

JEOTERMAL ALANLARDA KAYNAK KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

Berrin AKAN*

ÖZ- 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.

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.

JEOTERMAL SİSTEMİN TANIMLANMASI

Jeotermal sistemlerde koruma kavramı iki ayrı başlık altında ele alınmalıdır. Bunlardan bir tanesi jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın (termal akifer) kirlenici 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

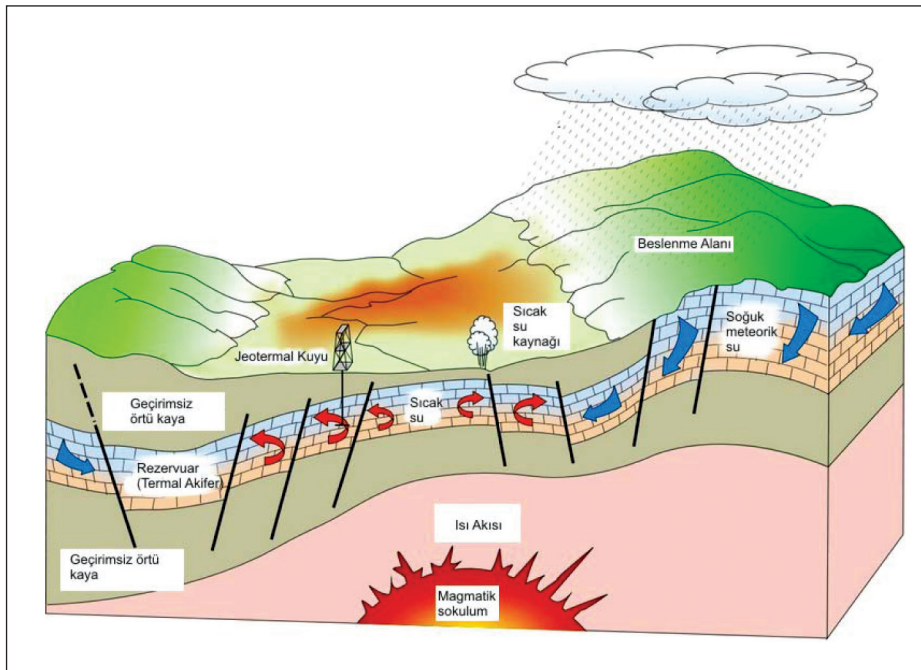
*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.

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 boşalimler (kaynak) ve bunlara ait fiziksel özellikler
- Kuyulardan elde edilen akışkana ait bilgiler (debi, sıcaklık vb. fiziksel özellikler)
- Yüzey ve yüzey altı jeofizik verileri
- Rezervuara ait sıcaklık dağılımı
- Rezervuara ait basınç dağılımı
- Düşey basınç gradyanı dağılımı
- Yer altı suyu 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 yüzeylenen birimler ayırtlanmalı, alanın tektonik özellikleri incelenmelidir. Hidrojeoloji çalışmaları ile inceleme alanında gözlenen birimlerin hidrojeolojik özellikleri tanımlanmalı, jeotermal sistemi oluşturan rezervuar kayaç (akifer) ve örtü kayalar 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



Şekil 1- Jeotermal sistemi oluşturan bileşenler

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 ısının 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 rezervardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açacak parametreler takip edilmelidir. Rezervarda 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.

Koruma alanları çalışmalarında alandaki kirlenici unsurlar belirlenmeli ve bu unsurların ortadan kaldırılması için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Jeotermal kaynağın kirlenmesine sebep olabilecek kirlenici etkenler:

- Suyun kalitesini bozacak nitelikte malzemenin kaynak çevresinde biriktirilmesi
- Yer altı suyu içeren akifer formasyon üzerindeki koruyucu tabakanın kaldırılması
- Maden işletmeleri
- Plansız yerleşim birimleri
- Mezarlıklar
- Hastaneler
- Yerleşim birimlerinin atık sularının taşınmasında yapılacak hatalar
- Hava yolu 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 ve diğerleri, 1982). Ayrıca kuyularda üretim, reenjeksiyon ve düşüm testleri yapılarak rezervuarın değişik üretim koşullarındaki davranışı belirlenmeli ve jeotermal kaynağın sürekli izlenmesi sağlanmalıdır.

