



# Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji

*Fosil yakıtların neden olduğu giderek artan kirlilik sorunları ve kaynakların tükenecek olması, yeni enerji kaynakları arayışının başlamasına yol açmıştır. Tükenmez ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji tek başına ülkelerin enerji sorununu çözebilecek bir kaynak sayılmasa da, çevreye daha az zarar veren, yerel olarak ekonomik ve tamamlayıcı çözümler sağlayan alternatif bir kaynaktır. Tarih boyunca, sağlık amaçlı olarak kaplıca ve ılıcalarda yararlanılmış olan jeotermal enerjiden, 20. yüzyıl içinde elektrik elde etme ve ısıtma amaçlarıyla da yararlanılmaktadır.*

**Y**ERKÜRE içinde depolanmış bir ısı enerjisi bulunmaktadır. Yerkabuğu içindeki yüksek sıcaklıklı su ve buhar karışımından ortaya çıkan bu enerjiye, jeotermal enerji adı verilmektedir. Yerküre bir ısı motoru olarak kabul edilirse, bu motorun çalışmasını sağlayan elementler madde ve enerjidir. Madde, yerkabuğunun yapısını oluşturan çeşitli minerallerden oluşan kütlelerdir (kayaçlar). Enerji, ısı motorunun içinde yerküreden türemiş olan katı ya da kısmen erimiş kayaçlar ve su ile taşınır. Bu ısı motorunu oluşturan maddenin, yani kayaçların kendi iç ısı enerjisi motorun işlemlerini sağlar. Yerkürenin ısı enerjisi, birbiriyle bağlantılı ya da ayrı birçok ısı motorunun enerjilerinin birleşik halidir. Bu jeotermal enerji sistemlerinde temel olan, sıcak suyun (hidrotermal) taşınmasıdır.

Yerkabuğundaki ısı kaynağı magmadır. Magmanın derinliklerinden büyük kitleler halinde yukarı gelen erimiş kayaçlar ısı akışını yerel olarak artırır. Yerkabuğunda ısı akışı ortalama  $1,4 \times 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup>s dir. Yerkabuğundaki jeotermal ısı, mantodan ısı

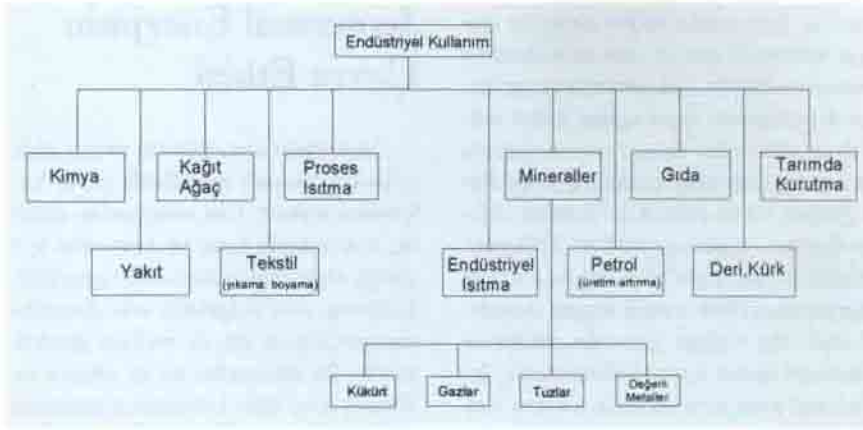
iletimiyle ve radyoaktif elementlerin bozulmasından oluşan ısıtım yoluyla ortaya çıkar.

Jeotermal enerjinin kullanılabilmesi bazı koşulların oluşmasına bağlıdır. Temel gereklilik, enerjinin ulaşılabilir olmasıdır. Ulaşılabilirlik, gözenekli ve/veya çatlaklı yerçi oluşumlarında ısının taşınımı ya da kayacın kendi ısı iletimi gibi doğal süreçlerle sağlanmaktadır. Yerinde depolanmış ısının miktarı ve fiziksel büyüklüğü yeterliyse ve depo alanı yeryüzüne yakınsa, yüzeye bir ısı sistemi kurularak sıcak su ve buhardan enerji elde edilebilir. Jeotermal alana bir kuyu açılır; kuyudan alınan buharın bir jeneratörü çalıştırması sağlanır. Hidroelektrik santrallerde yüksekten hızla düşen suyun enerjisinden yararlanıldığı gibi, jeotermal tesislerde de buharın enerjisinden yararlanılabilir. Buhar, bir türbine yollar ve türbinin dönmesi sağlanır. Hareket eden türbin elektrik üreten bir jeneratörü çalıştırır. Bunun sonucunda da elektrik üretilir. Doğal buhar ve sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerde jeotermal alan olduğuna kesin gözüyle bakılabilir. Ancak yüzeyde herhangi bir kaynağın bulunmadığı

