



# BATI ANADOLU'DA JEOTERMAL UYGULAMALAR VE ÇEVRESEL SORUNLAR

*Geothermal Applications And Environmental Problems In Western Anatolia*

**Orhan GÜNDÜZ**  
**Celalettin ŞİMŞEK**

## ÖZET

Jeolojik yapısı itibarı ile Batı Anadolu en önemli jeotermal potansiyeli olan sahalardan biridir. Bölgede üretilen jeotermal akışkan elektrik enerjisi üretimi ve ev ve sera ısıtıcılığında kullanılmaktadır. Özellikle Ege Bölgesi, graben alanları boyunca önemli jeotermal sahalarla sahiptir. Bu sahalarda son zamanlarda derinliği 4000 m'ye ulaşan çok sayıda üretim kuyusu açılmaktadır. Üretim kuyularından elde edilen jeotermal akışkanlar kullanıldıktan sonra re-enjeksiyon kuyuları ile tekrar rezervuara basılmaktadır. Çevre kirliliğini önlenmesi ve rezervuarın sürdürülebilirliği için bu tip bir kapalı sistem işletme önem arz etmektedir. Batı Anadolu'daki jeotermal akışkanlar, yüzey ve yeraltı suları için yüksek toksisiteye ve önemli çevresel risklere sahip olduğu bilinen bor ve arsenik açısından oldukça zengindir. Bölgede yapılan çalışmalar sonucunda, (i) jeotermal akışkanın fay sistemler boyunca doğal yukarı doğru hareketi ile yüzeysel yeraltısuyu akiferine sıcak jeotermal suyun karıştığı, (ii) jeotermal akışkanın bölgede hatalı bir şekilde delinmiş olan sondajlardan sızarak yukarı doğru hareket ettiği, (iii) hatalı re-enjeksiyon uygulamaları yapıldığı; ve (iv) yerüstü su kaynaklarına kontrolsüz jeotermal atık akışkanın deşarj edildiği tespit edilmiştir. Özellikle hatalı açılan kuyulardan dolayı Alaşehir bölgesinde bazı dramatik sorunlar yaşanmıştır. 2012 yılında Alaşehir Ovası'nda jeotermal sondaj kuyu açılması esnasında önemli bir patlama kazası meydana gelmiş ve üç bölgede fay zonu boyunca önemli miktarda jeotermal akışkan yüzeye saçılmıştır. Bu veriler ışığında, graben alanlarındaki jeotermal akışkan üretim ve re enjeksiyon sondajlarındaki faaliyetlerin tüm teknik kural ve kaideler uyularak yapılması gerekliliğine yeniden vurgu yapılmıştır. Özellikle, graben sondaj sahasının kapsamlı bir jeoteknik değerlendirmesi yapılmalı ve tüm riskler göz önünde bulundurularak kusursuz bir sondaj planı oluşturulmalıdır. Aksi takdirde, sadece sondaj aşamasında değil, işletme süresi içinde de sorunlar meydana gelebilmekte ve bunun sonucu olarak jeotermal akışkanın yerüstü ve yeraltı sularına kontrolsüz olarak deşarj edilmesi söz konusu olabilmektedir. Sondaj sırasında jeotermal sondajların yapıldığı alüvyonel alanlarda sürekli izleme yapılması ve yasalarda belirtilen işletme kurallarına harfiyen uyulması ilgili risklerin azaltılmasına yardımcı olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Jeotermal akışkan, yeraltısuyu kirliliği, izleme çalışmaları

## 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 into the hot water reservoir after its heat content is extracted for the intended 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. Based on research conducted in the region, it has been found out that the hot geothermal water and the cold regional groundwater resources of the surficial aquifer mix within the fractured zone in aquifer as a result of (i) the natural upward movement of geothermal fluid along the fault line, (ii) the accelerated upward seepage of geothermal fluid from faulty constructed boreholes drilled in the area, (iii) the faulty

reinjection applications; and, (iv) the uncontrolled discharge of waste geothermal fluid to the natural surface water drainage network. Particularly, some dramatic problems were experienced in Alaşehir area due to faulty constructed boreholes. A significant blowout accident occurred in 2012 during a geothermal well drilling operation in Alasehir Plain, and significant amount of geothermal fluid surfaced out along the fault zone in three locations. Accordingly, geothermal fluid production in graben areas should be done carefully by following all technical guidelines. In particular, a thorough geotechnical assessment of the graben drilling site should be conducted and a foolproof borehole plan should be created by considering all the risks. Otherwise, problems can occur not only during drilling phase but also within the operational period and result in uncontrolled discharge of geothermal fluid into surface and subsurface waters, Continuous monitoring in the geothermal field during drilling and operation phases will also help reduce the associated risks, which are more profound in drilling areas with alluvial geology, and ensure sustained compliance to all relevant legislation.