Jeoloji Çalışmaları

Kaynak krouma alanında gerçekleştirilecek jeoloji çalışmaları kapsamında jeotermal alanın uygun ölçekte detaylı jeolojisi çıkarılmalı, litolojik olarak alanda yüzeylenen birimler ayırtlanmalı, alanın tektonik özellikleri incelenmelidir.

Hidrojeoloji Çalışmaları

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

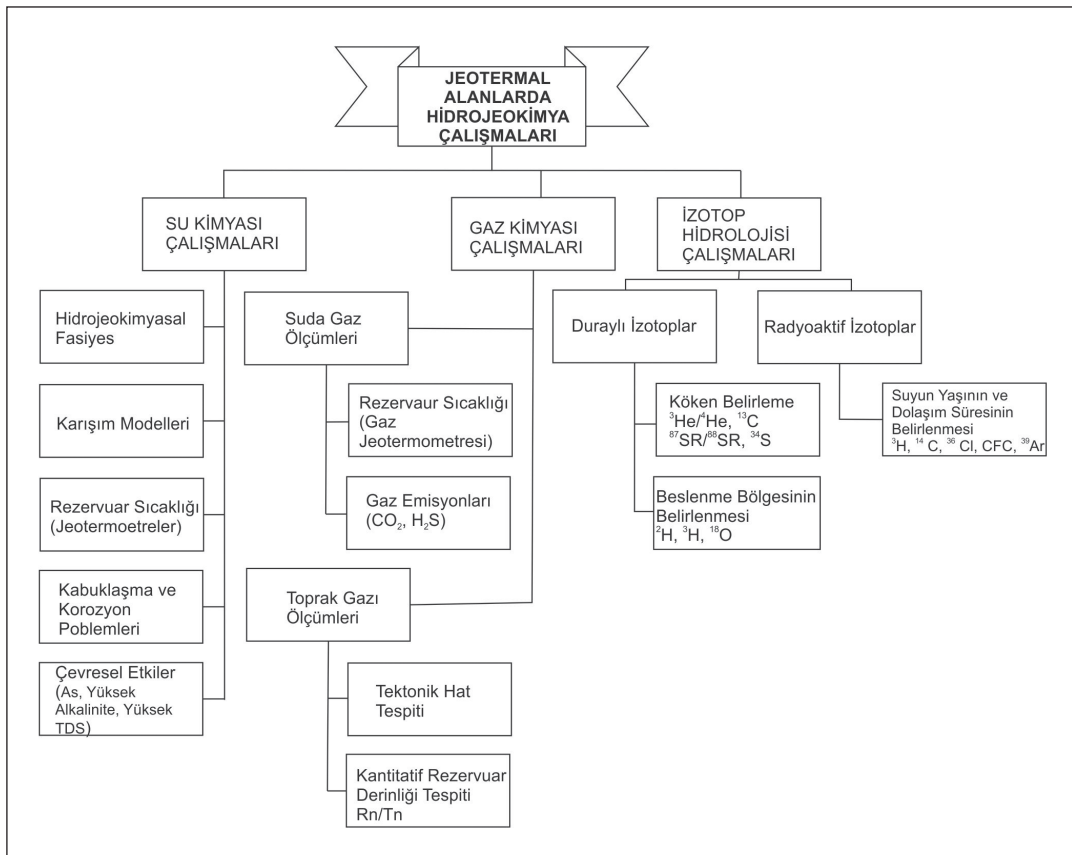
elde edilecek veriler ışığında beslenme alanı, suyun yaşı, kökeni ve dolaşım sistemi hakkında bilgi edinilmelidir.

Hidrojeokimya Çalışmaları

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 ısının 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 2).

