaz (Da Costa, M.S., 1995).



Çizelge 3.2. Gr(-) örneklerde tespit edilen enzimler ve yoğunluk düzeyleri.

No	Enzim	101	331	333	335	337	385
	Control						
1	Alkalin fosfotaz	+++	+++	+++	+++	+++	+++
2	Esteraz (C4)	+++	+++	+++	+++	+++	+++
3	Esteraz lipaz (C8)	+++	+++	+++	+++	+++	+++
4	Leusin arilamidaz	+	+++	+	++	+++	+++
5	Asid fosfotaz	+++	+++	+++	+++	+++	+++
6	Naftol-AS-BI- fosfohidrolaz	+++	+++	+++	+++	+++	+++
7	β-galaktozidanidaz	+++				+++	
8	α-glukozidaz	+++	+++	+++	+++	+++	+++
9	β-glukozidaz	+++	+++		+++	+++	+++

Enzimin miktar değerleri (+-Minimum, +++-Maksimum)

Enzimler üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Thermal kaynaklardan izole edilen *Thermus* cinsleri ile yapılmış bir çalışmada, 152 restriksiyon endonukleaz enzimi varlığı araştırılmış, 27 izolatta *TaqI* izoizomerin varlığı ve bunlarda 6 adet suşta bulunan enzimin ise farklı olduğu saptanmıştır(Welch, S.G., vd., 1998). Diğer bir çalışmada ise farklı *Thermus* türlerinden izole edilen iki farklı *TaqI* endonukleaz, *E.coli* içine klonlanmış, saflaştırılmış ve özelliklerini belirleme çalışmaları yapılmıştır. İzole edilen *tsp321*'in sığağa daha dirençli olduğu, 90°C'de aktivitesini sürdürdüğü bildirilmiştir(Cao, W., vd., 1998).

İzole edilen altı adet Gram (-) izolatın ve referans olarak kullanılan suşların yağ asidi analiz sonuçları çizelge 3.3 ve3.4 de verilmiştir.

İncelenen suşların tümünde 13:0 iso yağ asidi değerleri birbirine yakın oranda saptanmıştır. Bu yağ asidi kontrol olarak kullandığımız on üç adet bakteriden *T. igniferrae 12460* haricindeki bütün suşlarda birbirine yakın değerlerde saptanmıştır 15:0 iso en yüksek 101, 15:0 anteiso en yüksek 385 numaralı suşta, 16:0 iso en yüksek 333 numaralı suş, 16:0 en yüksek 331 numaralı suşta, 17:0 iso en yüksek 385 numaralı suşta, 17:0 anteiso en yüksek 385 numaralı suşta saptanmıştır. 101 numaralı izolatımızın kontrol olarak kullandığımız bakterilerimizden, *T. thermophilus* HB27, *T. ruber*, *T. oshima* CB-I, *T. igniferrae 12460*, *T. thermophilus* IB21'e 15: iso yağ asidi oranı bakımından benzer özellikte olduğu tespit edilmiş, 16:0 iso değeri ise, *T. ruber*, *T. thermophilus* HB27, *T. thermophilus* IB21 ile benzer bulunmuştur.17:0 iso ve anteiso değerleri ise, *T. ruber* ve *T. igniferrae 12460* ile benzerlik göstermiştir.

Yapılan Yağ asidi analizi ve SDS-PAGE analizi çalışmaları için *Thermus brockianus* YS38, *Thermus thermophilus* HB27, *T. oshimai* CBI, *T.igniferrae 12460*, *T.thermophilus* IB21, *T. filiformis* Wai , *T.oshimai* SPS8, *T.brockianus* Ys30, *T.aquaticus* Ysq, *T.thermophilus* HB8, *T.antrankiani 12462*, *T.filiformis* Tok22, *T.aquaticus* Ys48, *T.brockianus* Ys34. suşları referans olarak kullanılmıştır. SDS-PAGE