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

## 1. GİRİŞ

Jeotermal sulardan enerji üretimi son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Özellikle, Ege bölgesinde yer alan önemli graben alanlarında derinliği 4000 m'ye ulaşan üretim sondajları açılmaktadır. Üretilen jeotermal akışkanlar çoğunlukla elektrik üretiminde kullanılmakta, atık akışkan ise rezervuara re-enjekte edilmektedir. Ancak son zamanlarda gerek delme aşamasında gerekse işletme aşamasında önemli sorunların yaşandığı ve çevresel problemlerin ortaya çıktığı görülmektedir [1,2,3]. Bu çevresel problemlerin en başında ise atık suların re-enjeksiyon ile rezervuara geri basılması yerine yüzeysel su kaynaklarına kontrolsüz olarak bırakılması gelmektedir. Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular hakkındaki kanununa göre “Üretilen jeotermal akışkanların yapay yöntemlerle kullanıldıktan sonra tamamının veya kalan kısmının üretildikleri jeolojik formasyonlara geri gönderilmesi/basılması gerekmektedir” [4]. Bu şekilde kontrolsüz olarak yerüstü sularına salınan atık jeotermal suların ciddi kirlenmelere neden olduğu bilinmektedir [5]. Jeotermal atık suların çevre açısından yarattığı en önemli riskler içerdikleri yüksek ağır metal ve eser element içerikleri ile ilişkilidir. Bu tip metalik elementlerin önemli bir kısmının toksik özellikler göstermesi sebebiyle insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından zarar verici nitelikte olduğu bilinmektedir. Bunlar arasında özellikle sulama suyu kalitesini etkileyen bor, insan ve hayvanlarda kanser yapıcı etkisi ile arsenik ve antimon gibi metal ve yarı metaller sayılabilir. Batı Anadolu Bölgesi'nin jeolojik yapısı dikkate alındığında jeotermal suların bor ve arsenikçe zengin olduğu görülmektedir. Son yapılan çalışmalarda jeotermal sulardaki bor seviyelerinin yer yer 30 mg/L değerinin bile üzerine çıkabildiği görülmektedir [3]. Kanserojik etkileri olan arseniğin de jeotermal sularda, içme suyu kalitesi açısından 10 µg/L mertebesinde düşük olması gereken sınır değerinin çok üzerinde seviyelerde bulunabildiği bilinmektedir [3]. Yapılan çalışmalar Batı Anadolu Bölgesi'nde jeotermal sulardaki arsenik konsantrasyonlarının 1000 µg/L'ye kadar ulaşabildiğini göstermektedir. Bu bilgiler ışığında özellikle ağır metal açısından taşıdığı yüksek riskler dikkate alındığında jeotermal akışkanın doğal ortama gelişi güzel bırakılmaması, ve rezervuara re-enjekte edilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak son yıllarda giderek popülerite kazanan jeotermal enerjinin üretim faaliyetleri esnasında uygulamalarda yaşanan problemler ve kötü uygulamalar sonucu ortaya çıkan çevresel sorunlar bu bildirinin konusunu oluşturmaktadır.

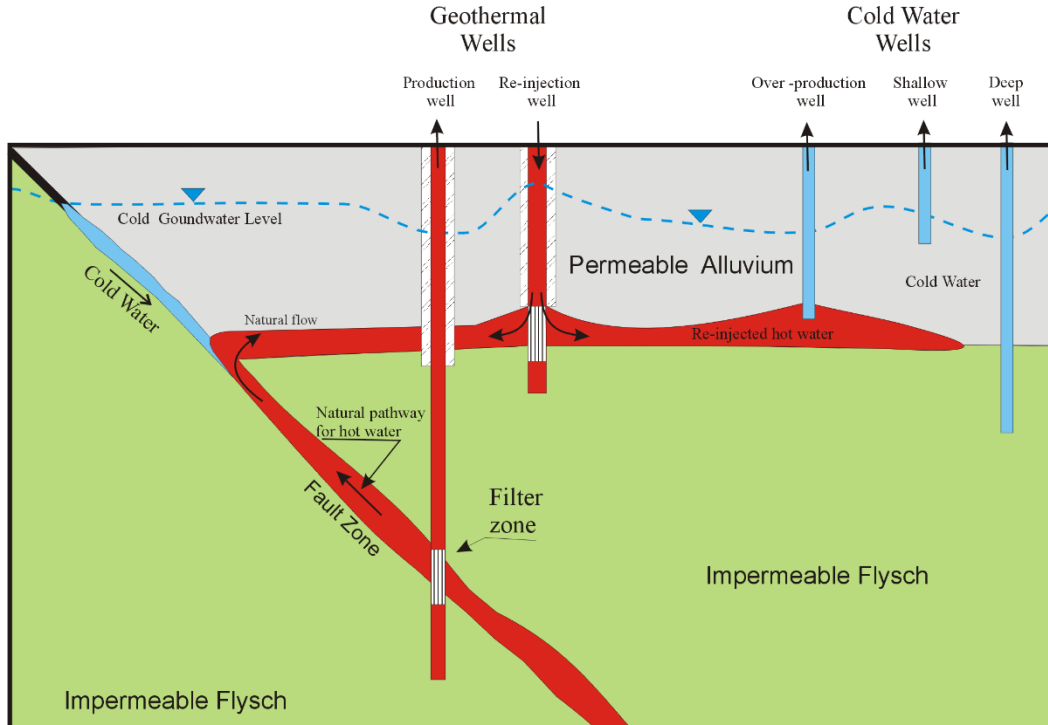
## 2. JEOTERMAL UYGULAMALARDA YAŞANAN ÇEVRESEL SORUNLAR

