

## **KIZGIN KURU KAYA (HDR: HOT DRY ROCK) VE GELİŞTİRİLEBİLİR JEOTERMAL SİSTEMLER (EGS: ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS)**

Musa BURÇAK\*

Meteorik su dolaşımli jeotermal sistemlerin (konvansiyonel jeotermal sistemler) yanında içinde bulunan jeolojik ortamın karakterine göre hidrotermal sistemler, jeopressured sistemler, Kızgın Kuru Kaya (HDR; Hot Dry Rocks) ve Geliştirilebilir Jeotermal Sistemler (EGS; Enhanced Geothermal Systems) de Jeotermal enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir.

Doğal çatlak ve gözenek permeabilitesi içermeyen ve yüksek sıcaklığa sahip kayalar (örneğin granit) "Hot Dry Rock: Kızgın Kuru Kaya" kısaca HDR olarak adlandırılmaktadır.

Doğal çatlak ve permeabilitesi içeren ancak ekonomik miktarda akışkan içermeyen sistemler ise "Enhanced Geothermal Systems: Geliştirilebilir Jeotermal sistemler" olarak adlandırılır. Bunlara da kısaca EGS sistemleri denilmektedir. Bu iki tanımlama birbirine yakın sistem tanımlamaları olup, tek fark tanımlanan kayaç tipidir. HDR sistemlerinde kayaç tipi mağmatik genellikle granitik kayalar iken, EGS sistemlerinde kayaç tipi sedimanter basen tipi kayalardır. Son zamanlarda EGS sistemleri her ikisini de kapsayacak bir terim olarak da kullanılmaktadır.

### **EGS VE HDR SİSTEMLERİNİN ETÜT VE ARAŞTIRILMASI**

#### **Hedef Alan Seçimi**

Bu araştırmalar için öncelikli olarak yüksek yer altı sıcaklığına sahip olabilecek yerlerin bulunması gerekmektedir. Bunun için öncelikli olarak uygun jeolojik ortamların hedeflenmesi gerekir. Uygun jeolojik ortamlar mağma hareketliliğinin bulunduğu yerlerdir.

Plaka sınırları

Kıtasal rift

Kabuk incelmesinin olduğu yerler

Stratovolkanların çevresi

Granitler ve Derin kökleri

Radyoaktif Bozuşmalar

Türkiye açısından bakıldığında bu şartların biri hariç (kıtasal rift) hemen hepsinin sağlandığı görülmektedir. Özellikle Batı Anadolu kabuk incemesi, Orta Anadolu Miyosen-Kuvaterner aralığında etikli olmuş genç ve uzun periyotlu strato-volkan çıkışları, yitim kuşağı üzerinde yer alan KB Anadolu ise Tersiyer yaşlı granitik sokulumlar (radyoaktif bozuşma süreci) ile uygun ortamları oluşturmaktadır.

Şimdiye kadar MTA Genel Müdürlüğüne bu bölgelerde derin ve orta derinliklerde sondajlar yapılmış, Orta Anadolu'da 500-1000 m derinliklerde 60-80 °C (Ankara-Kırşehir), 1500 m derinliklerde 135 °C (Aksaray), 3000 m derinliklerde 183 °C (Nevşehir).

Batı Anadolu'da ise, 2000-2500 m derinliklerde 200-243 C (Aydın-Denizli) 2750 m derinlikte 287 °C sıcaklık değerlerine, KB Anadolu'da ise 500-700 m derinliklerde 60-80 (Bergama-Balıkesir), 1000 m derinliklerde ise 140 °C (Dikili), sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır.

İç Ege Bölgesinde de granit ve derin kökleri ile ilgili olduğu düşünülen 500-1000 m derinlikte 100-160 Afyon-Kütahya ve 2500 m derinlikte ise 181 °C (Kütahya-Şaphane) sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır.