Sıcak suların kimyasal bileşenlerinin türemesinde iki temel mekanizma vardır. Bunlardan ilki dolaşım halinde olan meteorik suya magmatik çözelti katkısından türeyen kimyasal kompozisyon; ikincisi ise ısınmış olan suyun kayayla reaksiyonu ve kayacı altere etmesi sonucu kimyasal bileşenlerin türemesidir. Ülkemizde yer alan sıcak ve mineralli suların büyük çoğunluğu meteorik kökenli sulardır. Bu durum göz önüne alınarak jeotermal alanda kaynak



Şekil 2- Jeotermal alanlarda gerçekleştirilmesi gereken hidrojeokimya çalışmaları

koruma alanı çalışması gerçekleştirilirken örnekleme noktaları, beslenme alanından itibaren akım yolu boyunca soğuk su kaynakları veya kuyuları ile ılık ve sıcak su kaynakları ve kuyularını kapsayacak şekilde belirlenmelidir.

Su kimyası, gaz ve izotop analizlerinin güvenilirliği ve buna bağlı olarak analiz sonuçlarının yorumlarının doğruluğu; örneğin uygun şekilde alınması ve uygun koşullarda saklanması ile yakından ilgilidir. Kondense olmayan gaz ve izotop örneklemeleri analizi yapacak laboratuvarın çalışma yöntemine göre yapılması gereklidir.

Herhangi bir su noktasından alınan su örneği o suyun tüm özelliklerini yansıtan bir parçası olmalıdır. Bununla birlikte, su örneklendiği andan itibaren farklı sıcaklık ve basınç koşullarının etkisine girmekte ve buna bağlı olarak kimyasal bileşiminde değişiklikler oluşmaya başlamaktadır. Sıcak sulardaki bazı iyon ve bileşikler son derece kararsızdır. Örnek kaplarına alınan sıcak sular, doğal ortamlarından uzaklaştırılmış olduklarından, kimyasal yapılarında bir takım değişiklikler olabilmektedir. Sıcaklık düşümü ile birlikte özellikle oksijen, karbondioksit, ve hidrojenin kısmi basınçları kolaylıkla değişir. Bu erimiş gazların kısmi basınçlarının, pH ve kondüktivite değerleri üzerinde etkisi büyüktür. Hidrojeokimyasal çalışmalarda amaç, suyun doğal koşullardaki kimyasal yapısını belirlemek olduğundan, örneklenen suda çevresel koşullara bağlı olarak oluşabilecek değişimlerin analiz yapılana kadar engellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle alınan su örneğine analizi yapılacak parametreye bağlı olarak, olası kimyasal reaksiyonları engellemek için farklı kimyasallar eklenmektedir.

Koruma alanı çalışması kapsamında, kaynak ve kuyulardan yapılan su örneklemeleri, yukarıda anlatılan bilgiler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir ve çalışma alanından toplanan su örnekleri 1000 ml'lik polietilen şişelere alınır. Majör anyon ve katyon analizlerine yönelik olarak her örnekleme noktasından iki ayrı örnek şişesine örnek alınmalıdır. Su örnekleri mavi bant süzgeç kağıdından süzülmemelidir. Kararlılık gösteren iyon analizleri için

alınan numuneye bir ön işlem yapılmasına gerek yoktur. Örnek alınmadan önce örnek şişesi, örnek alınacak su ile 2-3 kez çalkalanmalı hava boşluğu kalmayacak ve sızmayacak şekilde ağzı tıpa ve vidalı kapak ile kapatılmalıdır. Ağır metal ve katyon içeriklerinin belirlenmesi için ise yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra pH<2 koşulunun sağlayacak şekilde asitlenmiş su örneği alınmalıdır. Tüm su örnekleri serin ortamda saklanmalı, ışıktan uzak tutulmalıdır.

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 çeşitli grafikler aracılığı ile değerlendirilebilir.

Bunlardan en çok kullanılanları aşağıda sunulmuştur.

- 1- Sütun Diyagramlar
- 2- Dairesel Diyagram
- 3- Yatay çizgili diyagram
- 4- Işınsal diyagram
- 5- LL-Plot (Kare diyagram)
- 6- Üçgen diyagramlar
- 7- Hill Diyagramı
- 8- Piper diyagramı
- 9- Üçgen-kare diyagramı
- 10-Düşey yarı-logaritmik diyagram (Schoeller)