durumlarda da bir bölge jeotermal özellik taşıyabilir. Sıcak su ve buhardan elde edilen enerji, fabrikalarda büyük üretimler için gereken ısı (endüstriyel proses ısı) enerjisi ve elektrik elde edilmesinde kullanılabilir. Sıcak su ve buhar bu gibi amaçlarla kullanıldıktan sonra, atık suyun yok edilmesiyle süreç tamamlanır. Jeotermal sistemlerden ticari olarak yararlanma, yalnızca ulaşılabilen yüksek sıcaklıktaki su yataklarıyla sınırlıdır.

Yatmış yıllarda artan petrol fiyatları, jeotermal enerjiyi o yıllarda çekici bir kaynak durumuna getirmiştir. Seksenli yıllarda ise, petrol fiyatlarının daha istikrarlı olması, jeotermal enerji kullanımının artmasını olumsuz etkilemiştir.

Jeotermal enerjinin doğrudan olmayan kullanımı, elektrik enerjisine çevrilmesiyle gerçekleştirilir. Doğrudan kullanımı ise, konut ısıtması, seracılık ve endüstri için söz konusudur. Yüksek entalpili ( $h > 770$  J/g) kaynaklar elektrik üretiminde kullanılmaya, düşük entalpili ( $h < 630$  J/g) kaynaklar ise doğrudan kullanıma uygundur. Entalpi, birim



Jeotermal enerji kaynaklarının endüstriyel kullanım alanları

akışkanın sıcaklığını belli bir miktar arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarıdır. Türkiye'deki jeotermal kaynakların önemli bir çoğunluğu düşük entalpi olduğu için, doğrudan kullanıma daha çok öncelik verilebilir. Doğrudan kullanımda verim daha yüksektir.

Yapılan çalışmalar, konut ısıtımında jeotermal enerji kullanımının yüksek olduğunu göstermektedir. Örneğin, 150°C'lik bir jeotermal kaynak doğrudan kullanıldığında verim %80 iken, elektrığe dönüştürüldüğünde verim %10'a düşebilir. Konut ısıtımının tekniği ise, jeotermal suyun sıcaklığı ve bileşimi ile değişmektedir. Örneğin 60-100°C arasındaki bir jeotermal su ile ısıtma doğrudan yapılırken, suyun aşındırıcı (korozif) maddeler içermesi ya da çökelme eğilimi taşıması durumunda ısı değiştirici gerekmektedir. Avrupa'da jeotermal kaynak suyunun, sıcaklığının 40°C olduğu durumlarda bile, bir ısı pompası yardımıyla verimli olarak kullanılabilirdiği sistemler vardır.

## Jeotermal Enerjiye Ekonomik Bakış

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı sermaye yoğunluktur. Böyle olmasının nedeni de, santral veya ısıtma şebekesi kurulması ve gelir akışından çok önce, kaynağın aranması ve geliştirilmesi, özellikle de sondaj için önemli harcama yapılması gereğidir. Kaynağın aranması ile işletmeye geçilmesi arasında 5-6 yıllık bir süreye gerek vardır. Jeotermal kaynakların geliştirilmesi ve verimli olarak kullanılabilmesi için büyük bir idari yapılanma gerekmektedir. Yüzyeideki santralin kurulması ve yeraltındaki rezervuarlarla ilişkili akışkanların üretilmesi (arama, kuyu delme ve tamamlama) birbirinden çok farklı işler olduğundan, iyi bir organizasyon ve planlama gerektirmektedir. Bu işleri tek bir kuruluşun yapması durumunda, kuruluş, hem akışkan üretim maliyeti hem de enerji üretimi maliyet ve finansmanını kontrol etme esnekliğine sahip olacağından enerji maliyetleri düşebilir. Kay-