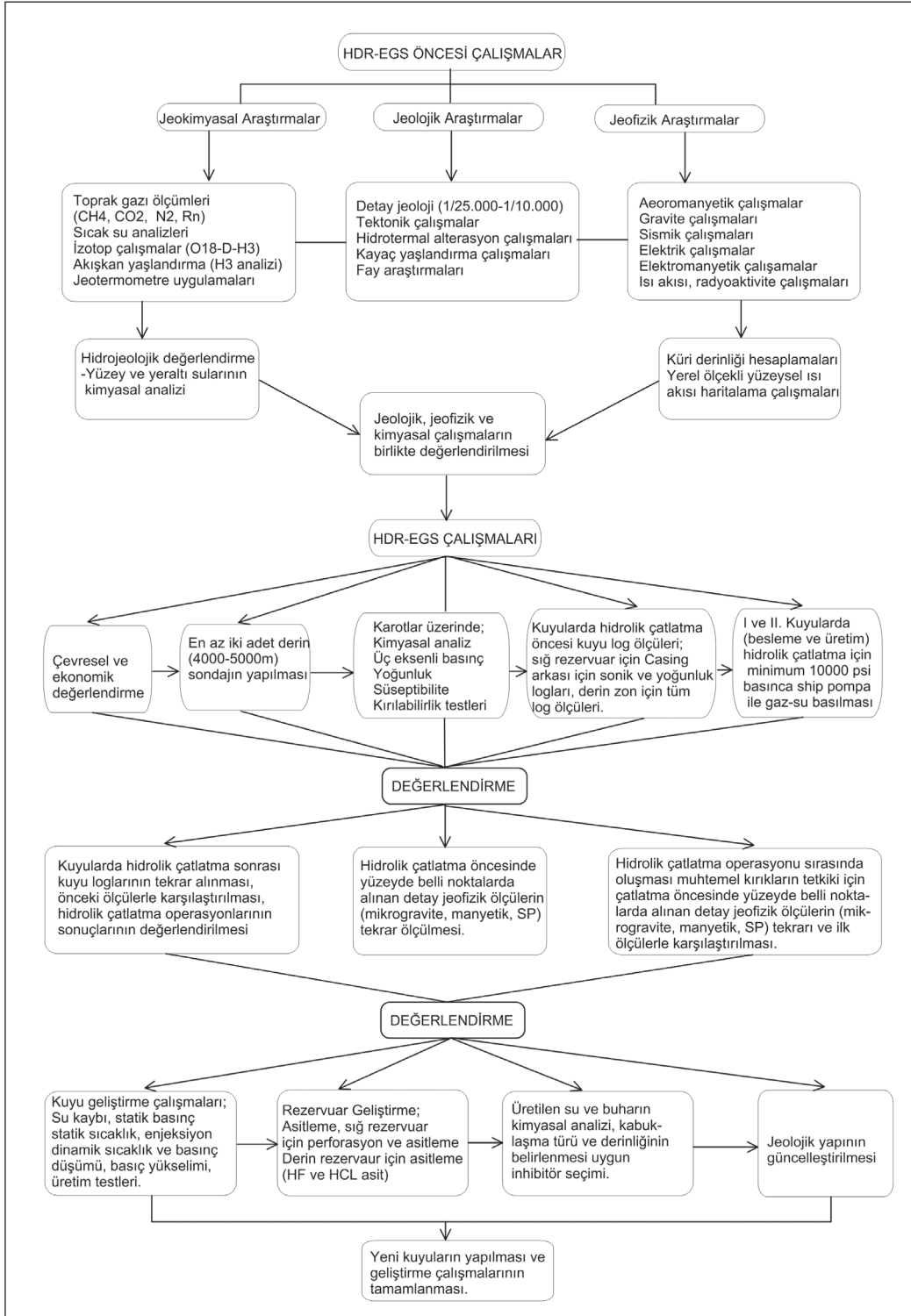
### **HDR-EGS SİSTEMLERİN ARAŞTIRILMASI**

Çalışmalar dört aşamada yapılmaktadır. Birinci aşama çalışmaları HDR-EGS öncesi etüt ve araştırma çalışmalarını, ikinci aşama sondajlar test ve geliştirme çalışmalarını, hidrolik kırık oluşturulmasını. Üçüncü aşama hidrolik kırıkların oluşma durumu ve yerinin belirlenmesi için ikinci sondajdan itibaren her sondajda yapı-

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

lan detay etüt ve araştırmaların tekrar edilmesi ve yorumlanması. Son aşama ise ısı transferi sağlayacak akışkanın enjeksiyonu ve üretim

test çalışmalarını kapsar. HDR ve EGS sistemlerinin araştırılmasında kullanılabilecek özet bir iř akış şablonu şekil 1'de verilmiştir.



şekil 1- HDR ve EGS sistemlerinin araştırılması için önerilen iř akış şablonu (Burçak, 2011).

## BÖLGESEL VE DETAY JEOLJİ

Bu aşama bölgesel jeolojik çalışmaların (literatür çalışmaları çalışması) değerlendirilmesi, çalışma alanının bölgesel tektonik içindeki yerinin belirlenmesi, büyük ölçekli fay, kaldera, intrüziflerin yerinin belirlenmesi, bölgesel stratigrafinin kurulması çalışmalarını kapsar. Detay jeoloji çalışması ile sahanın tektonik ve stratigrafik özellikleri belirlenir.

### Hidrojeokimya (Su Kimyası, İzotop) Çalışmaları

Yüzey ve yer altı sularının kimyasal analizleri ve izotop analizleri yapılır. Özellikle HDR ve EGS sisteminde ısı transferinde yapmak üzere reenjekte edilecek suların kimyasal ve izotopik analizleri yapılarak, HDR ve EGS sistemlerine basıldıktan sonra yer altında kazandığı kimyasal değişimlerin izlenmesi açısından önemlidir.