Toprak Gazları

Toprakta Hg, CO₂, H₂S, Rn ve Tn gaz analiz sonuçları, rezervuarın yapısal karakteristiği, jeotermal aktivitenin sığ derinliklerdeki yayılımı ve fay-kırık gibi tektonik hatların konum ve uzanımlarını aydınlatmada kullanılır. Genelde, Hg gazının yüzeye derin ve sıcak akışkanlarla taşındığı düşünülür. Rezervuarın kayaç yapısı ve volkanik aktiviteye bağlı olarak, Hg konsantrasyonu, yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkanlarda yüksektir. Yukarıya yükselen akışkanla yüzeye yaklaşan Hg'nin bir kısmı toprak yüzeyine yakın yerde, toprak tarafından absorblanır. Jeotermal sistemlerin üstünde

1 metre derinliklerde ölçülen toprak ve toprak gazı içindeki yüksek Hg anomalileri, bize jeotermal aktivite hakkında güncel bilgi vermektedir. Diğer bütün gazlarda olduğu gibi, orjinleri ne olursa olsun, CO₂ ve Rn gazlarının kırık ve çatlaklarda yoğunlaştığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla toprakta 1 m derinliklerde yapılan CO₂ ve Rn ölçüm sonuçları tektonik yapı (fay-kırık), lokasyonları hakkında pozitif bilgi verir. Yarılma süresinin kısalığı dolayısıyla, özellikle Rn, fay ya da kırık yüzeylerinden fazla uzağa gidemez. Dolayısıyla yoğunlaştığı ya da yüksek anomali verdiği yerler öncelikle fay ve kırık üzerleridir. Diğer taraftan, Tn'nin yarılma süresi, Rn' den kısadır. Dolayısıyla çok derinlerden kaynaklanan Tn'nin yüzeye Rn kadar yüksek konsantrasyonla yükselmesi mümkün değildir. Buna göre yüksek Rn/Tn oranı derin, düşük Rn/Tn oranı sıg rezervuarları ifade eder. Bir alanda karelej sistemiyle ölçülen toprak gazlarının çizilen konturları, hem jeotermal aktivitenin boyutları, hem fay doğrultuları ve hem de oransal olarak rezervuar derinlikleri hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar.

İzotop Çalışmaları

Bir jeotermal alanda duraylı izotoplar (18O, 2H, 3H, 34S) beslenme yükseklikleri ve dolaşım süresinin saptanmasında kullanılır. Ayrıca jeotermal akışkanlarda, radyoaktif izotoplar kullanılarak yaş ve 3He/4He izotopları kullanılarak köken tayini yapmak mümkündür. Yaş tayinlerinde en çok kullanılan radyoaktif çirkeklili izotoplar; kısa yaş tayininde 3H, 32Si, 37Ar, 85Kr ve 222Rn, uzun yaş tayininde 14C, 35Cl, 39Ar ve 81Kr dir.

Kabuklaşma ve Önlleme Yöntemleri

Jeotermal uygulamalarda, karbonat çökelimleri ve başka bir deyişle kabuklaşma, jeotermal akışkan borularda yukarıya doğru yükselirken veya yatay olarak akarken herhangi bir sebeple basınç düşmesi sonucu karbon dioksit (CO₂) gazlarının sıvı ortamı terk edip gaz fazına geçmesiyle birlikte başlar. Bu nedenle kabuklaşma yönünden en büyük sıkıntılar basınç düşüşlerinin kaçınılmaz olarak meydana geldiği düşey üretim boruları ve yüzey seperasyon aygıtlarında yaşanır.

Karbonat kabuklaşmaları şu yollarla kontrol altına alınabilir:

- ✓ Karbonat-bikarbonat dengesini pH ve CO₂ kısmi basıncı ile ayarlamak,
- ✓ Oluşan kabuğu peryodik olarak asit yada matkapla temizlemek,
- ✓ Uygun bir inhibitörle kabuk oluşumunu engellemek,
- ✓ Dalgıç pompa kullanarak basınç düşüşünü ve dolayısıyla kabuk oluşumunu engellemek,

Hem ekonomik ve hem de teknik açıdan diğer yöntemlere göre avantajlı olan inhibitör kullanımıdır.

Jeofizik Çalışmalar

Jeofizik çalışmalar yeraltındaki materyalin fiziksel özelliklerinin değişimlerinin derecesinin kantitatif olarak ölçümünü sağlar. Bu bilgiler yeraltının üç boyutlu resmini görmeyi sağlar. Gravite, sismik, elektrik, elektromanyetik araştırmalar ana araştırma araçlarıdır. Bütün bu araştırmalarda ana ilke kayaçların fiziksel özelliklerindeki farklılıkların belirlenmesidir.