nak (jeotermal saha) bir kuruluşun, enerji üretimi (santral) bir başka kuruluşun sorumluluğunda ise, kaynağı geliştirmek daha riskli olduğundan sonuçta bunu gerçekleştirenin güç üretenden daha kârlı çıkacağı açıktır. Bu da enerjinin maliyetini etkileyecektir. Bunun yanında, bu kuruluşların kamu ya da özel olmalarına bağlı olarak enerji fiyatlarını etkilemeleri de doğaldır. Türkiye'de genel yaklaşım, hem doğrudan (ısı üretimi) hem de doğrudan olmayan kullanımda, yeraltındaki akışkan üretimi ile yerüstündeki enerji kullanımının tek bir kuruluş tarafından yapılmasıdır. Bu kuruluşlar elektrik üretimi için TEAŞ, ısıtma projeleri için ise belediyeler olmaktadır. Bazı ülkelerde ise özel firmalar, kaynak geliştirirken, diğerlerinin yüzey tesislerini yapması biçiminde bir işbirliği gerçekleştirilmektedir.

Jeotermal kaynak geliştirme maliyetleri çok karmaşık ve değişken faktörlere bağlı olduğu için bu konuda doğru tahminler yapmak güçtür. Bir jeotermal kuyunun maliyeti, açıldığı sahada karşılaşılan güçlüklerle bağlı olarak değişebilir ve aynı saha içinde kuyuların üretimleri de büyük ölçüde değişebilir. Jeotermal kuyularda kazının büyük olması ve bu yüzden büyük kapasiteli sondaj makineleri gerektirmesi, kazılacak kayaların sert olması ve yüksek sıcaklık gibi nedenler, birim maliyetin petrol sondajlarından %40 ile %100 arasında daha yüksek olmasına yol açmaktadır. Yüzye tesislerinin maliyetini tahmin etmek daha kolaydır.

Jeotermal sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri, genelde, toplam maliyetin küçük bir bölümünü oluşturur. Ancak, jeotermal akışkanın klorürler gibi aşındırıcı ve/veya silika, karbonatlar



gibi çökeltme eğilimi taşıyan bileşenler ya da CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi çözünmeyen gazlar içermesi, bu maliyetleri de büyük ölçüde artırmaktadır. Dünyada işletme ve bakım maliyetleri 0,1 ile 0,4 º/kwh arasında değişmektedir. Örneğin çözünmeyen gazlar bulunan ve kalsit çökeltmesi yaşanan Kızıldere jeotermal sahasında, çökeltmenin periyodik olarak giderilmesi 0,25 º/kwh, CO<sub>2</sub>'in giderilmesi ise 0,58 º/kwh'e mal olmaktadır.

İşletme ve bakım maliyetlerinin tahminindeki diğer bir faktör, rezervuar/santral kompleksinin ömrü boyunca oluşan sistem performansıdır. Santral ömrünün ilerlemiş aşamalarında ortaya çıkabilecek güç sıkıntısını ve yüksek kapasite faktörlerini (rezervuardaki ısı düşüm ile türbin performansının azalması) korumak zorlaşabilir. Tüm bu faktörler etkilerini giderek artırdıklarından, jeotermal sistemin ileri aşamalarında daha fazla bakım ve onarım gerekecektir.

Jeotermal santrallerin termik santrallerden temel farkı, suyu buhar haline getiren bir kazan sisteminin olmamasıdır. Türbinde kullanılan buhar doğrudan üretilir ya da sıcak sudan ayrılır. Dolayısıyla, bu tip santrallerde yakıt masrafı yoktur. Ekonomik açıdan kabaca değerlendirildiğinde, kazan maliyeti kuyu başındaki su ve buharı ayıran (separasyon) sistemler ile kuyu-santral arasındaki boru maliyetine eşdeğer kabul edilir. Diğer taraftan delinen kuyu maliyetleri ile bunların bakım ve onarım masrafları da yaklaşık olarak yakıt giderine eşdeğer sayılabilir.

