



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

JEOTERMAL SULARIN ÇEVREYE ETKİSİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK ÖNLEMLER

**CELALETTİN ŞİMŞEK
ORHAN GÜNDÜZ
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**



JEOTERMAL SULARIN ÇEVREYE ETKİSİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK ÖNLEMLER

Some Measures to Reduce the Impact of Geothermal Waters on the Environment

Celalettin ŞİMŞEK
Orhan GÜNDÜZ

ÖZET

Batı Anadolu jeolojik yapısı itibari ile önemli jeotermal potansiyele sahip bölgelerimiz arasındadır. Farklı sahalardan üretilen jeotermal akışkanlar, elektrik üretimi, kentsel ısıtma ve yer yer de seracılıkta kullanılmaktadır. Özellikle Ege Bölgesi, graben alanlarında yoğunlaşan önemli jeotermal sahaları barındırmaktadır. Bu sahalarda son yıllarda, derinliği zaman zaman 4000 m'lere kadar ulaşan çok sayıda araştırma ve üretim amaçlı sondaj açılmıştır. Bu sondajlardan üretilen akışkanların üretim amacına uygun olarak kullanıldıktan sonra re-enjeksiyon kuyuları ile rezervuara geri basılması gerekmektedir. Bu şekilde sağlanacak bir kapalı döngü ile sıcak su sağlayan rezervuarın sürdürülebilirliği temin edilebilmekte ve çevresel açıdan da olası kirlenmelerin önüne geçilebilmektedir. Özellikle Batı Anadolu'daki jeotermal sularda yüksek seviyelerde bulunan bor ve arsenik, yüzey ve yeraltı suları açısından ciddi riskler içeren ve yüksek toksisitesi olan kirleticiler arasındadır. Sıcak akışkanların üretildiği graben sahaların aynı zamanda ülkemizin en önemli tarımsal üretim alanlarını oluşturmaları ve bölgede içme ve kullanma suyu sağlayan yeraltı suyu akiferlerini de barındırmaları, jeotermal akışkan üretiminin dikkatli ve tekniğine uygun olarak yapılmasını zaruri kılmaktadır. Bu bağlamda, sondajların açılması ve işletme aşamalarında gözlenen problemler ve atık sıcak akışkanın yüzey ve yeraltı sularına gelişigüzel deşarjı, su kaynaklarımızı ve tarım sahalarımızı doğrudan etkilemektedir. Bu bakımdan işletmeye açılacak sahaların, planlanan sondaj faaliyetleri öncesinde, sondajlar açılırken ve işletme esnasında sürekli olarak izlenmesi önem taşımaktadır. Bu izleme faaliyetinin özellikle yüzeysel akiferde açılacak olan gözlem kuyuları yardımıyla yapılması ve bu akiferdeki yeraltı suyunun seviyesinin ve fizikokimyasal özelliklerinin takibi şeklinde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yapılacak sürekli gözlemler sayesinde sahada oluşması olası problemlerin anında tespit edilmesi ve gerekli müdahalelerin hızlı bir şekilde yapılması mümkün olabilecektir. Bu çalışmada, jeotermal sahalarda yürütülmesi gereken bu gözlem faaliyetlerinin nasıl ve ne şekilde yapılması gerektiğine dair detaylar verilmekte ve öneriler sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Jeotermal akışkan, yeraltı suyu, çevresel kirlenme, gözlem faaliyetleri

ABSTRACT

Based on its geological structure, western Anatolia is one of the regions with important geothermal potential. Geothermal fluid extracted from different sites in the region is utilized for electricity generation and district and greenhouse heating. Aegean region, in particular, has significant geothermal fields that are concentrated along graben plains. Numerous exploration and production wells that reach up to 4000 m of depth were recently drilled in these fields. The geothermal fluid produced from these wells should be re-injected back to the hot water reservoir after its heat content are used according to the purpose of use. Such a closed cycle operation can maintain the sustainability of the reservoir that supply the hot water and can prevent potential contamination of the environment. Geothermal fluid in western Anatolia is extremely rich in boron and arsenic, which are considered to have high toxicity and associated crucial risks for surface and subsurface waters. The hot waters produced in this area are mostly extracted from graben plains that are also considered to

be important agricultural production areas of the country and contain aquifers that provide groundwater for drinking purposes. Thus, geothermal fluid production in these areas should be done carefully by following all technical guidelines. In particular, problems observed during drilling and operation phases and problems associated with uncontrolled discharge of waste geothermal fluid to surface and subsurface waters directly influence our water resources and agricultural lands. Therefore, it is important that all geothermal fields need to be monitored on a continuous basis prior to drilling operation, during drilling operation and during operation phases. These monitoring activities need to be conducted via monitoring wells drilled in the surface aquifer and should include tracking of the groundwater level and physicochemical properties of groundwater in the aquifer. Continuous monitoring of field conditions will allow early detection of potential problems and faster response times to mitigate them. This study presents the details on how such monitoring activities should be conducted in geothermal fields and on how necessary precautionary measures are to be taken.