Jeotermal uygulamalar genel anlamda arama faaliyetlerinin yapılması, üretim ve re-enjeksiyon kuyularının açılması ve işletme aşamaları olarak üç farklı aşamada gerçekleştirilmektedir. Bir sahanın araştırılması için öncelikle jeolojik, jeofiziksel ve hidrojeolojik çalışmalar yapılmaktadır. Etüt ve fizibilite çalışmalarından sonra araştırma amaçlı dar çaplı sondajlar açılmaktadır. Bu sondajlar jeotermal sistemin derinliğinin araştırılması ve derinliğe bağlı olarak sıcaklığın değişiminin tespiti için önem taşımaktadır. Bu sondajların delinme aşamasında en ciddi problem sondaj çamurudur. İçerisinde bazı

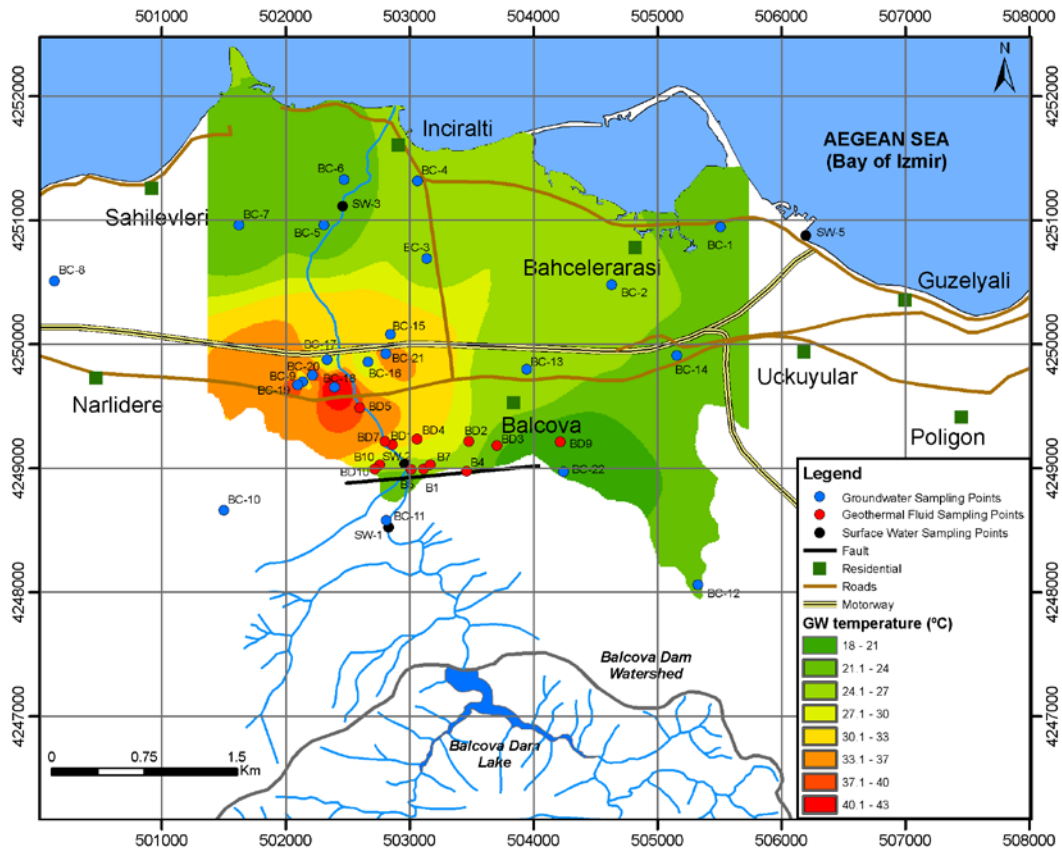
sondaj kimyasalları da içeren bu çamurun tehlikeli atık sınıfına girip girmeme durumuna göre özel olarak bertaraf edilmesi gerekebilmektedir. Sondaj sahasında depolanan çamur ve çamurlu suyun tehlikelilik arz etmesi durumunda özel bir şekilde saklanması ve sonrasında tehlikeli atık bertaraf tesislerine gönderilmesi gerekebilmektedir. Çoğu zaman bu çamur çevreye önemli bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak sondajın bulunduğu lokasyondaki çalışma şartlarına bağlı olarak kullanılması gereken kimyasalların tipi ve miktarı ile ilişkili olacak şekilde yer yer dikkatle ele alınması gerekebilmektedir. Gereken durumlarda sondaj çamurunun ve atıklarının uygun depolama alanlarına nakledilmesi orada depolanması ya da uygun şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak delinen kuyunun sondajdan işletme aşamasına geçilene kadarki sürede her hangi bir gaz ve sıvı akışkan atmasının engellenmesi için de, kuyu ağzının uygun şekilde kapatılarak akışkanın kontrolsüz şekilde çevreye salınımı engellenmelidir. İşletme aşaması ile karşılaştırıldığında genellikle çok daha kısa süreli bir faaliyet olan sondaj faaliyetleri süresince gerekli tedbirlerin alınmadığı gözlenmektedir. Bu bağlamda, sondaj esnasında sürekli denetim ve uygunsuzlukların tespiti büyük önem taşımaktadır.