### Jeokimyasal Çalışmalar

Yüzey ve yeraltından (karot) örnekleri üzerinde yapılacak hidrotermal alterasyon amaçlı XRD ve XRF analizleri ile kayaçların HDR ve EGS öncesi kimyasal bileşimleri, belirlenerek, HDR ve EGS sonrası kayaçta oluşturulan kırıklaşma sonrasında ısı transferini sağlayan akışkanların yer altında meydana getirdiği değişimler izlenebilecektir.

### Teknolojik Örnekleme ve Laboratuvar Deneyleri

Sondaj esnasında karot örnekleri alınarak tam teknolojik analizlerinin yapılması (yoğunluk, manyetik süseptibilite, üç eksenli basınç deneyi) gerekmektedir.

### Bölgesel Jeofizik (Gravite ve Manyetik) Çalışmalar

Bu çalışmalara ile bölgesel jeolojik çalışmalar birlikte yürütülür. Jeolojik veriler ile bölgesel jeofizik Bouguer gravite haritaları ile havadan manyetik anomali haritaları karşılaştırılarak bölgesel yapıların derinlerdeki fiziksel yansımaları anlamlandırılır. Gravite ve manyetik verilerden bölgesel ölçekli kaldera, fay, muhtemel derin

alterasyon alanları belirlenerek saha hakkında bölgesel veriler toplanır.

### Jeoloji Curie Çalışması

Manyetik süseptibilite "k" maddenin bir özelliğidir ve çevresinde lokal bir manyetik alan oluşturma yeteneğini ifade eder. Manyetik permeabilite m ise materyalin göreceli olarak çevresinde lokal manyetik alan oluşturma yeteneğidir. k değerine göre cisimler;

$0 < k < 10^{-5}$  paramanyetik

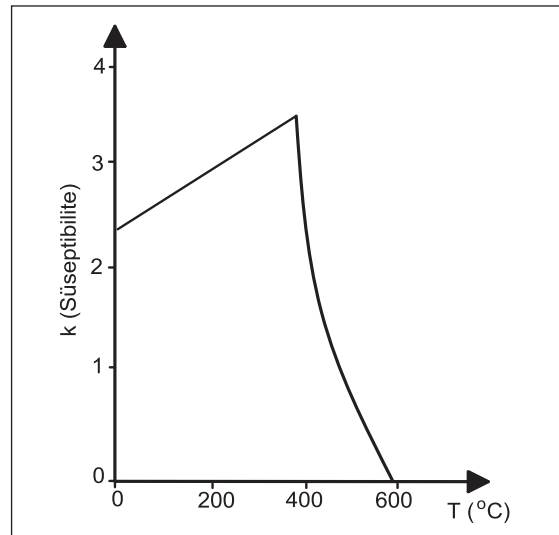
k değeri negatif ise cisim diyamanyetik

$1 < k < 4$  ise ferrimanyetik

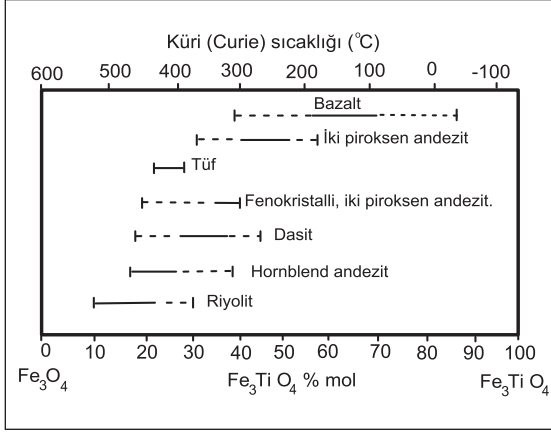
$101 < k < 106$  ise ferromanyetik

Feri ve ferromanyetizma sıcaklık arttıkça düşer, Küri noktası olarak adlandırılan kritik sıcaklıkta kaybolur (Şekil 2). Küri derinlik hesaplamaları manyetik çalışmalardan yararlanarak yapılan modelleme ve hesaplamalar sonucu ortaya konmaktadır. Kayaçların Küri sıcaklık değerleri, içerdikleri jeokimyasal - petrografik (Manyetit ve titanomayetit oranına) özelliklerine bağlı olarak değişir (Şekil 3).

Türkiye'de Küri haritalaması MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı tarafından Türkiye ölçeğinde tamamlanmıştır (Şekil 4). Veri aralıkları daha sıklaştırılarak daha yerel ölçekli Küri haritalarının yapılması yararlı olacaktır.



Şekil 2- Ferrimanyetik bir mineralin süseptibilitesinin sıcaklıkla değişimi.