Gravite Araştırmaları

Gravite araştırmaları, temel kayanın yükseldiği yerler ve derinliği, gömülü intrüzif kayaçların yeri ve büyüklüğü, jeolojik formasyonlar arasındaki yoğunluk farklılıklarından yararlanarak tektonik hatların belirlenmesi gibi yer altı yapılarının ortaya konmasını ve belirlenmesini sağlar. Gravite çalışmaları bir jeotermal bölgeye, global tektonik bakış açısı sağlayan bir yöntem olup jeolojik yapının araştırılmasında çok yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Gravite çalışmalarında gravite değerleri arazide ölçülür, rakım ve topoğrafik düzeltme yapılır, düzeltilmiş değerlere göre gravite haritaları çizilir.

Manyetik Araştırmalar

Jeotermal araştırmalarda manyetik metotlar, gravite metoduyla birlikte yaygın olarak kullanılır. Manyetik metodun önemli uygulama alanları aşağıda verilmiştir.

- ✓ Gizli intrüziflerin lokasyon ve derinliğinin saptanması, dayk ve fayların izlenmesi
- ✓ Gömülü lavaların (buried lava) yeri ve temel derinliği
- ✓ Hidrotermal alterasyon alanlarının yeri ve Küri noktası derinliği analizleri
- ✓ Paleomanyetizma

Elektromanyetik Araştırmalar

Manyetotellürik metot.- Manyetotellürik (MT) rezistivite metodunda yerin doğal elektromanyetik alanı enerji kaynağı olarak kullanılarak yerin elektriksel rezistivitesi ölçülür. Bu metot, derinlik hakkında iyi bilgi verir. Kayaçların elektrik iletkenliği poroziteyle, sıcaklıkla, içerdiği suyun tuzluluğu ile kayda değer bir şekilde artar. Kuru kayaçlarda kondüktivite (iletkenlik) sıcaklıkla doğru orantılı olarak yavaş-yavaş artarken, mağma çok iletkendir. MT ölçümleri araştırılan jeolojik formasyonların özellikleri hakkında çok önemli ipuçları verir. Kayaç birimleri arasındaki kondüktivite değişiminden dolayı, MT verilerinin yorumlanması ile derinlik, büyük stratigrafik birimlerin sınırları gibi jeolojik yapılar açığa çıkarılabilir.

Isı Akısı Araştırmaları

Bir jeotermal rezervuarın ısısı tabii ki, çevreleyen formasyonlara göre daha yüksektir. Jeotermal rezervuara yakın yeryüzünde yüksek yer sıcaklığı ve büyük miktarda ısı çıkışına rastlanabilir. Yüze sıcaklığının ve ısı akısının ölçülmesi rezervuardaki minimum sıcaklığın ve entalpinin tahmin edilmesini sağlar.

Elektriksel Araştırmalar

Elektrik araştırmaları yer altı alterasyon zonlarının, jeotermal verilerin zayıf olduğu yerlerde düşük permeabilite tabakalar tarafından çevrelenmiş yüksek poroziteli sıcak su rezervuarlarının varlığının anlaşılması için kullanılan bir yöntemdir. Elektriksel rezistivite, yeraltına elektrik akımı gönderilmesi ve potansiyel farkının ölçülmesi sonucu elde edilir. Yeraltındaki kayaçlarda sıcaklığın artması, kayaçlarda alterasyonun ve su içeriğinin bulunması, rezistivi-

teyi düşüren etkenlerdir. Bir jeotermal rezervuar, yüksek sıcaklıkla ilgili düşük rezistivite değerleri ile direkt olarak belirlenebilir.

Sismik Araştırmalar

Bu metot doğal veya yapay depremlerle üretilen, kırılan ve yansıyan sismik dalgaların ölçümüyle yer altı yapısı ve temel kaya şartlarının belirlenmesi için kullanılan bir tekniktir. Jeotermal sahalarda jeolojik yapı genellikle o kadar karmaşıktır ki, yapının detaylı olarak ortaya konmasında bazı güçlükler sismik çalışmaların yapılmasını gerekli kılar.