Jeotermal uygulamalarda en sık karşılaşılan sorunlardan biri de üretim aşamasında ortaya çıkmaktadır. Yüksek jeotermal potansiyele sahip Ege Bölgesi'ndeki jeotermal sistemler çoğunlukla graben (çöküntü) havzalarında ve fay hatları boyunca yoğunlaşmaktadır. Bu çöküntü alanları ayrıca önemli tarım alanları ve alüvyon akiferleride bünyesinde barındıran yeraltı suyu üretim sahalardır [5]. Bu nedenle bu alanlarda planlanan bir jeotermal üretim veya re-enjeksiyon faaliyetinin iyi planlanması önem taşımaktadır. Yüksek geçirirliği ile bu tip alüvyon sahalar, gerek olası bir kontaminasyonun hızla yayılması gerekse oluşan bir sorunun kontrol edilmesinin zorluğu gibi problemler dikkate alındığında, ciddi çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Bu tür sahalarda yapılan uygulamada karşılaşılan sorunlar ise iki farklı kategoride ele alınmıştır. Birincisi jeolojik yapı kaynaklı olarak jeotermal akışkanın fay ve kırık hatları boyunca yükselerek yüzeydeki akifer sistemine veya kaynak şeklinde yüzeye boşalarak doğal ortama karışmasıdır. İkincisi ise açılan sondajlarda insan kaynaklı yapılan hatalardır.

Fay hatları boyunca doğal olarak yükselen sıcak sular pek çok noktada kaynak şeklinde boşalır ve en yakın yüzey su kaynağına karışır. Jeotermal sistemlerin yerüstündeki belli başlı emareleri bu tip sıcak su çıkışlarıdır. Geçmiş yıllarda bu sahalarda çoğunlukla termal banyolar kurulur ve balneolojik tedavi yapılırdı. Bu tür sistemler günümüzde ise çoğunlukla yapılan kaptajlar veya açılan sondajlarla geliştirilmiş ve sıcak akışkanın antropojenik olarak üretilmesi sağlanmıştır. Kuyular vasıtasıyla yapılan çekimler sebebiyle sözü edilen sahalardan günümüzde kaynak boşalmaları gerçekleşmemektedir. Bu bağlamda, eski jeotermal sahalardan günümüzde yerüstü sularına doğal kaynak boşalmaları büyük oranda kesilmiştir. Ancak yapılan çalışmalara göre, sıcak jeotermal akışkanlar yerüstüne ulaşmasa da fay zonları boyunca yükselirken geçirimli akifer tabanında soğuk yeraltı suyu sistemine karışabilmektedir. Bu durumda da soğuk yeraltı suyunu barındıran akifer sisteminin gerek ısıl gerekse kimyasal kirlenmesi söz konusu olmaktadır. Bu tür dolaşım mekanizmasına en iyi örnek ise İzmir-Balçova Jeotermal Sahası'dır. Burada yürütülen bir bilimsel araştırmada Agememmon fayı boyunca yükselen sıcak akışkanın, alüvyon akiferin tabanından kuzeye doğru bir yayılım gösterdiği tespit edilmiştir [3]. Bununla ilgili şematik kesit Şekil 1'de, oluşan ısıl kirlenmenin alansal dağılımı ise Şekil 2'de sunulmuştur. Şekillerden de görüleceği üzere, fay boyunca yüzeylenen ve/veya jeotermal kuyulardan oluşan kaçaklarla ortaya çıkan sıcak jeotermal akışkan, serbest akiferin tabanından yayılarak kuzeye doğru ilerlemektedir. Neden olduğu kirlenmenin en temel göstergesi bölgede soğuk yeraltı suyu üretmek amacıyla açılmış bulunan kuyulardan ılık bir su üretimi yapılmasıdır. Kuyulardan yapılan örneklemelerde sıcaklık etkisine ek olarak yüksek elektriksel iletkenlik değerleri ve arsenik ve bor gibi jeotermal sulara karakteristik bazı parametreler tespit edilmiştir. Yayılmanın engellenememesi durumunda içme-kullanma ve tarımsal sulama amaçlı olarak açılmış olan bu tip kuyuların kullanımı kısıtlanmakta ve önemli bir su yönetimi problemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Fay boyunca yükselen sıcak suyun akifer tabanında yayılımı [3].