Fosil ve nükleer yakıtlarla karşılaştırıldığında, jeotermal santrallerin ısı verimliliği daha düşüktür. Enerji santralına akışkan taşınırken, dönüşüm verimliliğinin düşük olması nedeniyle, çok büyük debilerde sıcak su veya buhar gerekmektedir. Bir santral için çok sayıda üretim kuyusu gerekir. Akışkan taşıma maliyetleri ise bu kuyuların aralıklarına, kuyu başına üretim debisine ve santralin toplam akışkan gereksinimini belirleyecek kapasitesine bağlıdır.

Jeotermal rezervuar/santral sisteminin ömrünü önceden kestirmek zordur. Örneğin santralin ömrü 25 yıl olabilir, fakat rezervuar ömrü bundan çok daha uzun olabilir. Bunun da belirlenmesi

zordur. Jeotermal enerjiyi güneş ve rüzgar gibi yeni enerji alternatiflerinden ayıran en büyük fark, elektrik ve ısı üretim fiyatlarının ticari açıdan kabul edilebilir olmasıdır. Konut ısıtma alanında enerjinin doğrudan kullanımı gerçekleştiğinden verim yüksektir. Bundan dolayı üretilen akışkanın maliyeti (º/kwh), elektrik üretimine göre oldukça düşük olacaktır. Enerji üretim süreçlerindeki dış maliyet, çevrenin etkilenme maliyeti olarak kabul edilmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan bu sosyal maliyet, oldukça olumlu gözükmemektedir. Yalnız bu sosyal maliyet atık suların nehirlere, kullanılmayan CO<sub>2</sub>'nin havaya bırakılmasıyla çok artacaktır.



*Sıcak su kaynaklarının yol açtığı kalsit çökeltmesinin Pamukkale'dekine benzer bir diğer örneği de ABD'de vardır.*

Jeotermal sistemlerden yararlanmayı olumsuz etkileyen önemli unsurlardan biri uzaklıktır. Bu durumda, elektrik, uygun bir maliyetle yerinde üretilip var olan şebekeye bağlanabilir. Ancak, jeotermal santraller nükleer ve fosil yakıtlı santrallerden daha küçük kapasiteli (30-100 MW) olduğundan, jeotermal santrallerin elektrik üretmek için kullandığı akışkan (buhar) nedeniyle büyük üretim sistemlerinde temel yük üniteleri olarak kullanılmaları uygun bir yol olarak düşünülebilir. Türkiye'nin yaklaşık 20 000 MW olan elektrik üretim kapasitesinin yalnız 20,4 MW'ı jeotermal enerjiye bağlıdır. Önümüzdeki yıllarda oluşacak enerji açığını karşılamak için jeotermal enerji kullanımı artırılabilir.

Elektrik dışı kullanım (doğrudan kullanım) pazarı oldukça farklıdır. Jeotermal enerjiyi konut ve proses ısı sistemlerinde kullanmak tüketiciler için yeniden yapılanma gerektirir.

## Jeotermal Enerjinin Çevre Etkisi

Jeotermal sistemlerde enerji elde edilirken önemli boyutlarda çevre kirlenmesi olabilir. Gaz emisyonları olabilir, atık sularda bitki ve hayvanlar için zararlı olan zehirli maddeler içerebilir. Kirlenme olan bölgelerin eski durumlarına getirilmesi büyük maliyet gerektirebilir. Bu maliyetleri en alt düzeye indirmek için, tesis kurulurken jeotermal kaynakların çevre üzerindeki etkileri dikkatle değerlendirilmelidir.

Jeotermal enerjiden elektrik elde edilen sistemlerin dönüşüm verimlilikleri düşük olduğu için, çevreye büyük

miktarda atık ısı bırakılır. Atık ısı büyük bir alana yayılır, bulut oluşumlarını etkiler ve yerel iklimde değişiklikler yapabilir. Ayrıca atık suların borularla yakınlardaki akarsu ve göllere verilmesi de yerel ekolojii etkileyebilir. Isının bu biçimde çevreyi etkilemesi ve boşa harcanmasının önlenmesi, kaynağın kullanım çeşitliliğini artırmakla olur. Çevreye verilerek harcanan ısı, konut ısıtması ya da proses ısı olarak kullanmak amacıyla kazanılabilir. Jeotermal

kuyuların çevre üzerine diğer bir fiziksel etkisi de gürültüdür. Kuyularda çalışırken gürültü 120 dB'i aşabilir. Bu gürültü düzeyi, susturucu olarak adlandırılan atmosferik separatörlerle 85 dB'e indirilebilir. Kuru buhar kuyularında ise gürültünün azaltılması çok daha zordur.