Şekil 3- Bazı volkanik kayaçların küri değerleri ve manyetit - titanomanyetit içeriği değişimi (Buddington ve Lindsley, 1964)

### Isı Akısı Çalışmaları

Yer içinden yüzeye ulaşan enerjisi; ısı akısı ( $q$ ) (heat flux) olarak hesaplanabilir. Kondaktif bir sistemde ısı akısı ( $q$ ) ve termal iletkenlik ( $k$ ) jeotermal gradyanla ( $dT/dZ$ ) ilişkisi şu şekildedir (Ehara, 1999):

$$q = -k \frac{dT}{dz}$$

Isı akısının birimi  $Wm^{-2}$  bu da  $Js^{-1}m^{-2}$  şeklinde de ifade edilebilir ve  $k$  termal iletkenlik katsayısı ( $Wmk$  (thermal conductivity) olup,  $Wm^{-1}K^{-1}$ 'dir.

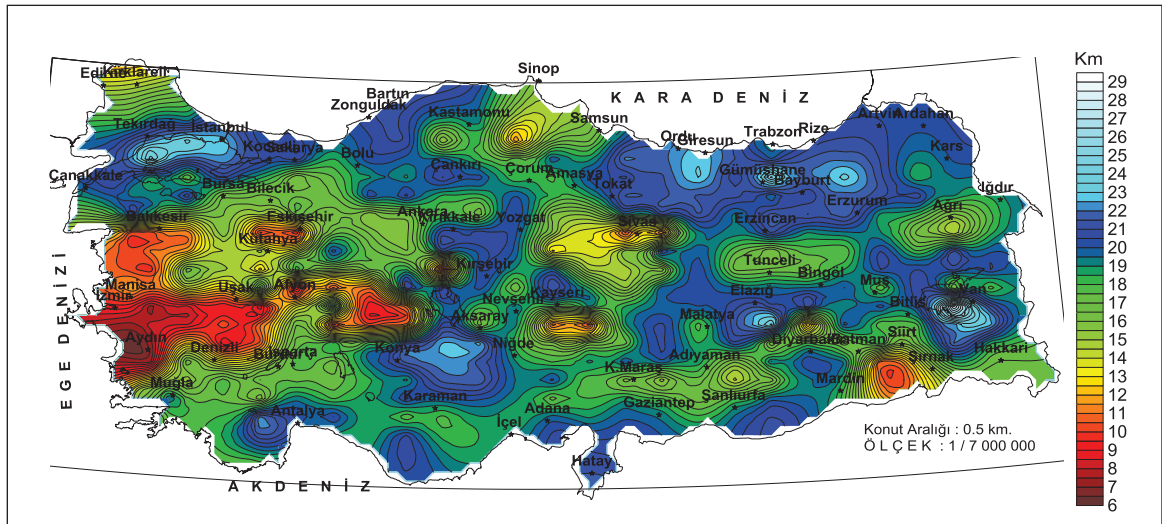
Isı akısı oldukça düzensiz olup volkanlar ve okyanus ortası sırtlar gibi bazı alanlarda  $q \sim 400 \text{ mWm}^{-2}$  gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Yerden yayılan ortalama ısı " $q$ " ortalama  $0.08Wm^{-2}$  ( $80 \text{ mWm}^{-2}$ ) olarak hesaplanmıştır.

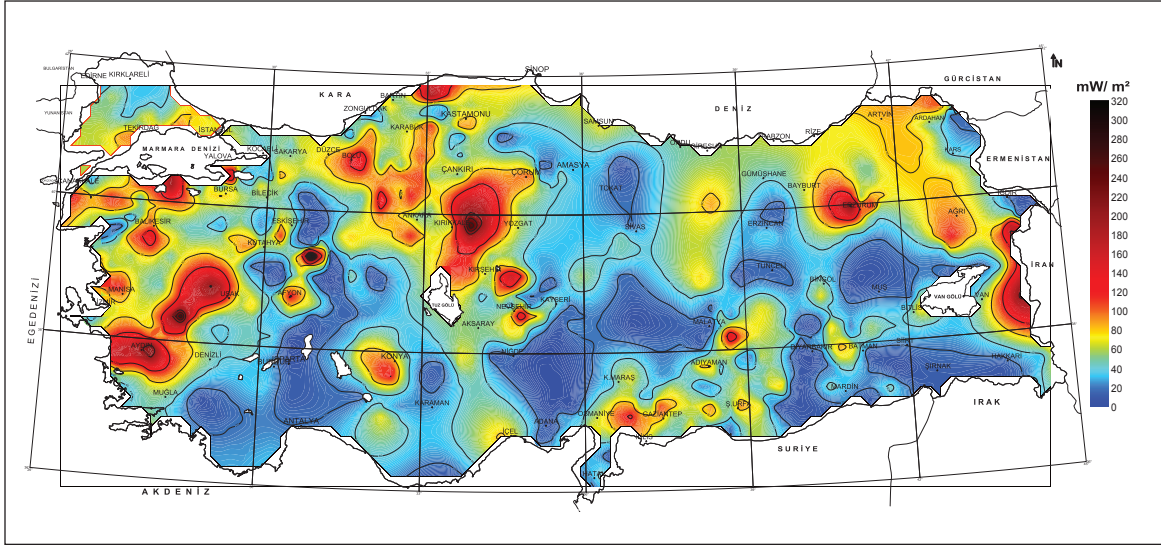
Isı akısı çalışmaları ile kuyularda yapılan sıcaklık ölçüleri değerlendirilerek 1/1.000.000 ölçekli ısı akısı haritası tamamlanmıştır (Şekil 5). Ancak, Türkiye'de değişik bölgelerde çok sayıda yeni sondaj açıldığından bu veriler ışığında yenilenmesi gerekmektedir.