Şekil 2. Balçova Jeotermal Sahası'ndaki ısı kirlenmenin dağılımı [3]

Balçova Jeotermal Sahası'nın kuzeyinde yapılan gerek jeofizik etütler gerekse sondaj çalışmaları 60 m'den sonra yeraltısuyunda sıcaklık artışları olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmalarda derinliği 60 m ve daha derinde olan su kuyularındaki yeraltı suyu sıcaklıklarının 28 ila 42 °C arasında değiştiği ortaya konulmuştur [3]. Buradan elde edilen sonuçlara göre, genel anlamda faylarla kontrol edilen derin jeotermal akışkanların fay hatları boyunca yükseldiği ve doğal olarak porozitesi yüksek alanlarda yayıldığı ve bu noktalarda soğuk su sistemine karıştığı belirlenmiştir. Doğal olarak da oluşabilen bu karışım mekanizmasını jeotermal akışkan üretimi amacıyla açılan sondajlar ve yapılan re-enjeksiyon uygulamaları hızlandırmaktadır. Karışımın yayılım alanını ve etkisini, saha ve çevresinde açılacak gözlem kuyularına yerleştirilen su sıcaklığını ölçen veri kaydedicilerle izleyerek takip etmek gerekmektedir. Durum tespitinin yapılmasını takiben sahaya özgü çözümlerin üretilebilmesi için detaylı mühendislik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Sürekli izleme faaliyetleri, Balçova'dakine benzer sorunların gözlemlendiği jeotermal sahalar için büyük önem taşımaktadır. Bu tip çalışmalardan elde edilecek bilgilerle ortaya çıkartılacak tedbirler programının uygulanmaması durumunda ise, soğuk suya karışan akışkanın yeraltısuyu çekimleri ile alansal olarak daha geniş alanları etkisi altına almasının ve su sıcaklıklarının her geçen gün daha da artmasının önüne geçilmesi mümkün olmayacaktır. Bunun sonucu olarak da yeraltısuyundan sulama veya kullanma suyu temini yapan kullanıcıların şikayetlerinin giderek artacağı öngörülebilmektedir.

Jeotermallerde çevresel sorunlara neden olan diğer bir husus ise kuyularda sondaj açımı ve işletme aşamalarında meydana gelen problemlerdir. Jeotermal rezervuara ulaşmak için Ege Bölgesi'nde 2000-4000 m arasında değişen derinliklerde sondajların açılması gerekmektedir. Bu sondajlar düz alüvyonel ovalarda açıldığından çoğu zaman tarımsal alanlar üzerinde bulunmakta ve alüvyon akiferin kesilerek geçilmesi gerekmektedir. Sondaj esnasında soğuk su akiferi ile sıcak su rezervuarının birbirine karışmamasına özen gösterilmelidir. Bu karışımın önlenmesinde jeolojik ve hidrojeolojik yapının doğru bir şekilde ortaya konulması ve sondaj planının bu yapıya göre oluşturulması şarttır. Özellikle sondaj planında yapılacak en küçük bir hata, sondajda blow-out (fıskırma) problemlerine neden olmakta veya fıskıran rezervuar çevresinden yayılan yüksek sıcaklık ve basınçtaki jeotermal akışkanın soğuk su sistemini kirletmesi sonucunu doğurmaktadır.

Büyük oranda delme aşamasında ve zaman zaman da işletme aşamalarında bir çok nedenden dolayı fıskırma veya sondaj derinliği boyunca herhangi bir noktadan soğuk suya karışım meydana gelebilmektedir. Jeotermal kuyularda fıskırma meydana getiren durumlara bakıldığında; i) jeolojik yapının iyi analiz edilmemesi, ii) teçhiz borusunun uygun derinliğe kadar indirilmemesi, iii) uygun derinliklerde çimentolama işleminin yapılmaması, ve iv) kuyu ağzının uygun tasarlanmaması ve yetersiz ekipmanla teçhiz edilmesi gibi faktörler öne çıkmaktadır.