Keywords: Geothermal fluid, groundwater, environmental pollution, monitoring activities

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu günümüz itibari ile 7,44 milyardır. Ancak bu nüfus dünya üzerinde eşit olarak dağılmamakta ve başta Çin, Hindistan, ABD, Endonezya ve Brezilya olmak üzere belli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Hızlı artan nüfus artışının beraberinde getirdiği enerji ihtiyacı nedeniyle fosil yakıtlar yoğun olarak kullanılmaktadır. Günümüzde petrol, doğalgaz ve kömürün kullanım oranları sırasıyla %35, %31,4 ve %22'dir. Tüm fosil yakıtların toplamı ise %80 üzerinde ve çok yüksek orana karşılık gelmektedir. Gelecek yıllarda bu oranın daha da artması beklenmektedir [1]. Fosil yakıtların araştırılması, üretimi ve tüketilmesi aşamalarında çevreye önemli oranda kirlenmeye sebep olmakta ve buna bağlı önemli çevresel tahribatlar ortaya çıkmaktadır. Eldeki verilere göre, enerji kaynaklı olarak küresel ölçekte 22,5 milyar ton karbondioksit atmosfere salınmıştır. Bu salımda, petrol, kömür ve doğalgaz tüketimi oldukça büyük bir paya sahiptir [2]. Bu kadar emisyonun atmosfere salınması günümüzde önemli bir sera etkisi riski ortaya çıkartmış durumdadır. Söz konusu emisyonları azaltmak ve daha sürdürülebilir bir enerji temini politikası oluşturabilmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları araştırılmaktadır. Özellikle rüzgâr, güneş ve jeotermal enerjiden yararlanma olanakları incelenmekte olup bu kaynakların toplam enerji üretimi içerisindeki payı giderek artmaktadır [1].

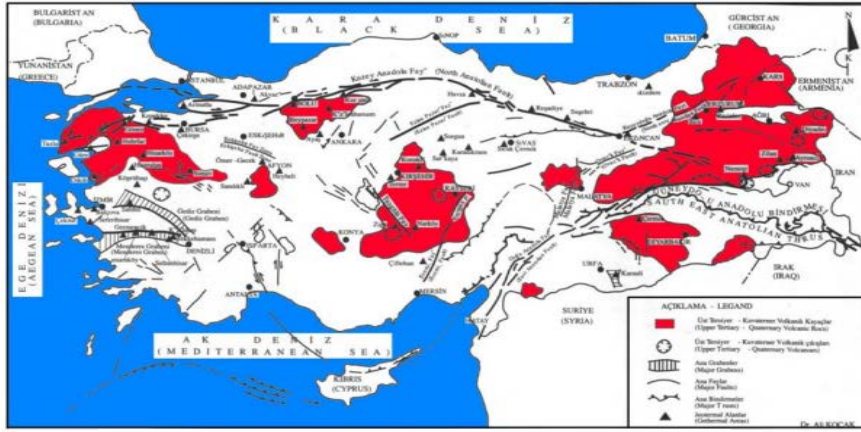
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerji ülkemiz genelinde büyük önem kazanmıştır. Türkiye jeotermal potansiyeli açısından dünyada 7. sırada yer almaktadır. Bu konumuyla jeotermal enerjinin ülkemiz için önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu görülmektedir [2]. Özellikle Batı Anadolu, jeolojik yapısı itibari ile jeotermal faaliyetler açısından en yoğun bölgelerimizden biridir. Bu bağlamda bilhassa Ege Bölgesi'ndeki graben alanlarda çok sayıda jeotermal saha tespit edilmiş ve bunların bazıları işletmeye alınmıştır. Bu graben sahalarında derinlikleri yer yer 4000 m'ye ulaşan jeotermal kuyular yardımıyla sıcak akışkan üretimi yapılmakta, üretilen akışkan da çoğunlukla elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, son zamanlarda jeotermal araştırma ve üretim faaliyetleri esnasında ortaya çıkan bazı eksikliklerden dolayı çevresel olumsuzluklar yaşanmaya başlanmıştır [3, 4]. Bu çerçevede, jeotermal suların çevresel risklerini en aza indirmek için alınabilecek önlemler bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

2. JEOTERMAL FAALİYETLER VE ÇEVRESEL İLİŞKİLERİ

Jeotermal sular bir hidrojeolojik sistem içerisinde bulunan ve diğer akışkanlara göre farklı özelliklere sahip sulardır. Jeotermal suların oluşması için yeterli beslenme alanı, sıvı ve/veya gaz akışkan, ısı kaynağı, rezervuar ve örtü kaya uygun koşullarda bulunmalıdır. Jeotermal kaynak ve/veya doğal mineralli sular bu şartların bir araya gelmesi sonucu yerüstüne kendiliğinden çıkmakta veya insan eliyle yüzeye çıkartılarak üretilmektedir. Bu bağlamda jeotermal sistemler kendine özgü jeolojik yapısı, hidrojeolojik özellikleri ve kimyasal bileşimi olan sistemlerdir [5]. Türkiye geneline bakıldığında mevcut

jeotermal sistemlerin genellikle derin jeolojik yapıların içerisinde bulunan rezervuar kayalarının içerisinde yer aldığı görülmektedir. Jeotermal sular gibi diğer akışkanlar (ör. petrol ve doğal gaz gibi hidrokarbonlar) da yeraltındaki rezervuarlarda bulunan doğal zenginlikler olup dünyanın pek çok bölgesinde derin hazne yapıları içerisinde yer almaktadır. Bu akışkanları barındıran rezervuarların üzerinde ise tüm canlıların hayat kaynağı olan tatlı yeraltı suyu akiferleri bulunmaktadır. Dolayısı ile derin rezervuarlarda yer alan söz konusu akışkanlara ulaşım bunları yer yüzeyine çıkartmak için bulunduğu rezervuar kayasının üst kesimlerindeki tatlı su akiferlerini geçmek gerekmektedir. Ancak bunu yaparken tatlı su akiferlerinin korunması hayati önem taşımaktadır. Gerekli önlemlerin alınması ile bu sistemlerin birbirine karıştırılmadan işletilmesi mümkündür.