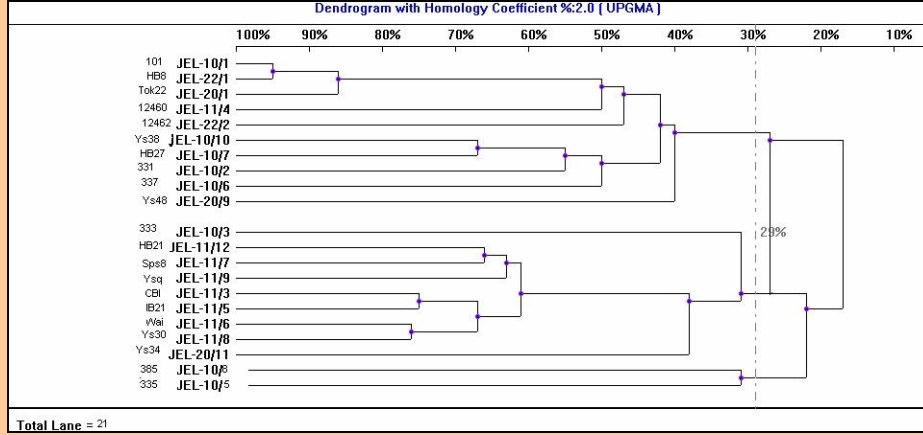
analizi sonuçları UV Band Map programı kullanılarak değerlendirilmiş, soy ağacı çıkarılmıştır (Şekil 3.1).

Çizelge 3.3. Gr(-) Basillerde yağ asidi analizi sonuçları.

Yağ asidi	101	331	333	335	337	385	T.rub	Hb27	Ysq	Tok22
11:0 iso	0,36						0,21	0,17		
13:0 iso	0,60	0,77	0,54	0,46	0,93	0,32	0,80	0,66		0,25
13:0 3OH	1,25									
14:0 iso		1,21	1,82	1,03	0,60	1,44		0,53		
14:0 anteiso							0,73			
14:0			0,48	0,35	0,23	0,25	0,35	0,30	1,67	0,34
15:0 iso	44,43	31,82	22,77	23,28	47,16	17,87	53,57	44,48	28,6	12,86
15:0 anteiso	2,36	3,07	3,15	4,08	6,11	3,89	4,76	3,57	1,95	22,88
15:1 iso F	1,11						1,41			
15:1 w8c							0,21			
16:1 w9c							0,29			
16:0 iso	2,36	5,85	24,44	8,65	3,63	16,08	2,78	2,41	7,14	1,23
16:0	14,29	17,55	7,30	7,09	5,22	8,22	2,46	8,57	26,5	5,26
Iso17:1w9c	3,03						3,60			
iso7:1w10c		7,99	0,38	2,66		0,22		3,57		1,41
17:0	1,65		0,69		0,76	0,81	0,74			0,65
17:0 iso	24,59	28,27	30,28	43,24	29,22	40,37	22,37	32,65	30,2	2,01
17:0 antesio	2,82	2,53	5,14	5,65	4,97	8,38	2,69	2,60	1,48	32,08
17:0iso OH	1,14				0,40		1,54			
17:1 w6c							0,46			
17:1 w8c							0,47			
18:0			1,57	2,68		0,30		0,22	2,38	1,09
18:0 iso			1,26	0,84		1,44				
Sum inFtr 4		0,44			0,52			0,17		1,58

Çizelge 3.4. Referans olarak kullanılan termus suşlarının yağ asidi analizi sonuçları

Yağ asidi	Ys48	wai	Hb8	Ys34	Sps8	cbı	12460	lb21	Ys30
11:0 iso				0,22			0,10	0,11	
13:0 iso	0,72		0,37	0,55	0,35	0,98	2,25	0,74	0,63
13:0 3OH					2,46				
14:0 iso	0,25	0,74	3,10	3,01		0,44	0,33	0,58	1,61
14:0	0,39			0,32	0,40	0,62	0,42	0,85	1,46
15:0 iso	38,65	16,92	22,11	17,92	19,20	48,12	54,76	40,20	35,61
15:0 anteiso	4,85	15,25	8,84	2,46	6,36	3,24	3,47	2,32	1,93
16:0 iso	1,48	5,86	21,73	46,91	20,78	1,66	1,14	2,80	10,40
16:0	6,55	4,18	3,65	4,56	7,26	6,97	6,03	10,42	8,23
iso 17:1w10c	1,28	0,67	0,25		0,77	0,43	2,56	0,38	2,12
17:0	0,71			0,29	0,39	0,90	0,40	1,36	
17:0 iso	39,73	30,20	29,19	19,37	30,46	33,50	23,55	32,51	35,13
17:0 antesio	3,86	23,67		2,40	9,47	2,26	1,47	1,92	2,17
17:0 iso 3OH							0,12	0,19	
18:0	0,75	1,51	0,59		1,00	0,87	1,88	3,78	0,73
18:0 iso				1,42					0,53
18:3 w6c								0,39	
18:1w9c							0,34	0,33	
Sum in Ftr 4							0,14		



Şekil 3.7: SDS PAGE jel analizi sonuçlarının dendrogram yapılarak değerlendirilmesi

Tüm veriler değerlendirildiğinde ise, izole ettiğimiz altı adet suşun *Thermus* ve *Meiothermus* cinslerine ait oldukları saptanmıştır (Çizelge 3. 5).