Bir jeotermal sahanın geliştirilmesi ve planlanmasında dikkat edilmesi gereken en temel unsur sahanın jeolojik koşullarının iyi bir şekilde incelenmesidir. Jeolojik yapının iyi analiz edilmesi ve delme işleminin yapılacağı alandaki jeolojik yapının üç boyutlu olarak net bir biçimde ortaya konması önemlidir. Bu kapsamda yapılacak jeolojik etütlerde birimlerin derinlikleri, litolojik ve yapısal özellikleri detaylı olarak incelenmeli ve raporlanmalıdır. Özellikle birim kalınlarının doğru tespit edilmesi açılacak sondajın başarısı üzerinde doğrudan etkili bir faktördür. Sondajın delinmesi sırasında veya ilerleyen aşamalarda sondajın teçhizi esnasında yapılacak teçhiz derinliği, uygulanacak çimentolama kalitesi ve kurulacak kuyu başı donanımlarının litolojik yapıya ve rezervuar basıncına göre planlanması büyük önem arz etmektedir. Bunun için gerekli durumlarda sondajın delinmesi esnasında karot örnekleri alınarak mukavemet testlerine tabi tutulmasında da yarar bulunmaktadır. Bu tür problemlerin en aza indirilmesinde uygulanabilecek en iyi yol ise, jeotermal sondajın delinmeye başlanmasından önce aynı noktada karotlu bir sondaj açılarak sistemin derinlik bazlı olarak iyi bir şekilde tanımlanması ve daha sonra üretim sondajına geçilmesidir. Bu tip bir yaklaşım süre ve maliyet olarak küçük de olsa bir ekstra yük getirirse de, jeolojik ve hidrojeolojik yapı ile ilgili tüm verilerin elde edilmesine sağlayarak ilerleyen aşamalarda yaşanabilecek sorunların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Bu sorunlara en iyi örnek olarak 2012 yılında Alaşehir'de meydana gelen fıskırma olayı olup, çevresel olarak önemli bir alanı etkilemiştir [1, 2]. Bu olay, rezervuar basıncına dayanamayan gevşek yapıları bir formasyonun yırtılması ile önemli miktarda bir sıcak akışkanın çevreye yayılması olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 2). Şekil 2'de fıskırma anı ve sonrasında sahanın durumu görülmektedir. Bu tür olayların bir daha yaşanmaması açısından litolojik yapının iyi analiz edilmesinde büyük yarar bulunmaktadır. Bu örnekte de olduğu gibi, derin jeotermal kuyularda termal etki nedeni ile kuyu içerisine ve muhafaza borusuna



ekstra yükler gelmektedir. Söz konusu yükler, hem muhafaza borusunun mukavemetini azlatmakta hem de bazı durumlarda formasyonun yırtılmasına neden olabilmektedir.



**Şekil 2.** Alaşehir'de meydana gelen fışkıрма ve sonrası

Sondaj açılırken ortaya çıkan Alaşehir'de yaşanan sorunlara ek olarak inşası tamamlanan üretim veya re-enjeksiyon sondajlarında muhafaza borularının uygun derinliklere indirilmemesi sonucu veya çimentolamada yaşanan problemlere bağlı olarak ortaya çıkan sorunlar da söz konusu olabilmektedir. Muhafaza borusunun yeterli dayanımda olmaması veya uygun çimentolanma yapılmaması durumunda, yüksek sıcaklık ve basınca sahip olan sıcak akışkan, muhafaza borusunun indirilemediği derinliklerden kuyu anülüs boşluğu veya çimento ara yüzeyi boyunca kaçabilmektedir. Bu kaçış yer yer yüzeye kadar ulaşabilmekte, bazen de kuyu derinliği dahilinde bir noktada kalabilmektedir. Bu kaçış ile ortama yayılan kızgın ve yüksek basınçlı gaz veya sıvı akışkan temas ettiği formasyonları tahrip etmekte ve kimi zaman yüzeyde bir patlama olarak ortaya çıkabilmektedir. Ege Bölgesi'nde buna benzer bir problem de Turgutlu- Urganlı jeotermal sahasında bir kuyuda yaşanmıştır. Üretim kuyusundaki çimentonun zamanla zayıflaması ile anulus boşluğundan akışkan çıkışı oluşmuş ve kontrolsüz bir şekilde alıcı ortama akmıştır (Şekil 3). Bu problemin çözümü için jeotermal kuyunun çevresine 3 adet enjeksiyon kuyusu açılarak enjeksiyon yapılmış ve kuyu yanından gelen akışkan kesilmiştir. Enjeksiyon süresince kuyu açılarak üretim yapılmış ve enjeksiyonun amacına ulaşmasına kadar kuyu doğal akışa bırakılmıştır. Bu esnada ciddi miktarda akışkanın yerüstü ve yeraltısına karıştığı bilinmektedir.