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Jeotermal sahaların dağılımlarına bakıldığında volkanizma faaliyetlerinin bulunduğu alanlar ile çöküntü (graben) alanlarının öne çıktığı görülmektedir. Türkiye Jeotermal Sahalar dağılım haritası Şekil 1'de gösterilmektedir. Buna ek olarak, farklı derinliklere göre yapılan yeraltı sıcaklık dağılımları incelendiğinde de Ege Bölgesi graben alanlarının en önemli sahaları barındırdığı anlaşılmaktadır (Şekil 2). Haritadan da görüleceği üzere, Ege Bölgesi yüksek sıcaklığa sahip alanlar, Orta Anadolu ise göreceli olarak orta sıcaklığa sahip alanlar olarak görülmektedir.



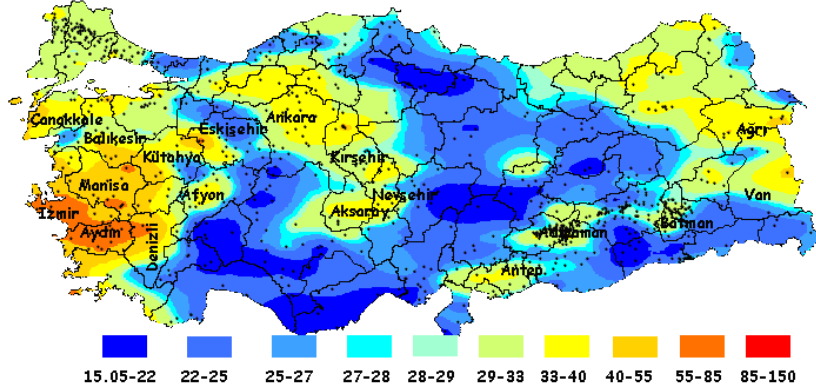
Şekil 1. Türkiye jeotermal alanlarının dağılım haritası [6].

Yüksek jeotermal potansiyele sahip Ege Bölgesi'ndeki jeotermal sistemler çoğunlukla graben (çöküntü) havzalarında yoğunlaşmaktadır (Şekil 1). Bu çöküntü alanları ayrıca büyük nehir havzalarını barındıran alanlardır. Gediz, Büyük Menderes, Küçük Menderes gibi havzalar büyük nehir havzaları olarak tarif edilmekte ve ülkemizin önemli su havzalarını oluşturmaktadır [8]. Büyük nehir havzaları hem yüzeysel su kaynakları hem de verimli tarım alanları açısından oldukça zengin kesimlerdir. Bu havzaların önemli jeotermal sistemleri de beraberinde bulundurması, bu alanlardaki jeotermal sistemin çok dikkatli işletilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

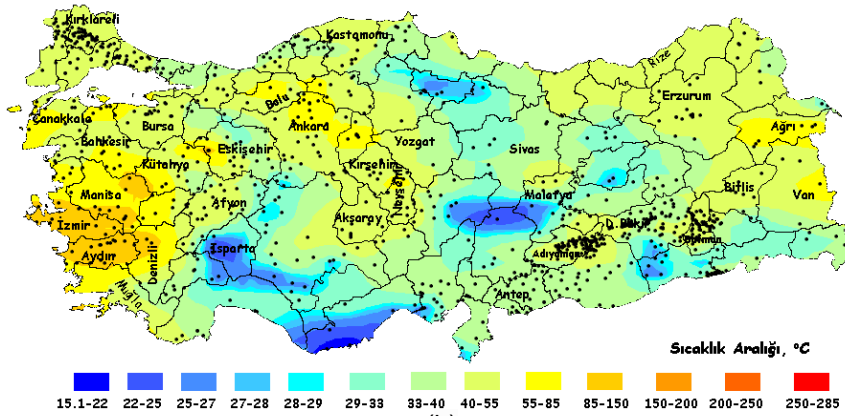
Ege Bölgesi'nin oldukça büyük bir jeotermal potansiyele sahip olması, son yıllarda önemli sayıda araştırma ve üretim kuyusunun açılmasına neden olmuştur. Sözü edilen kuyular genelde ova kesimlerinde yer almakta ve kuyularda graben faylarının kesilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, açılan sondajlarda büyük çoğunlukla Kuvaterner pekleşmemiş alüvyonlar ve Neojen kırıntılı birimlerde ilerlenmekte ve en son olarak da temel kayasına girilmektedir. Çok büyük bir yapısal değişiklik olmadığı durumlarda bu tip bir jeolojik yapıya uygun olacak Şekil 3'de verilen kuyu planı uygulanmaktadır.