Jeotermal enerji santrallerinde, gaz ve sıvıların bırakılması kimyasal kirlenmeye yol açar. Jeotermal enerji kullanılırken, hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) ve karbon dioksit açığa çıkar. H<sub>2</sub>S'in kötü kokusu ve zehirleyici etkisi vardır. ABD'de H<sub>2</sub>S'in jeotermal buhardan ayrılması zorunlu tutulmaktadır. Karbon dioksit, jeotermal gazların en önemli bileşeni olup, toplam içinde %95 oranında bulunur. Bu gaz çevreye zararlıdır. Atmosferde bu gazın artmasının en büyük nedeni fosil yakıtlardan enerji elde edilmesidir. Halbuki jeotermal enerji nedeniyle açığa çıkan karbon dioksit miktarı oran olarak daha azdır.

Türkiye'de jeotermal bir alan olan Kızıldere sahasında CO<sub>2</sub>, 750 g/kwh oranıyla oldukça yüksektir. Yalnız, bu

sahada çıkan CO<sub>2</sub>'in tamamı atmosfere verilmemekte ve önemli bir kısmından kuru buz elde edilmesinde yararlanılmaktadır.

Jeotermal atık sularında bulunan kimyasalların etkisi daha önemlidir. Toplam çözülmüş madde miktarı fazla olmasa da, bor gibi bazı kimyasal maddeler bitkiler için tehlikeli olabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, jeotermal atık sularından silika, lityum, borik asit ve arsenik gibi kimyasal maddelerin ayrılabilirdiği belirlenmiştir. Atık suyun yeraltına tekrar basılması, hem kirliliği önlemek hem de jeotermal rezervuarın hidrolik olarak beslenmesi açısından önemlidir.

Atık su bazı durumlarda yüksek oranda çözülmüş madde içerebilir. Bu çözülmüş maddeler soğuma etkisiyle çökelirler. Bu maddeler ne kimyasal olarak reaksiyona girerler ne de zehirlidirler; bu sebeple gömüldüklerinde bu sorun kolayca ortadan kaldırılabılır.

Jeotermal kuyu platformları için 1000-2500 m<sup>2</sup> alana gereksinim vardır. Ayrıca kuyulardan santrale giden ve buhar taşıyan borular oldukça büyük bir alan kaplar. Bu yüzden jeotermal santraller, tüm tesisleriyle, benzer kapasitedeki fosil yakıtlı santrallara göre çok daha fazla yer işgal ederler. Bu sorun, birçok platform açmak yerine, bir tek platformda birçok eğik kuyu yapılarak en alt düzeye indirilebilmektedir.

Soğutma suyu tüketiminin çevreye etkisi de jeotermal santraller için önemli bir konudur. Yeraltı su akışı üzerindeki potansiyel etkinin yanında, büyük hacimlerdeki suyun buharlaşması yerel iklimi etkiler. Su durumunun kritik olduğu yerlerde, sulu soğutma yerine kuru soğutma tercih edilmelidir.

Jeotermal santral işletilirken, yeraltından çekilen su, sismik ve göçme türünde tehlikelere neden olur. Suyun çekilmesi veya yeraltına enjekte edilmesi durumunda rezervuar kayacının gerilme koşulları değişir, bu da deprem oluşumu olasılığını ortaya çıkarabilir. Büyük miktarda suyun yüksek basınçla aktif faylara basılması durumunda da sismik aktivite ortaya çıkacağından bunlardan kaçınmak gerekir. Ne kadar dikkatli olursa da çeşitli jeotermal sahalarda doğal mikrosismik olaylar sık sık oluşur, fakat za-

rar verici sarsıntılar yok denecek kadar azdır. Yer kabuğundaki gerilimlerin küçük yerel sarsıntılarla sık sık boşalması, bu alanlar üzerinde yüksek gerilimlerin yeterli derecede toplanmasını ve böylelikle büyük depremlerin oluşmasını önler.