Gerek Alaşehir'de gerekse Urganlı'da yaşanan problemlerin özeline bakıldığında temel sorunun sahadaki planlamanın eksik olması ve yapılan tasarım hataları olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, jeotermal kuyuların tasarımının bir mühendislik projesi gibi düşünülerek yapılması, kullanılacak muhafazanın uygun derinliğe ve rezervuar basıncına dayanıklı olacak şekilde seçilmesi ve yine kuyunun kestiği birimlerin izolasyonunda kullanılan çimentonun da ısıya karşı dayanıklı tipte olmasına dikkat edilmelidir. Söz konusu sahalara benzer sorunlarla ilgili bir diğer sıkıntılı durum da, bu tip problemlerin ancak yüzeyde fark edilebilir noktaya ulaştığında ortaya çıkmasıdır. Bu tip sorunlar uzun zamandır sürebildiği halde yüzeyde bir emare vermediği sürece fark edilmesi oldukça güçtür. Problemin varlığının erken ortaya çıkartılabilmesi için alınabilecek en uygun tedbir, saha genelinde yaygın bir izleme ağı kurularak gerek jeotermal rezervuarın gerekse üzerindeki soğuk su akiferlerinin sürekli olarak izlenmesi ve takip edilmesidir. Bunu sağlayabilmek için sürekli veri kaydeden sensörlerden (sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH, basınç, debi vb.) oluşan bir izleme ağının kurulması, toplanan verilerin gerek tesis içinde takip edilmesi gerekse denetimden sorumlu kurum ve kuruluşlarla paylaşılması ve kritik eşiklerin aşılması durumunda alarm sistemlerinin aktive edilmesi suretiyle erken uyarı mekanizmalarının oluşturulması gereklidir. Yukarıdaki problemler ve alınabilecek tedbirler benzer olarak re-enjeksiyon kuyuları içinde geçerlidir.

Jeotermal sular bir hidrojeolojik sistem içerisinde bulunan ve diğer akışkanlara göre farklı özelliklere sahip olan ve yüksek basınca sahip sulardır. Bu nedenle, bir jeotermal sisteme sondaj yapıldığında yüksek bir basınçla gaz ve sıvı gelişi olmaktadır. Bu yukarıda anlatıldığı üzere bu gelişin kontrolsüz bir halde olması fışkıрма olarak tanımlanmaktadır. Fışkıрма genel olarak kuyu açılış sırasında yüksek basınçlı rezervuara girdiğinde kuyu iç basıncını aşarak kontrolünün yitirildiği ve buna bağlı olarak kontrolsüz bir şekilde akışkan gelişinin oluştuğu bir durumu ifade etmektedir. Fışkıрма oluşması durumunda sondaj personelinin ve makinaların zarar görmesi söz konusu olabilir. En ekstrem durumlarda yaralanmalar ve hatta can kayıplarının dahi oluşması söz konusu olabilir. Önlenemediği hallerde ise kontrolsüz bir şekilde açığa çıkan akışkanının Alaşehir'de olduğu gibi çevreye ciddi anlamda zarar vermesi söz konusudur. Bu nedenle jeotermal kuyu tasarımında en önemli noktalardan biri kuyu ağız kuyu başı emniyet vanaları ( preventer) sisteminin kurulmasıdır. Bu sistem kuyudan gelecek olan basınçlı gaz ve sıvı akışkanın kontrolünü sağlamaktadır. Bu sistem kuyu içerisine çamur basılmasında, akışkanın üretilmesinde ve kuyu içerisindeki her türlü takım dizini kapatan bir sistem olmalıdır. Bu sistemin ayrıca formasyon basıncına dayanıklı olması da önemlidir. Yeterli dayanıma sahip ekipman kullanılmaması durumunda, kuyudan geliş yapmaya başlayan akışkanın kontrol edilmesi mümkün olmamakta ve yukarıda çalışan personeli ve ekipmanları koruyamamaktadır. Yukarıda bahsedilen problemler, kuyu açılması sırasında meydana gelebilen ve önlenemediği takdirde önemli çevresel sorunlara neden olan uygulamalardır. Bu tip bir olumsuzluğun oluşması halinde genel olarak çevre dostu olarak bilinen jeotermal enerjinin uygulamada yaşanan problemler sebebiyle olumsuz bir algı ile anılması söz konusu olabilecektir. Alaşehir ve Urganlı gibi olumsuz örnekler, kamuoyunda jeotermale karşı olumsuz bir önyargının oluşmasına ve bu tip yatırımların gerçekleşmesine karşı bir direncin ortaya çıkmasına neden olacaktır.