Şekil 3'de verilen kuyu planı jeolojik yapıya göre değişiklikler gösterebilmekte ise de Ege Bölgesi'ndeki jeotermal kuyularda yaygın olarak uygulanmaktadır. Ancak sahada detaylı jeolojik çalışma gerçekleştirilmeden yapılan sondajlarda önemli sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunların bazılarını son yıllarda hem bilimsel platformlarda hem de medyada sıklıkla rastlanmaktadır. Sondaj ve işletme faaliyetleri esnasında yaşanan bu sorunlar, jeotermal enerjiye olan toplumsal bakış açısını olumsuz etkilemekte ve çevresel riskleri az olarak değerlendirilen bu kaynağa olan algının değişmesine neden olmaktadır. Özellikle 2012 yılında Alaşehir Ovası'nda meydana gelen jeotermal patlama ve kuyudan meydana gelen fışkırtma toplumun geniş kesimlerinde jeotermal enerjiye karşı olumsuz bir ön yargı

oluşmasına neden olmuştur. İlerleyen yıllarda yine aynı yörede açılan soğuk su sondajlarından da sıcak su gelmesi gibi sorunlar, jeotermal enerji ile ilgili yatırımların bir mühendislik projesi gibi düşünülmesi, planlanması ve uygulanmasının gerekliliğini ortaya koymuştur [4, 9]. Bunlara ek olarak Aydın Ovası'ndaki sahalarda işletme aşamasında çevreye kontrolsüz bir şekilde atık jeotermal akışkan bırakılması da, yarattığı çevresel riskler ile yöre halkının jeotermal yatırımlarına olan olumlu bakış açısının değişmesine neden olmaktadır.

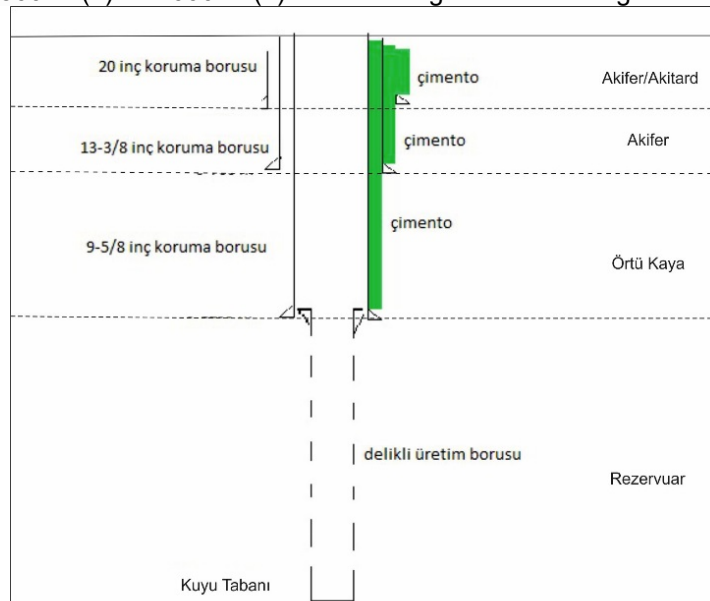


(a)



(b)

Şekil 2. 500 m (a) ve 1000 m (b) derinliklere göre sıcaklık dağılım haritaları [7].



Şekil 3. Tipik bir jeotermal kuyu planı

Tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi Ege Bölgesi'nde bulunan ve çoğunluğu verimli tarımsal ovalar üzerinde yer alan bu sahalarda da, çevre kalitesinin ve jeotermal sistemin korunması ve kaynağın israf edilmemesi için en önemli noktanın tekniğine uygun ve sistematik bir şekilde yapılacak re-enjeksiyon (geri basma) uygulaması olduğu görülmektedir. Üretilen jeotermal suların kullanım sonrasında re-enjeksiyon kuyuları yardımıyla, çıkartıldıkları derinliklere basılması olarak tanımlanabilecek re-enjeksiyon uygulamalarının tavizsiz ve ciddi bir şekilde gerçekleştirilmesi, kaynağın ve jeotermal enerjiye olan toplumsal kabulün sürdürülebilirliği açısından büyük önem arz etmektedir [10]. Bu durumun jeotermal yasası ile hukuksal bağlayıcılığa kavuşması önemli olmakla birlikte, asıl dikkat edilmesi gereken konunun uygulamadaki hassasiyet olduğu unutulmamalıdır.