Çizelge 3.5 Test sonuçlarının genel değerlendirilmesi

Örnek No	Biyokimyasal test	Yağ asidi analizi
101	<i>Meiothermus</i>	<i>Meiothermus</i>
331	<i>Thermus</i>	
333	<i>Thermus</i>	<i>T. aquaticus</i>
335	<i>Thermus</i>	<i>T. aquaticus</i>
337	<i>Thermus</i>	<i>T. aquaticus</i>
385	<i>Thermus</i>	<i>T. aquaticus</i>

4. SONUÇLAR

Termal kaynaklar yönünden son derece zengin olan ülkemizin biyolojik zenginliklerinin araştırılması ve bunlardan verimli şekilde yararlanılması amacıyla hazırladığımız çalışmamızda, Afyonkarahisar İli Gazlıgöl ve Ömer kaplıcalarından sıcak su örnekleri alınmış ve termofilik çeşitlilik belirlenmeye çalışılmıştır. *Thermus* ve *Meiothermus* cinslerine ait olduğu saptanan izolatlarımıza enzim testleri de uygulanmıştır. Bu testler sonucunda varlığını tespit ettiğimiz enzimlerin oldukça yüksek sıcaklıklarda bozulmadan kalabildiği ve günümüzde ticari olarak kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin Alkalın fosfotaz, yüksek hassasiyetle çalışan enzimlerin etiket yerlerinin

belirlenmesinde, esteraz, ester sentezinde, α -glukozidaz, nişastanın hidrolizi sırasında açığa çıkan oligosakkaritlerin parçalanmasında kullanılmaktadır.

Biyolojik çeşitlilik açısından son derece zengin olan ülkemizde sadece yer üstündeki su kaynaklarında değil yer altındaki kaynaklarımızda da oldukça zengin bir yaşam potansiyelinin olduğu bilinmeli ve bu potansiyel verimli olarak değerlendirilmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Baker. G.C., Gaffer. S., Cowan. A. D., Suharto. A.R., (2001). Bacterial Community Analysis of Indonesian Hot Springs. *Fems Microbiology Letters* 200:103-109
- Beldüz. A.O., Dülger.S., Demirbağ.Z., Ertürk.Ö., (2003) *Anoxibacillus gonensis* sp. nov., thermophilic, xylose-utilising, endospore-forming bacterium, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 1315-1320
- Beffa. T., Blanc. M., Lyon.P.F., Vogt. G., Marchiani.M., Fischer.L.J., (1996). Isolation of *Thermus* Strains from Hot Compost (60 to 80°C). *Applied Environmental Microbiology*, 62:1723-1727
- Hugenholtz, P., Pitulle,C., Hersberger. K.L., and Pace. N.R., (1998) Novel Division Level Bacterial Diversity in a Yellowstone Hot Spring. *Journal of Bacteriology*, 180:366-376
- Jacob K. Kristjansson. (1995)., *Thermophilic bacteria*. Technological institute of Iceland and University of Iceland. Reykjavic, Iceland
- Welch, S.G., ve Williams, R.A.D. (1995). Taq52 I, a novel and thermostable type II restriction endonuclease from the genus *Thermus*, recognising the pentanucleotide sequence GV(A or T)GC and cleaving DNA between the first and second bases of the recognition sequence: G↓C(A or T)GC, *Nucleic Acid Research*, 23, 4573-4575.
- Madigan, M.T., Martinco, J.M. ve Parker, J., (2000). *Prokaryotic diversity the Archaea*. Brock Biology of Microorganisms, (Ed: Corey, P.F.) 546-571
- Shap, R., Williams, R., (1992). *Biotechnology Handbooks*. Salisbury, Wiltshire, England.
- Anonim., İller Bankası., Kaplıcaya Sahip Balediyeler Birliği (2001).
- Holt.G.J., Kriger. N.R., Sneatra. P.H.A., Stanley. J.T., Williams. S.T., (2000). *Bergey's Manuel of Determinatif Bacteriology*. Ninth Edition
- Ballows. A., Trüper. H. G., Dworkin. M., Harden. W., Scleifer. K-H., (1992). *The Prokaryotes Second Edition*. Springer-Verlag.
- Devrim. Ç., Ozan. A., (1999). Isolation and Optimization of Conditional of Thermophilic Bacteria from Turkish Soil and Hot Springs. *Ortadoğu Teknik Üniversitesi.Biyoloji Bölümü Yüksek Lisans Tezi*.
- Tamer.A.Ü., Uçar.F., Ünver.E., Karaboz.İ., Bursalıoğlu.M., Oğultekin.R., (1989).3-4 Sınıf Laboratuvar Klavuzu. Anadolu Üniversitesi, Yayın No:74. s:81-90
- Biyoteknolojide termofilik ve Halofilik Bakteriler. (2002). Ege Üniversitesi Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi(EBİLTEM) s.20
- Ertan. H., Arda. N., (1999). Proteinlerin izolasyonu ve saflaştırılması. *Moleküler biyolojide kullanılan yöntemler*. Nobel Tıp Kitapevi 1999 s:115-183.
- Sambrook. J., Fritsch. E.F., Maniatis. T., (1989). *Molecular Cloning A Laboratory Manual*. Cold Spring Harbour Labrotory Prees.
- Nazina, T.N., Tourova, T.P., Poltarous, A.B., Novikova, E.V., Grigoryan, A.A., Ivanova,A.E., Lysenko, A.M., Petrunkaya, V.V., Opisov, G.A., Belyaev, S.S. ve