### Manyetotellürik Çalışmalar

Manyetotellürik (MT) rezistivite metodunda yerin doğal elektromanyetik alanı enerji kaynağı olarak kullanılarak yerin elektriksel rezistivitesi ölçülür. Bu metod, 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 (Cagniard, 1953). MT ölçümleri araştırılan jeolojik formasyonların özellikleri hakkında çok önemli ipuçları verir. Kayaç birimleri arasındaki kondüktivite değişiminden dolayı, MT datalarının yorumlanması ile derinlik, büyük stratigrafik birimlerin sınırları gibi jeolojik yapılar açığa çıkarılabilir.



Şekil 4- Türkiye Küri derinliği haritası (Ölçek 1/1000.000; MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Daire Başkanlığı, 2006).



Şekil 5- Türkiye ısı Akısı haritası (Ölçek 1/1.000.000; MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Daire Başkanlığı, 2006).

Doğal elektromanyetik alan çok geniş bir spektruma sahiptir. Düşük frekanslar (0.00001-10Hz) onlarca ve yüzlerce km. derinliklerdeki yerin yapısının araştırılmasında (MT metodu), yüksek frekanslar(10-1000Hz) ise sığ araştırmalarda kullanılır (AMT). Düşük frekanslar güneşten yayılan ve yerin manyetik alanı ile karışan iyonosferik ve manyetosferik akımlardan elde edilir. Bazı yüksek frekanslar( $\geq 1$  Hz) ekvatora yakın geniş enlemlerde, iyonosfer ve yer arasında yayılan fırtına aktivitelerine nedeniyle oluşur.

Doğal zaman-değişimli elektromanyetik alan yerin manyetik alanındaki değişim şeklinde gözlenebilir. Bu değişimler manyetik mikronabız olarak isimlendirilir. mikronabız yer içinde tellürik akım olarak adlandırılan ilave akımlara neden olur (Tellus Yunanca'da yer).

Manyetotellürik çalışmaların kullanıldığı alanlar aşağıda özetlenmiştir.

MT metodu yer kabuğunun derin kısımlarının ve üst mantonun araştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir metottur. İzlanda'da düşük rezistiviteli anomaliler mağma odalarına ya da yarı ergimiş mağma kütlelerine yorumlanmıştır Manyetotellürik yöntemlerle tespit edilen derinlerdeki düşük rezistiviteli kütlelerin bir çok

alandaki, yüksek ısı akımları alanlarla korele edildiğinde çakıştığı gözlenmiştir (Beblo ve diğerleri, 1983; Hersir ve Björnsson, 1984; Eysteinsson ve Hermance, 1985; Keller ve Frischknecht, 1966).

Türkiye'de jeotermal ısı kaynağı araştırmalarında 2004 yılından itibaren uygulanmış örtülü sahalarda elektrik üretimine uygun Kütahya Şaphane bölgesinde yeni gömülü sahalar bulunmuştur (Burçak ve diğerleri, 2007a, 2007b, Burçak ve Dünya 2010). Yine ısı kaynağının araştırılması amacıyla bu yöntemin uygulandığı Manisa Alaşehir bölgesinde yapılan sondajda 287 °C taban sıcaklığı ile Türkiye sıcaklık rekoru kırılmıştır (Burçak ve Dünya, 2010). MT yönteminin uygulandığı başlıca alanlar aşağıda verilmiştir.

- \* Petrol aramalarında
- \* Jeotermal aramalarda
- \* Hidrotermal rezervuarların yerinin belirlenmesi
- \* Kızgın kuru kaya araştırmalarında (HDR, EGS sistemlerinin araştırılması)
- \* Jeotermal ısı kaynağı araştırmaları
- \* Kabuk kalınlığı araştırmalarında
- \* Kıta Kenar yapıları, rift zonları ve büyük ölçekli fayların belirlenmesi

## **HDR VE EGS SONDAJLARI ÖNCESİ YAPILACAK ETÜT VE ARAŞTIRMA ÇALIŞMALAR**

*Toprak gazı ölçümleri.-* Alanda Radon, Uranyum, Toryum, Karbondioksit, Metan gaz toprak gazları ölçülerek sonuçlar kaydedilir.

*Radyoaktivite çalışmaları.-* Alanda Gamma-ray spektrometre cihazı ile uranyum, tor-yum, potasyum ve toplam radyoaktivite ölçüleri alınarak sonuçlar kaydedilerek değerlendirilir.