3. JEOTERMAL FAALİYETLERDE YAŞANAN SORUNLAR

Jeotermal faaliyetlerin en önemli aşamaları sondajın açılması, üretim testlerinin yapılması, re-enjeksiyon kuyusunun açılması, üretim tesislerinin kurulması ve sahanın işletmeye alınması olarak sayılabilir. Tüm bu faaliyetler sırasında sıcak akışkanın çevreye veya su kaynaklarına verdiği zararlar çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [9,11]. Bu faaliyetlerin birçoğu yüzeysel sulara yapılan deşarjlardan kaynaklı kirlenmelere neden olmaktadır. Jeotermal akışkan içerdiği yüksek mineral muhtevası nedeniyle doğal sular için kirlenici niteliğindedir. Batı Anadolu'da yapılan çalışmalarda jeotermal sularda doğal çevre ve su kaynakları açısından toksik etkisi olan bor ve arsenik elementlerinin yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir [11]. Özellikle Ege Bölgesi'ndeki jeotermal sulardaki bor ve arsenik değeri yer yer 3 mg/L değerine kadar ulaşabilmektedir [9,11]. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik [12] kapsamında içme amacıyla kullanılacak sularda olması gereken üst limitlerin oldukça üzerinde toksik element içeren jeotermal suların, kontrolsüz olarak çevreye deşarj edilmesi önemli sorunlara neden olmaktadır [13-16]. Bu tip jeotermal akışkan deşarjları sonucunda Gediz ve Büyük Menderes gibi büyük nehirlerde sulama suyu kalitesi bozulmaktadır. Bu nedenle jeotermal su kanununda belirtildiği üzere, çevrenin ve jeotermal sistemin korunması ve kaynağın israf edilmemesi için tüm jeotermal sahalarda re-enjeksiyon uygulamalarının tavizsiz ve ciddi bir şekilde uygulanması büyük önem arz etmektedir [10, 12]. Yasada da belirtildiği üzere gerek jeotermal sistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekse çevrenin korunması için rezervuara geri basma işleminin tam ve eksiksiz yapılması gerekmektedir. Bu kurala uyulmadığı durumlarda önemli sorunlara neden olduğu ortaya konulmuştur. Jeotermal sahalarda gözlenen diğer bir risk ise, üretim veya re-enjeksiyon amaçlı açılan jeotermal kuyularında borulama, delinme ve/veya çimentolama sorunlarına bağlı olarak ortaya çıkan jeotermal akışkan fışkırma veya patlamalarıdır. Bu tip fışkırma veya patlamalar yüzeyde gözlenebileceği gibi yeraltında da gerçekleşebilmektedir. Özellikle kuyunun derinliklerinde ve tatlı soğuk su akiferi boyunca gerçekleştiği takdirde jeotermal akışkanın tatlı su akiferine karışması söz konusu olabilmektedir. Buna bağlı olarak tatlı su akiferinde su kalitesi bozulmaları gözlenebilmektedir. Ayrıca, tatlı su akiferinden kuyuya soğuk su girişimi olması durumunda da sistemler birbirine karışarak jeotermal akışkan sıcaklığının düşmesine neden olabilmektedir [16]. Bu ve benzeri problemlerin çözümünde öncelikle kaliteli ve projesine uygun bir kuyu açma ve teçhiz çalışmasının yapılması, daha sonra da sürekli izleme faaliyetlerinde bulunulması gibi tedbirlerin alınması önem taşımaktadır.

4. JEOTERMAL YAPIYA UYGUN KUYU PLANLAMASI VE İZLEME

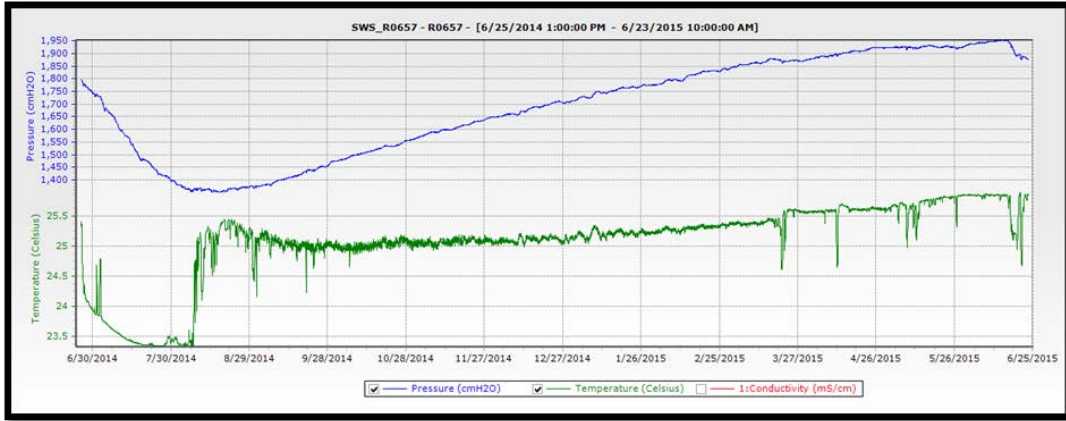
Jeotermal sahalarda yapılacak sondajların bir mühendislik projesi gibi planlanması gerekmektedir. Bu bağlamda sahanın jeolojik yapısının iyi analiz edilmesi, kuyu yapılırken veya yapıldıktan sonra meydana gelebilecek risklerin ortaya konulması ve buna ilişkin önlemler planının oluşturulması gerekli görülmektedir. Özellikle kesilecek birimlerin kalınlıkları, ayrışma dereceleri ve pekleşme özellikleri belirlenmeli, dayanım deneyleri yapılarak, bu sonuçlara göre kuyu planının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Detaylı bir şekilde litolojik olarak ayırtanamayan pekleşmemiş alüvyonlar ile dayanımlılığını yitirmiş Neojen kırıntılı birimlerin doğru bir şekilde ayırt edilememesi veya Neojen seriler içerisindeki dayanımsız kırıntılı birimlerin özelliklerinin net olarak ortaya konulamaması, sondaj