- Ivanov M.V., (2001). Taxonomic study of aerobic thermophilic bacilli: description of *Geobacillus subterraneus* gen. Nov., sp. nov. and *G. Uzenensis* sp. nov. from petroleum reservoirs and transfer of *Bacillus stearothermophilus*, *B. thermocatenulatus*, *B. thermoleovarans*, *B. kaustophilus*, *B. thermoglukosidasius* and *B. thermodenitrificans* to *Geobacillus* as the new combinations *G. stearothermophilus*, *G. thermocatenulatus*, *G. thermoleovarans*, *G. kaustophilus*, *G. thermoglukosidasius* and *G. Thermodenitrificans*. *IJSEM.*, 51, 433-446.
- Markosian, S., Becker, P., Markl, H. ve Antranikian, G., (2000). Isolation and characterization of lipid- degrading *Bacillus thermoleovarans* IHI-91 from an icelandic hot spring, *Extremophiles*, 4, 365-371
- Ferreira, A. M., Wait, R., Nobre, M. F. ve Da Costa M. S., (1999). Characterization of Glycolipids from *Meiothermus* spp. *Microbiology.*, 145, 1191-1199
- Huber, R., Kristjanson, J.K. ve Steter, K.O., (1987). *Ptyobaculum* gen. Nov., a new genus of neutrophilic, rod shaped archaeobacteria from continental solfatars growing optimally at 100°C, *Arch Microbiol*, 149, 95-101
- Ralph A.D. Williams., Kelvin E. Smith., Simon G., Welch., Janice Micallef., Richard J. Shap., (1995). Dna Relatedness of *Thermus* Strains, Description of *Thermus brockianus* sp. Nov., and Proposal To Reestablish *Thermus thermophilus* (Oshima and Imahori). *IJSB*. July , p. 495-499
- Huber R, ve Steter K.O. (1994). The Order Thermoprotales. *Prokaryotes*. Prokaryotes (Ed: Balows A., Türüper H.G., Dworskin M., Harder W., Schleifer K.H.), Springer-Verlag New York., 677-683.
- Welch, S.G., ve Williams, R.A.D., (1995). Taq52 I, a novel and thermostable type II restriction endonuclease from the genus *Thermus*, recognising the pentanucleotide sequence GV(A or T)GC and cleaving DNA between the first and second bases of the recognition sequence: G ↓C(A or T)GC, *Nucleic Acid Research*, 23, 4573-4575.
- Da Costa, M. S., (1995). The cell wall and lipids of *Thermus* (Ed: Sharp R., Williams R.), Plenum Press, New York., 143-153.
- Colacino, F. ve Crichton R.R., (1997)., Enzyme thermostabilization: the state of the art. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 14, 211-271
- Welch, S.G., Al-Awadhi, S. ve Williams, R.A.D., (1998). Isoschizomers of the restriction endonuclease TaqI (T/CGA) requiring different metal ion concentrations and having a range of thermal stabilities from *Thermus* species from different continents, *Microbiology*, 144, 167-175
- Cao, W., Lu, J., Welch, S., Williams, R.A.D. ve Brany, F., (1998)., Cloning and thermostability of TaqI endonuclease isoschizomers from *Thermus* species SM32 and *Thermus filliformis* Tok6A1, *Biochem. J.*, 333, 425-431