*Mikrogravite çalışmaları.-* Alanda kırıklar oluşturulmadan önceki gravite değerinin bilinmesi önemlidir. Bunun için mikrogravite cihazı kullanılarak ölçümler yapılır. Sonuçlar kaydedilerek değerlendirilir.

*Detay manyetik çalışmalar.-* Alanda kırıklar oluşturulmadan önceki manyetizma değeri manyetometre cihazı ile detay manyetik ölçümler alınarak ölçülür. Sonuçlar kaydedilerek değerlendirilir.

*Self potansiyel (SP) çalışmaları.-* Alanda kırıklar oluşturulmadan önceki SP değerleri detay nokta uzaklığında SP alınarak kaydedilir.

*Su kimyası ve izotop çalışmaları.-* HDR ve EGS sistemlerinde yer altına basılacak suların kimyasal ve izotopik analizleri yapılır.

## **HDR VE EGS SONDAJLARI SONRASI ETÜT VE ARAŞTIRMA ÇALIŞMALAR:**

HDR sondajları öncesinde yapılan aşağıda belirtilen tüm çalışmalar HDR sondajları sonrasında aynı noktalarda tekrar edilerek gelişmeler belirlenmektedir.

*Toprak gazı ölçümleri.-* Alanda oluşturulan kırıklaşma ile toprak gazlarının değişimi izlenir. Bu kapsamda Radon, Uranyum, Toryum, Karbondioksit, Metan gaz toprak gazları ölçülerek sonuçlar değerlendirilir.

*Radyoaktivite çalışmaları.-* Alanda Gamma-ray spektrometre cihazı ile uranyum, tor-yum, potasyum ve toplam radyoaktivite ölçüleri alınarak sonuçlar değerlendirilir.

*Mikrogravite çalışmaları.-* Alanda mikrogravite cihazı kullanılarak ölçümler yapılacak ve sonuçlar değerlendirilir.

*Detay manyetik çalışma.-* Alanda manyetometre cihazı ile detay manyetik ölçümler alınacak ve sonuçlar değerlendirilir.

*Self potansiyel (SP) çalışmaları.-* Alanda detay nokta uzaklığında 250-50 m arası SP çalışması yapılarak Kırıklanma ile oluşan muhtemel SP değişimleri belirlenerek kırıkların yerleri hakkında bilgiler elde edilebilir.

*Su kimyası ve izotop çalışmaları.-* Su kimyası ve izotop çalışmaları ile ısı transferini sağlayan akışkanın kimyasal özelliklerindeki değişimler belirlenir.

*Mikrosismik çalışmalar.-* Rezervuarda oluşan kırıklar içerisinde dolaşan akışkan mikro sismik bir aktivite meydana getirmektedir. Bu sismik aktivitenin odak merkezleri detay sismik cihazlar ile ölçülerek kırıkların gidişleri ve dağılımı bulunabilir.

## **SONDAJ ÇALIŞMALAR**

### **Sığ Gradyan Sondajları**

Tüm veriler dikkate alınarak yer altı gradyan artışının belirlenmesi ve yüksek ısı alanlarının saptanması amacıyla 100-200 m derinlikte gradyan sondajları açılabilir.

### **Derin HDR-EGS Sondajlar**

Çalışma sonucunda uygun lokasyonlar belirlenerek 4000-5000 m derinlikte sondajlar açılır. Bu sistem tek kuyu içinde uygulanabileceği gibi birden fazla kuyu açılarak da uygulanabilmektedir. Birden fazla kuyu durumunda örneğin iki kuyulu bir sistemde kuyulardan birincisi enjeksiyon, ikincisi ise üretim kuyusu olarak kullanılır. Bu sondajlarda yukarıda bahsi edilen hidrolik kırık oluşturma test ve geliştirme çalışmaları yapılarak yapay rezervuar oluşturularak, ısı transfer akışkanı olarak su veya CO<sub>2</sub> (günün şartlarında hangisi avantajlı ise) kullanılarak sıcak su ve buhar elde edilebilir.

## YENİ KIRIK OLUŞTURMA (HDR) VE REZERVUAR GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI (EGS)

HDR ve EGS sistemlerini birbirinden ayıran en önemli fark kayaç türü olup, HDR sistemleri kırık ve çatlak içermeyen granitik türde kayaçlarda, EGS sistemleri ise sedimanter basen dolgusu tipinde gözenekli ancak yeterli porozite ve permeabilite gelişmemiş kayaçlarda geliştirilen sistemlerdir. HDR sisteminde tamamen yeni kırık oluşturulması, EGS sisteminde ise var ancak yetersiz olan gözeneklilik ve kırıkların geliştirilmesi ve/veya yeni kırık oluşturulması söz konusudur.