veya işletme faaliyetleri esnasında önemli problemler yaratabilecektir. Ege Bölgesi'nde söz konusu iki birim pek çok sondajda kesilmektedir. Buna ek olarak, sahada yer alan ana ve tali fayların yapısının da net bir şekilde ortaya konulması ve eksik bilgi var ise tamamlayıcı jeofizik çalışmalar veya gerekirse karotlu sondajlarla araştırmalar yapılması önem arz etmektedir. Delme operasyonuna geçilmeden önce de, tatlı su akiferinin net kalınlığı ortaya konulmalı, bu akifer kesitinin delme sırasında bentonit ve su ile açılması, çamur havuzlarının jeomembranla kaplanması, atık çamurlarının uygun alanlarda depolanması, test aşamasında üretilen jeotermal suların çevreye bırakılmaması gibi tedbirler ile oluşabilecek riskler minimize edilebilecektir.

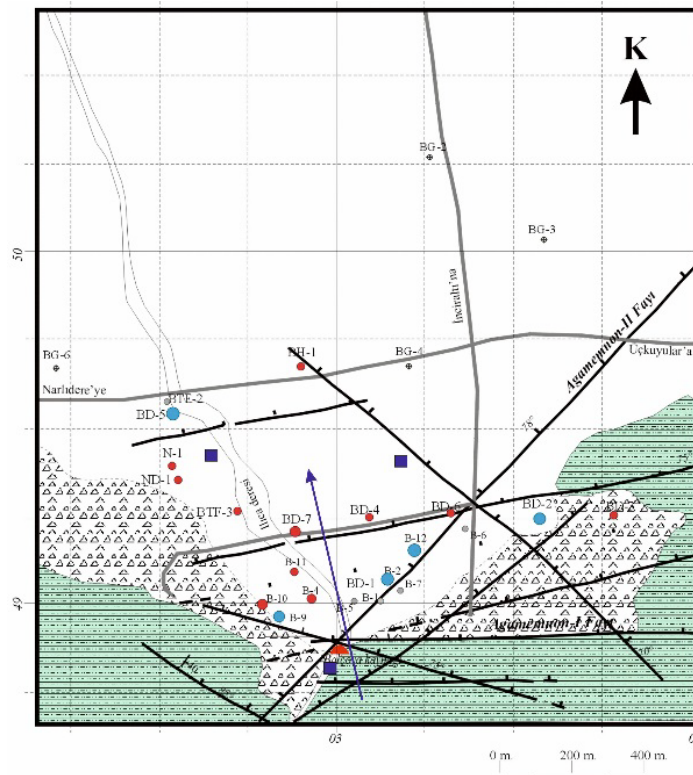
Kuyu planlaması yapıldıktan sonra bu plana uygun çelik boru, API standartlarına uygun çimento ve kum malzeme kullanılmalıdır. Kuyu donanım malzemelerini indirecek ve çimentolama yapabilecek deneyimli bir sondaj ekibinin bulunması, yukarıda anlatılan sorunların azaltılmasında büyük katkı sağlayacaktır. Bunlara ek olarak kullanılacak kuyu başı donanımının da yüksek basınç dayanıklı ekipmandan oluşması ve gerekli vana ve preventer sistemlerinin bulunması da önem arz etmektedir. Bahsi geçen tüm önlemlerin doğru olarak yapılıp yapılmadığı, çimentolama sorunlarının olup olmadığı ve olası kaçakların oluşup oluşmadığının sürekli bir şekilde izlenmesi ise en önemli tedbir olarak gündeme gelmektedir. Bu izlemelerin doğru ve sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi için jeotermal sahalara açılan üretim ve re-enjeksiyon kuyularının yakınlarına hakim yeraltı suyu akış yönüne göre akış menbası ve mansabına gözlem kuyularının açılması gerekmektedir. Bu gözlem kuyuları yardımıyla özellikle sıcaklık, seviye ve elektriksel iletkenlik gibi karakteristik yeraltı suyu parametrelerinin takibi yapılabilmektedir. Bu izlemeler kesikli yapılabileceği gibi sürekli olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Sürekli kaydetme özelliği bulunan cihazların izleme kuyularına indirilmesi sayesinde istenilen zaman aralıklarında okumalar yapılabilmekte ve elde edilen sonuçların cihazların dâhili hafızalarında saklanması sağlanmaktadır. Daha sonra belirli aralıklarla sahaya gidilip kaydedilen verilerin sağlanması ve analizinin yapılması ile sağlıklı bir izleme yapmak mümkün olabilmektedir. Daha da gelişmiş izleme sistemlerinde ise, kuyu içindeki cihazın aldığı veriler anlık olarak GPRS bağlantılı cihazlar yardımıyla GSM altyapısı kullanılarak merkezi ofislere anlık olarak aktarılabilir. Bu tip sürekli izleme yeteneğine ve anlık veri aktarımına sahip bir izleme sistemi sayesinde olası kaçak ve kirlenme problemlerine anında müdahale etme şansı da elde edilmektedir.