Yeraltı rezervuarlarından büyük hacimlerde akışkan çıkarılır ve yerine bir şey konulmazsa, üst tabaka basıncı gözenekli rezervuar kayacını sıkılaştırabilir. Bu da, yüzeydeki arazide göçmeye neden olabilir. Bazı sahalarda atık suyun rezervuara geri basımıyla göçme azaltılarak doğal yapıya geri dönmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden jeotermal alanlarda, rezervuar basıncının korunmasına önem verilmelidir.



*El Salvador'da Ahuachapán jeotermal santralının soğutma kuleleri*

Jeotermal enerji kaynakları, özellikleri nedeniyle, çoğu kez yerleşim alanlarının uzağındaki bölgelerde dir. Yol inşaatları yöreyi dışa açar ve sıcak su, kaplıca ve balneoterapi (sıcak sularla tedavi) olanakları turistleri çekerek yeni bir endüstri yaratabilir. Tüm bu etkiler ve olası problemlerin çözümleri çevresel açıdan araştırılmalıdır.

## Türkiye'de Jeotermal Enerji

Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın şanslı ülkelerinden biri sayılabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda, ülkemizde 600'den fazla sıcak su kaynağı olduğu belirlenmiştir. M.T.A.'nın verilerine göre, saptanan rezerv 1045 MW'dır. Bu miktar da, 1x10<sup>6</sup> ton/yıl petrole eşdeğerdir. Kızıldere sahasında elektrik enerjisinin üretiminden sonra bırakılan atık sudaki enerji 6x10<sup>5</sup> varil/yıl petrol eşdeğeri olarak hesaplan-

mıştır. Diğer taraftan yine M.T.A.'nın verilerine göre, Türkiye'nin olası jeotermal potansiyeli 31 500 MW'tır.

1960'lı yılların ortasında U.N.D.P. ve M.T.A.'nın ortak projesi olarak geliştirilen Kızıldere jeotermal sahasında bugün bir elektrik santrali bulunmaktadır. Yetmişli yıllarda M.T.A. jeotermal kaynaklar konusundaki araştırmalarına yalnız devam ederek, başta Germencik olmak üzere birçok hidrotermal kaynağı ortaya çıkarmıştır.

Son yıllarda Simav, Kırşehir, Balçova ve Gönen gibi birçok yerleşim alanında merkezi sistemle ısıtma projelerinde jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır. Türkiye'de bulunan sahalardan büyük bir çoğunluğunun düşük entalpili olmaları

nedeniyle, jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi teknolojik ve ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Kızıldere sahasında elektrik üretmek amacıyla yaklaşık 20 MW'lık bir santral kurulmuş ve santralin işletilmesi T.E.A.Ş'a (o zamanki Türkiye Elektrik Kurumu) devredilmiştir. Kızıldere sahasının daha fazla geliştirilememesi ve 20 MW kurulu güce rağmen, özellikle üretim sırasında oluşan kalsit çökmesinden kaynaklanan sorunlar nedeniyle, elektrik üretiminin yaklaşık 10 MW seviyesinde gerçekleşmesi, T.E.A.Ş'ın jeotermal enerjiye bakışını olumsuz yönlendirmiş olabilir.

Türkiye'de jeotermal enerjiden yeterli düzeyde yararlanamamanın nedenleri teknik, finans ve yönetim sorunlarına bağlanabilir. Teknik sorunlar arasında kaynakların düşük entalpili olması, üretim sırasında rezervuarda, kuyu içinde ve yüzey donanımlarında kalsit çökmesi ve çevre sorunları yer almaktadır. Düşük entalpili jeotermal kaynaklar yerleşim alanlarının ısıtılmasında, bazı endüstriyel işlemlerde ve seracılık gibi alanlarda kullanılabilir. Ancak doğrudan kullanım projeleri gerçekleştirilirken (Kızıldere jeotermal sahasının işletilmesinde de görüldüğü gibi), bu tür projelerde kaynağın sağlıklı kullanılması için rezervuar mühendisliği çalışmalarına gereken önem verilmelidir. Bu nedenle, bu kaynakların bulunduğu rezervuarlarda üretimle düşen basıncın tekrarbasma yöntemiyle (reenjeksiyon) korunması-

nin yanı sıra, çevrenin korunmasının da rezervuar mühendisliğiyle olanaklı olduğu unutulmamalıdır. Bu yapılmadığı takdirde, bir süre sonra yeterli sıcak su kalmayacağından bazı projelerden vazgeçilmesi tehlikesi doğabilir.