### Kırık Oluşturulması

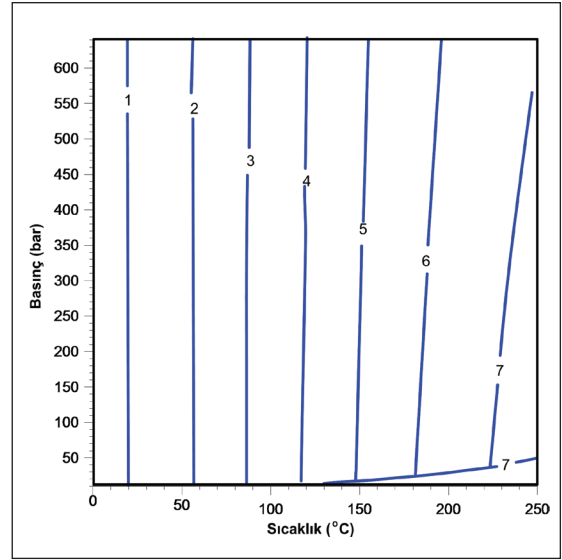
Kuyular yapıldıktan sonra enjeksiyon amaçlı olanından yüksek basınçla soğuk su veya gaz (azot) basılarak kuyunun soğuması ve büzülerek çatlaması sağlanır. Burada çatlamayı uygulanan hidrolik basıncın yanı sıra soğuma etkisiyle kayacın büzülmesine çalışması sağlamaktadır. Bu operasyonlar için yüksek basınçlı (10.000-15.000 psi) çatlatma pompası (fracture pumps) gerekmektedir.

### Isı Transfer Akışkanı

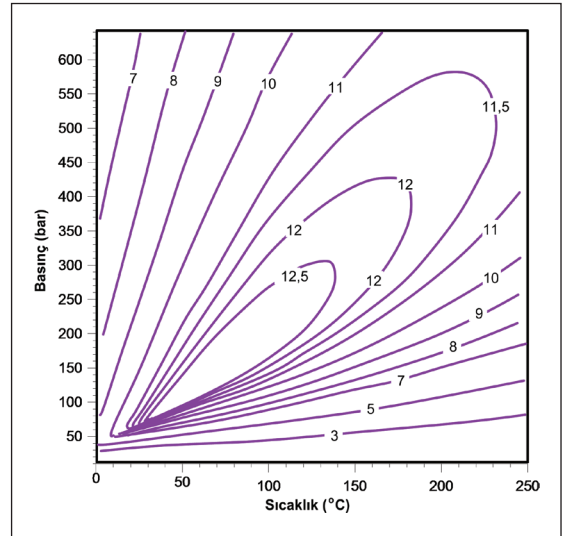
HDR ve EGS sistemleri konusundaki ilksel çalışmalarda kayaç mekaniğinin termal ve hidrolik etkisi üzerinde durulmuş, stres değişimi ile çatlakların açılarak genişlemesi esas alınmıştır. Son zamanlarda kayaç ve akışkan arasında kimyasal reaksiyonların EGS rezervuar geliştirilmesinde önemli rol oynadığı ortaya konmuştur (Durst, 2002; Bächler, 2003; Xu ve Pruess, 2004; Rabemanana ve diğerleri, 2005; André ve diğerleri, 2006). Su yüksek sıcaklıklarda kayaç mineralleri için iyi bir çözücüdür. Yapay olarak oluşturulan su sirkülasyonu güçlü çözülme ve kabuklaşmalara neden olabilmektedir. Bu durum formasyonun tıkanmasına ve suyun daha sığ seviyelerden döngü yapmasına neden olmaktadır. Bu durum operasyon sırasında kaçınılmaz akışkan kayıplarına neden olmaktadır. Bunun benzeri bir problem GB Amerika'da karşılaşılmıştır.

Isı transfer akışkanı olarak su ( $H_2O$ ) veya gazlar kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda

ısı transfer akışkanı olarak suyun veya gazın ( $CO_2$ ) kullanılması durumları karşılaştırılmış, akışkan hareketliliğinin  $CO_2$  kullanılması durumunda da fazla olduğu belirlenmiştir. Isı transfer akışkanı olarak  $CO_2$ 'in kullanılması durumunda sıcaklık ve basınç değerlerinde önemli avantajlar olduğu belirlenmiştir (Pruess, 2006, 2007) (Şekil 6 ve şekil 7).

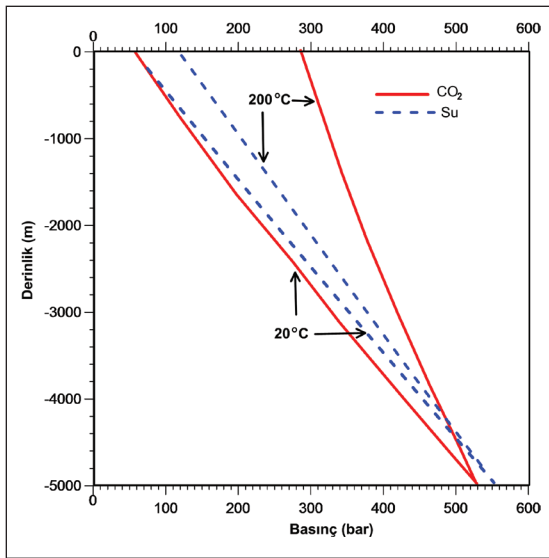


Şekil 6- Isı transfer akışkanı olarak  $H_2O$ 'nun kullanılması durumunda akışkan hareketliliği (yoğunluk / viskozite)  $10^{-6} \text{ sm}^{-2}$  (Pruess, 2006).