Şekil 4'de zamana bağlı olarak yeraltı suyu seviye ve sıcaklık değişim grafiğine bir örnek verilmektedir. Yeraltı suyu seviyesinin sulama mevsimi sonundan sonra yükselmeye başladığı, Mayıs ayı itibari ile yeni sulama mevsiminin başlamasıyla tekrar düşüş eğilimine girdiği görülmektedir. Özellikle jeotermal sahalarda izlenmesi gereken en önemli parametre yeraltı suyu sıcaklığıdır. Yeraltı suyu sıcaklığındaki değişimler jeotermal sahadaki olası karışımları net olarak izleme olanağı tanımaktadır. Bu bağlamda, Şekil 4'deki sıcaklık değerlerinin zamana bağlı olarak yükselme gösterdiği görülmektedir. Sıcaklık değerlerindeki kısa dönemli salınımların ise bölgedeki yeraltı suyu çekimleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Buna benzer verilerin sağlanabilmesi için jeotermal sahaların uygun alanlarına uygun derinliklerde izleme amaçlı sondajların açılması ve CTD diver olarak adlandırılan cihazların bu sondajlara yerleştirilmesi gerekmektedir. CTD diver, kuyu içerisine yerleştirilen ve su seviyesini, sıcaklığını ve elektriksel iletkenliğini 1 sn ile 24 saat arasında seçilen bir aralıkta ölçüp kaydeden bir cihazdır. Buradan elde edilecek veriler yardımıyla sahadaki üretim veya re-enjeksiyon kuyularına olası kaçakların ve karışımın izlenmesi ve acil eylem planlarının oluşturulması temin edilebilecektir.

Şekil 5'de ise İzmir Bölgesi'nde yer alan en önemli jeotermal sahalardan biri olan Balçova jeotermal sahası gösterilmektedir. Örnek olması açısından izleme kuyularının açılması gereken yerler sunulmuştur. Gözlem kuyularının birinin sahadaki yeraltı suyunun arka planını verecek bir alana (yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda menbada bir noktaya) yerleştirilmesi, diğer kuyuların ise (en az iki tane) yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda ve olası kirlenme kaynağının mansabına yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu kuyulardan alınacak verilerden, jeotermal üretim ve re-enjeksiyon kuyularından soğuk yeraltı suyuna doğru oluşacak olası kaçakların ve karışımın izlenmesinde önemli bilgiler elde edilecektir. Jeotermal sahalara konumlandırılacak CTD diver'ların her saat başı veri alacak şekilde programlanması ve verilerin Şekil 4'de olduğu gibi zamana bağlı analizinin yapılması yararlı olacaktır. Bu izleme çalışması ile jeotermal sahaların yaratacağı yeraltı suyu kirlenme mekanizmalarının anlaşılması, söz konusu kirlenmenin izlenmesi ve bu kirliliğin önüne geçilmesi için gerekli tedbirlerin planlanması mümkün olacaktır. İzleme çalışmalarından elde edilecek bu verilerin DSİ gibi ilgili kamu kurumları ile paylaşılması da, kurumsal bilgi birikiminin oluşması açısından yararlı olacaktır.



Şekil 4. Jeotermal sahadan elde edilen CTD diver veri seti [9].



Şekil 5. Balçova Jeotermal Sahası ve önerilen izleme noktaları [17].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde karbondioksit salınımı nedeniyle dünyamız önemli bir iklim değişikliği baskısı altındadır. İklim değişikliği baskısını en çok hisseden coğrafyalardan biri de ülkemizdir. Bu nedenle yenilenebilir ve düşük karbon salımlı enerji kaynaklarına talep artmaya başlamıştır. Bu kaynakların başında gelen sıcak jeotermal sulardan elektrik üretimi yapılmakta ve genel enerji talebine katkı sunulmaktadır. Ülkemizde jeotermal sulardan 32,65 MWe elektrik enerjisi üretilmektedir [18]. Genel olarak çevre dostu olarak bilinen jeotermal sular, kimyasal özellikleri nedeniyle karışıkları tatlı su kaynaklarını kirlenmektedir. Bu sebeple öncelikli olarak jeotermal suların temiz su kaynaklarına karışmasını önlemek gereklidir. Bunun için sahanın jeolojik yapısını çözebilecek seviyede detaylı jeolojik çalışmalar yapılması, kayaçların mühendislik ve hidrojeolojik özelliklerinin ortaya konulması ve jeolojik