Geçen son 10 yıl boyunca Kızıldere'den bırakılan atık suyun içerdiği ve bitkisel hayat için zararlı bor minerallerinin, Türkiye'nin en verimli tarım havzalarından biri olan yörede ne kadar tahribat yaptığı araştırılması gereken bir konudur.

Jeotermal sahalarda oluşan çevre ve rezervuar mühendisliği sorunlarına en iyi örneklerden birisi de, Pamukkale yakınında bulunan Karahayıt Kaplıcaları'ndaki durumdur. Herkesin bir kuyu açarak kendi sorununu çözmeye eğilimini sürdürdüğü bu bölgede, kızıl travertenleri yaratan kaplıca suları yok olmuş ve turizm açısından çok önemli olan bu bölge büyük sorunlarla başbaşa kalmıştır.

Türkiye'de bilinen jeotermal sahaların çoğunluğunda kalsit çökmesi sorunu yaşanmaktadır. Ancak, günümüz teknolojiyle bu sorunun çözümü olanaklıdır. Genelde düşük entalpili sahalarda kimyasal önleyiciler kullanılırken, Kızıldere'de üretim kuyularının periyodik olarak temizlenmesi veya asitleme yöntemine başvurulmaktadır.

Türkiye'deki jeotermal enerjinin yeteri kadar hızlı gelişmemesinin en önemli nedenlerinden biri de, uzun yıllardan beri jeotermal enerjiye yatırım yapılmamasıdır. Germencik Sahası'nın hiçbir şey yapılmadan yıllardan beri olduğu gibi duruyor olması ekonomik bir kayıptır. Diğer yandan, düşük entalpili sahaların yerleşim alanlarının ısıtılmasında, seracılıkta ve bazı endüstrilerde kullanılmasını içeren projeler ve uygulamalar, Devletin belirgin bir jeotermal enerji politikasından çok yerel yönetimlerin veya kişilerin çabalarıyla gerçekleşmektedir. Jeotermal kaynak bakımından zengin Batı Anadolu bölgesindeki birçok uygulama projesi, bu tür enerjinin son derece ekonomik olduğunu göstermiştir.

Teknik olmayan en önemli sorunların başında da kaynakların sahipsizliği gelmektedir. Jeotermal kaynakların kontrolü Devlet tarafından yapılma-



**Kosta Rika'da Miravalles jeotermal sahasında üretim ölçümleri yapılan bir tesis** maktadır. Yeraltı suyu kaynakları D.S.I. tarafından, petrol ve doğal gaz kaynakları P.I.G.M. (Petrol İşleri Gen. Müd.) tarafından kontrol edilirken, hidrotermal kaynakları kontrol eden, işlemleri ve işletmeleri denetleyen ve gereğinde yükümler getirebilen herhangi bir otorite yoktur. Devletin yeni bir kurum aracılığıyla ya da varolan kurumlardan uygun birine vereceği yetkiyle ruhsat verilip işletilmesi gereken hidrotermal kaynakları sağlıklı şekilde denetlemesi gerekmektedir.

Yerkabuğunun yakın derinliklerine yükselmiş magmanın ısısı söz konusu olduğunda sınırsız, sıcak akışkan üretimi söz konusu olduğunda ise sınırlı sayılabilecek jeotermal enerjinin, yerel olarak kullanılma zorunluğu da gözönüne alınırsa, ülkelerin enerji sorunlarını tek başına çözebilecek bir kaynak olmadığı ortada. Ancak Türkiye'nin de içinde bulunduğu bir grup ülke için, enerji sorunlarının yerel, kısmi ve çevreye en az zarar veren çözümünde ekonomik bir alternatif enerji kaynağı olma özelliği var. Türkiye'de jeotermal enerjinin özellikle doğrudan kullanımının (ısıtma, seracılık ve endüstri) artırılmasıyla önemli yararlar sağlanacaktır. Tükettiği enerjinin neredeyse yarıya yakını ithal eden Türkiye'nin, jeotermal enerji zenginliğinden yeteri kadar yararlanabilmesi için yapılacak çok şey vardır.