REZERVUARIN KORUNMASINA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

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 ve diğerleri, 1982). Ayrıca kuyularda üretim, reenjeksiyon ve düşüm testleri yapılarak rezervuarın değişik üretim koşullarındaki davranışı belirlenmeli ve jeotermal kaynağın sürekli izlenmesi sağlanmalıdır.

5686 sayılı kanun ve uygulama yönetmeliğine göre; koruma alanı etüdünde rezervuarın korunmasına yönelik tedbirler; 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 içermektedir.

Reenjeksiyonun Gerekliliği

Jeotermal sistemlerde sürdürülebilirlik kavramı büyük bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, jeotermal akışkanın kullanıldığı işletmelerde kullanımdan dönen suyun reenjeksiyonu, jeotermal sistemin beslenmesi açısından gerekli olduğu gibi yasal açıdan da bir zorunluluk getirmektedir. Jeotermal sahalarda, işletme faaliyetine geçilmeden önce ruhsat alanı içerisinde yapılacak etütler neticesinde reenjeksiyon bölgesi belirlenmeli, bu bölgede uygun sayıda kuyu açılarak bu kuyularda enjektivite testleri yapılmalıdır. 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre, jeotermal enerjiden elektrik üreten sahalar ile ısıtma yapılan sahalarda ve entegre kullanımın söz konusu olduğu sahalarda reenjeksiyon şartı getirilmiştir. Bu tür sahalarda, özellikle entegre kullanımın söz konusu olduğu durumlarda, jeotermal sistemin basınç ve sıcaklık koşullarındaki denge gözetilerek, kabuklaşma ve korozyon problemleri ile rezervuardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açmayacak şekilde gerekli tedbirler alınarak reenjeksiyon yapılmalıdır.

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 değişik 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 yer altına 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, yer altına iletimin en hızlı olduğu yapılar olması nedeniyle koruma alanı içinde titizlikle değerlendirilmesi gereken yapılardır. Sıcak su amaçlı açılan kuyularda stratigrafik olarak örtü kayacının varlığı, geçirimsizlik derecesi ve kalınlığı önemli özelliklerdir (Akan ve Dağıstan, 2008).

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 kayacının 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 kirlenici unsurlar bu bölgelerden uzaklaştırılmalıdır. I. derece koruma alanı içinde kirliliğe sebep olacak depolama (gübre, kimyasal madde vb.) kesinlik-

le 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 kirlenme unsurlarından 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 ve enerji üretimi yapılan jeotermal kaynaklarda ise rezervuardaki sıcaklık ve basınç koşullarında meydana gelebilecek değişimlerin gözlenmesi amacıyla, üç aylık periyotta basınç, sıcaklık, girişim, basınç yükselme 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 (Akan ve Dağistan, 2008).

İkinci Derece Koruma Alanının Belirlenmesi ve Alınması Gereken Önlemler

II. derece koruma alanı, tali kırık hatları, hidrojeolojik faktörler, biyolojik kirlenme unsurlarının kaynak alana ulaşımının önlenmesi meselede 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 (Akan ve Dağistan, 2008).

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 kullanılmamak kaydıyla taş ocağı işletilebilir. Her türlü ziraat yapılabilir. İyi nitelikli kanalizasyona sahip yerleşim birimleri kurulabilir. Atıkları çev-

re ve yeraltı suyu kirlenmesine neden olmayacak her türlü endüstri tesisi ve iş yeri kurulabilir (Akan ve Dağıstan, 2008).

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 topoğrafik 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.

DEĞİNİLEN BELGELER

Akan, B. ve Dağıstan, H., 2008, Jeotermal Alanlarda Koruma Alanlarının Belirlenmesi, Beşinci Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları, Termal ve Maden Suları Konferansı Bildiriler Kitabı, 24-25 Nisan 2008, 343-351.

Ellis, A. J., 1964, Geothermal drillholes; Chemical investigations, in Geothermal energy, I: United Nations Conf. New Sources Energy, Rome 1961, Proc., v. 2, p. 208-218.

Grant, M.A., Donaldson, I.G. ve 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.