yapıya göre uygun kuyu planlarının oluşturulması gerekmektedir. Bu bağlamda jeotermal kuyuların da tıpkı baraj, tünel veya diğer mühendislik projeleri gibi düşünülmesi ve tasarlanması gereklidir. Sözü edilen planlamalar esnasında da, deprem ve benzeri doğal ve antropojenik riskler göz önüne alınmalı ve ihtiyaç duyulan tedbirler dikkate alınmalıdır. Alınan tüm tedbirlere rağmen üretim ve/veya re-enjeksiyon kuyularından meydana gelebilecek kaçakları belirlemek ve yeraltı suyuna olan olası karışımları tespit etmek amacıyla da, jeotermal sahaların açılacak gözlem kuyuları ile izlenmesi gerekmektedir. Bu kuyulara yeraltı suyu sıcaklığı, seviyesi ve elektriksel iletkenliğini kaydedecek sistemler yerleştirilmeli ve sürekli izlenmelidir. Buradan gelecek verilere göre olası kaçakların yeraltı suyunda yaratacağı kirlenmenin boyutu doğru bir şekilde tespit edilebilecek ve kirlenmenin boyutu daha da büyümeden önlemler alınabilecektir. Bu jeotermal firma sahipleri ile bölge yeraltı suyu kullanıcıların karşı karşıya gelmelerini engellemesi açısından büyük önem taşıyacağı açıktır. Verilerin tüm paydaşlara açık olması firmalara olası itilaflarda kendilerini savunabilecekleri bir ortam yaratacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yılmaztürk, O. 2015. Ocak 2015 Yılı İtibari ile Enerji Görünüm Raporu, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Şubat 2015 Sayı 200 Ekidir
- [2] Özcan M, Öztürk S. 2015. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimi Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunda Beklenen Değişimler ve Karbon Vergisi Uygulaması, EMO, 2015
- [3] Arslan S, Darıcı M, Karaman C. TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir
- [4] Toka B, Tugran M, Yıldız M, Durak S, and Karadeniz N. 2012. Technical report for geothermal eruption near Alkan Vilage in Alasehir Plain, TMMOB Chamber of Mining Engineering, Izmir.
- [5] JKDMS, 2007. Jeotermal ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, 13 Haziran 2007 ÇARŞAMBA, 26551
- [6] Arslan S, Darıcı M, Karahan Ç. 2005. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli. Jeotermal Enerji Semineri, İzmir
- [7] Basel, E.D.K., Serpen, U. and Satman, A., 2009. Assessment of Turkey Geothermal Resources. 34th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.
- [8] DSİ, 2014: Gediz Havzası Planlama Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ İzmir Bölge Müdürlüğü, İzmir.
- [9] Rabet, RS, Simsek C, Baba A, Murathan A. 2017. Blowout mechanism of Alasehir (Turkey) geothermal field and its effects groundwater chemistry, *Environ Earth Sci* (2017) 76:49
- [10] Satman, 2005. Tekrar Basma (Re enjeksiyon). Jeotermal Enerji Semineri, İzmir
- [11] Bundschuh, J. Prakash Maity, J., Nath, B., Baba, A., Gunduz, O., R. Kulp, T., Jiin-Shuh, J., Kar, S., Huai-Jen, Y., Yu-Jung, T., Bhattacharya, P., Chien-Yen, C. 2013. Naturally occurring arsenic in terrestrial geothermal systems of western Anatolia, Turkey: Potential role in contamination of fresh water resources, *Journal of Hazardous Materials*, 262; 951– 959.
- [12] İTASHY, 2005. "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik", Ankara.
- [13] Demirel, Z., Yildirim, N. 2002. Boron pollution due to geothermal wastewater discharge into the Buyuk Menderes River, Turkey, *Int. J. Environ. Pollution*, 18 ;602–608.
- [14] Dogdu, M.S., Bayari, C.S. 2005. Environmental impact of geothermal fluids on surfacewater, groundwater and streambed sediments in the Akarcay Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 325–340.
- [15] Aksoy, N., Tarcan, G., Gemici, U. 2005. Hydrogeological and Geochemical assessments of the Gediz Graben Geothermal areas, Western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 523–534.
- [16] Aksoy, N., Şimşek, C., Gunduz, O. 2009. Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: A case study of Balçova, Turkey, *Journal of Contaminant Hydrology*, 103 13–28.
- [17] Aksoy, N. 2001. Balçova-Narlıdere jeotermal sisteminin izleyiciler ile incelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü *Doktora Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [18] Serpen U, Aksoy N, Öngür T, Korkmaz DE. 2009. Geothermal energy in Turkey: 2008 update, *Geothermics, Volume 38, Issue 2, June 2009, Pages 227–237*



ÖZGEÇMİŞ

Celalettin ŞİMŞEK

1970 yılı Sivas/Şarkışla doğumludur. 1994 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1998 yılında Yüksek Mühendis, 2002 yılında Doktor unvanı almıştır. DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulunda 1997-2001 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2001-2004 yılları arasında Öğretim Görevlisi, 2004-2010 yılları arasında Yardımcı Doçent, 2010-2015 yılları arasında ise Doçent olarak görev yapmıştır. Aynı okulda 2015 yılından beri ise Profesör olarak görevini sürdürmektedir. Hidrojeoloji, yeraltı suyu kirliliği, atık depolama yer seçimi ve çevre jeolojisi konularında çalışmalarına devam etmektedir.

Orhan GÜNDÜZ

1972 yılı Ankara doğumludur. 1994 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı bölümden 1997 yılında Çevre Yüksek Mühendisi ünvanını almıştır. 1998 yılına kadar ODTÜ Prof. Dr. Mustafa Parlar Eğitim ve Araştırma Vakfı'nda proje koordinatörü olarak çalışmıştır. Doktora çalışmalarını yapmak üzere 1998 yılında YÖK Bursusu olarak Amerika Birleşik Devletleri'ne gitmiştir. Georgia Institute of Technology'de gerçekleştirdiği doktora çalışmasını 2004 yılında tamamlamıştır. 2004 yılından bu yana Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. 2014 yılında doçent ünvanını alan Orhan Gündüz'ün uzmanlık alanları yüzey ve yeraltı sularının kalitesi, çevresel modelleme ve coğrafi bilgi sistemleridir.