Türkiye'de elektrik enerjisi elde edilebilecek, bilinen yüksek entalpili iki jeotermal saha Kızıldere ve Germencik'tir. Kızıldere halen işletilmektedir. Germencik ise, yapılan modelleme çalışmalarına göre, 60 MW elektrik enerjisi üretebilir. Germencik Sahası 80'li yıllarda geliştirilmiştir. Buraya en kısa zamanda bir elektrik santrali kurulması gerekmektedir. Aksi takdirde, ilk

yapılan yatırımlarla üretime başlama arasında uzun zaman geçtiği için, tüm yatırımın ekonomisi olumsuz yönde etkilenecektir. Bu sahanın işletme-devret yöntemiyle yerli veya yabancı yatırımcılara devredilmesi bir çözüm olabilir. Geri kalan tüm jeotermal kaynaklar düşük entalpilidir, ama rezerv olarak oldukça büyüktür. Bunlar daha çok Ege Bölgesi'nde yoğun olarak

bulunmaktadır. Bu bölgede nüfusun orta boy ilçelerde toplanması, bu ilçelerde jeotermal enerjiyle konut ısıtmacılığını çekici hale getirmektedir. Denizli, Nazilli, Aydın v.b. gibi büyük yerleşim merkezleri civarındaki kaynakların endüstride proses ısısı olarak kullanılması, hem bu yörelerdeki enerji yoğunluklu sanayiye ucuz enerji girişiyle kâr sağlayacak, hem de yeni sanayi yatırımlarını bölgeye çekerek hava kirliliği olmaksızın gelişmeyi gerçekleştirecektir.

Sonuç olarak, Türkiye'deki jeotermal enerji kaynaklarının tümüne yakınının düşük entalpili olması, kaynakların değerlendirilmesinde endüstri proses ısısı ve konut ısıtmasına yönelmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Aslında bu yolla kaynak veriminin % 30-40'lara yükselmesi (elektrikte % 5-15 arası) sevindiricidir. Yine de Türkiye'nin gelecek yıllardaki enerji gereksinimleri dikkate alındığında jeotermal enerjinin tek başına çözüm olmayacağı, ama enerji sorununda tamamlayıcı bir rol oynayacağı açıktır. Devletin ve özel yatırımcıların, jeotermal kaynakların son derece çekici olduğu konut ısıtması ve proses ısısı gibi kullanımlara yatırım yapması ülke ekonomisine yeni bir dinamizm kazandıracak, hava kirliliğini azaltma yanında petrol için harcanan döviz giderlerini de azaltacaktır.

Umrhan Serpen

İTÜ Maden Fakültesi

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü

- Kaynaklar**  
 Arntson H., Christher H., *Enerji Güçtürücü*, Nispetiye, Mesias, 1989.  
 Edwards L.M., Chilingar G.V., Rocke III H.H., Ford W.H.,  
 "Geothermal Systems", *Handbook of Geothermal Energy*,  
 Gulf Pub. Co., Houston, 1982.  
 Elstet J., *Geothermal Systems*, Academic Press, London, 1981.  
*Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu 94 Tebliğleri*, Denizli, 24 Eylül 1994.  
 Ohtani K., "Geothermal Energy", *Encyclopedia of Chemical Technology*,  
 Vol. 11, 30 Ed. 1980.  
*Proceedings, International Conference on Industrial Uses of  
 Geothermal Energy*, Reykjavik, İzlanda, 24 Eylül 1992.  
 Serpen U., Saman A., "Jeotermal Enerji ve Petrol Mühendisleri",  
*Petrol ve Doğalgaz Dergisi*, Haziran 1995.  
*Türkiye 6. Enerji Kongresi Tebliğleri*, İzmir, 17-22 Ekim 1994.  
*III. Ulusal Bahenbiçi Kongresi*, Pamukkale, 4-5 Mayıs 1995.