**Şekil 3.** Urganlı kuyusunda meydana gelen fişkıрма



Uygulamada karşılaşılan bir diğer sorun ise işletme aşamasında yaşanan problemlerdir. Bu problemlerin en başından jeotermal akışkanın kullanıldıktan sonra kontrolsüz olarak alıcı ortama bırakılmasıdır. Bu ortam çoğu zaman yerüstü sularıdır. Sahanın yakınından geçen akarsuya yapılan deşajlar, özellikle akarsuyun debisinin yetersiz olduğu durumlarda önemli çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Sıcak akışkanın özellikle yerüstü su kaynaklarına kontrolsüz bırakılmasının neden zararlar çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [5, 6,8]. İçerisindeki yüksek arsenik ve bor konsantrasyonu sebebiyle Ege Bölgesi'ndeki jeotermal akışkanın, özellikle sulama suyu temin edilen yüzeysel akarsulara bırakılması, bor konsantrasyonu açısından sulama suyu kalitesi düşmektedir. Benzer şekilde, deşarj edilen su kütlesinin akış aşağısında bir noktada içme ve kullanma suyu temini amacıyla kullanılması durumunda da, önemli sağlık riskleri oluşturma potansiyeli de bulunmaktadır. Bu nedenle jeotermal sular ile ilgili kanunda da 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 [5, 6]. Özellikle Gediz Nehri havzasının önemli yan kollarından olan Alaşehir Çayı'nda belli dönemlerde kontrolsüz deşajların yapıldığı yöre halkı ve çiftçiler tarafından şikâyet konusu olmaktadır. Bu bağlamda, hem yüzey su kaynaklarını hem de jeotermal rezervuarın sürdürülebilirliğinin korunması açısından bölgede faaliyet gösteren tüm işletmelerin üzerlerine düşen sorumlulukları yerine getirmeleri gerekmektedir.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda ülkemizde jeotermal kaynaklardan enerji üretimi, kentsel ısıtma ve seracılık gibi faaliyetlere çok önemli yatırımlar yapılmıştır. Jeotermal sahaların kurulması, sondajların yapılması, akışkanın üretimi ve sahanın işletimi sırasında yürürlükte olan yönetmeliklere uyulması ile gelişmiş ülkelerde olduğu gibi çevreye zarar vermeden işletme olanakları bulunmaktadır. Ancak kural ve kaidelere uyulmadan gelişigüzel ve salt rant odaklı bir işletme pratiğinin uygulanması sonucunda, jeotermal enerji ile ilgili önemli çevresel sorunlar ortaya çıkmakta ve jeotermale olan toplumsal algı bozulmaktadır. Bu bağlamda, uzun yıllardan beri çevre dostu olarak bilinen jeotermal enerji uygulamalarından sulama ve içme suyu kalitesinin bozulmasına neden olan olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle insan ve bitki sağlığını tehlikeye düşürecek seviyelerde kirletici içeren bor ve arsenik gibi ağır metal ve eser elementlerin bünyesinde bulunması, jeotermal akışkanın çok dikkatli bir şekilde kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, jeotermal sahaların araştırma safhalarından başlayarak işletim aşamalarına kadarki tüm uygulamalarda yaşanan problemler ele alınmıştır. Bunların başında sondajın açılması sırasında öne çıkan tasarım ve planlama problemleri gelmektedir. Bir diğer çevresel sorun ise işletme aşamasında jeotermal atık suların çevreye kontrolsüz deşarj edilmesidir. Her iki durum da uzun yıllardan beri gündemde olup, Ege Bölgesi'nde önemli bir sorun olarak gündemi işgal etmektedir. Yaşanan sorunların çözümüne yönelik gerekli önlemlerin alınmaması durumunda toplum nezdinde jeotermal enerjiye olan bakış açısının değişeceği ve bölgesel tepkilerin giderek artacağı aşıkardır. Bu sebeple, jeotermal enerji yatırımlarının tekniğine uygun olarak planlanması, işletme faaliyetlerinin vahşi bir şekilde salt kar odaklı olacak tarzda gerçekleştirilmemesi ve oluşan tepkileri giderebilmek adına gereken tüm tedbirlerin alınması ve bunun sonuçlarının da şeffaf olarak toplumla paylaşılması gereken oluşan risklerin en aza indirilmesi gerekse sürdürülebilir bir jeotermal üretim için vazgeçilmez görülmelidir. Mühendislik tekniğine uygun sondaj ve işletme faaliyetleri ile birlikte sürekli izleme çalışmalarının yürütülmesi, gerek rezervuarın sürdürülebilirliği açısından gerekse çevresel değerlerin korunması açısından önem taşımaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] Toka B, Tugran M, Yıldız M, Durak S, and Karadeniz N. 2012. Technical report for geothermal eruption near Alkan Village in Alasehir Plain, TMMOB Chamber of Mining Engineering, Izmir.
- [2] Rabet, RS, Simsek C, Baba A, Murathan A. 2017. Blowout mechanism of Alasehir (Turkey) geothermal field and its effects groundwater chemistry, *Environmental Earth Science* 76:49



- [3] 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.
- [4] Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, 26551 Nolu Resmi Gazete
- [5] Simsek, C, Gunduz O. 2017. Jeotermal suların çevreye etkisinin azaltılmasına yönelik önlemler, TESKON 2017.
- [6] 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.
- [7] İTASHY, 2005. “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik”, Ankara.
- [8] Demirel, Z., Yildirim, N. 2002. Boron pollution due to geothermal wastewater discharge into the Büyük Menderes River, Turkey, *Int. J. Environ. Pollution*, 18: 602–608.

## ÖZGEÇMİŞLER

### 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, su kaynakları yönetimi, çevresel modelleme ve coğrafi bilgi sistemleridir.

### 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.