Şekil 7- Isı transfer akışkanı olarak  $CO_2$  kullanılması durumunda akışkan hareketliliği (yoğunluk/viskozite)  $10^{-6} \text{ sm}^{-2}$  (Pruess, 2006).

Isı transfer akışkanı olarak Su ve CO<sub>2</sub> kullanıldığında enjeksiyon ve üretim kuyularında ölçülen statik basınç değişimi Şekil 14'te görülmektedir. Her ikisi içinde kuyu başı sıcaklık ve basınç (T, P) şartları 20 °C ve 57,4 bar olarak alınmıştır. Basınç bu kadar alınmıştır çünkü CO<sub>2</sub> doygunluk basıncı olup CO<sub>2</sub>'in tek fazlı kritik likit basınç değeridir. CO<sub>2</sub> için kuyu tabanında 5000 m deki toplam basınç 528.7 bar, su için ise 553.4 bar olarak ölçülmüştür. Kuyu tabanındaki basınç başlangıç noktası olmak üzere 200 °C sıcaklık için yukarıya doğru statik basınç değerleri hesaplanmıştır. Buna göre üretim kuyusunda kuyu başı basıncı CO<sub>2</sub> için 288,1 bar, su için ise 118,6 Bar olarak bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 8- Statik basınç profili CO<sub>2</sub> ve Su kullanılması durumunda sabit sıcaklık için (20-200 °C) statik basınç profili (Pruess, 2006).

Uzun süreli EGS su sirkülasyon testleri birkaç aylık ve bir yıla ulaşan testlerin ardından toplam akışkan kaybı (formasyonlar içine) yaklaşık % 5 civarında gerçekleşmiştir (Duchane, 1993). Termodinamik ve kabul edilebilir düzeltme kullanım verimliliği faktörleri dikkate alındığında, 1 MW elektrik enerjisi üretmek için 22 kg/s CO<sub>2</sub> miktarının yeterli olacağı hesaplanmıştır. % 5 akışkan kaybı olacağı, kayıp olan CO<sub>2</sub> miktarının ise her 1 MWe için 1 kg/s veya başka bir hesaplama 1000 MWe için 1 ton/s kadar olduğu bulunmuştur. Bir karşılaştırma yapmak

için 1000 MWe kapasiteli petrol yakıtlı enerji santrali 1/3 ton /s CO<sub>2</sub> üretmektedir (Bachu ve Hitchon, 1996). Genel bir yaklaşımla 1000 MWe kapasiteli bir EGS sistemi, 3,000 MWe kapasiteli fosil yakıtlar ile yayılan CO<sub>2</sub> miktarı kadar CO<sub>2</sub>'i jeolojik formasyonlar içinde biriktireceği söylenebilir.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- André, L., V. Rabemanana, V. and F.D. Vuataz., 2006. Influence of Water-Rock Interactions on Fracture Permeability of the Deep Reservoir at Soultz-sous-Forets, France, *Geothermics*, Vol. 35, No. 5-6, pp. 507–531,
- Bächler, D. 2003. Coupled Thermal-Hydraulic-Chemical Modeling at the Soultz-sous-Forêts HDR Reservoir (France). PhD dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland,
- Bachu, S. ve B. Hitchon 1996. Regional-scale flow of formation waters in the Williston Basin. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 80, no. 2, p. 248-264.
- Beblo, M., Björnsson, Axel, Arnason, Kolbein, Stein, B., and Wolfgram, P., 1983. electrical conductivity beneath Iceland-constraints imposed by magnetotelluric results on temperature partial melt, crust and mantle structure. *J. Geophys.* Vol. 53, 6-23.
- Buddington, A.F. ve Lindsley, D.H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. Petrol.* 5: 3, 10-57.
- Burçak, M., Sevim, F. ve Hacısalihoğlu, Ö. 2007a. Jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal yöntemlerle yeni bir jeotermal sahanın keşfedilmesi, Üçbaş-Şaphane- Kütahya. *MTA Dergisi*, 135, 45-64.
- Burçak, M., Hacısalihoğlu Ö. ve Kılıç, A.R., 2007b. Şaphane-Üçbaş-Karacaderbent sahaları jeotermal etüt (jeoloji-jeofizik) KŞÜ-1, KŞÜ-2 jeotermal sondajları kuyu bitirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11516, 112s. Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M. ve Dünya, H. 2010. Kütahya-Şaphane-Karacaderbent sahası KŞÜ-3 jeotermal sondajı kuyu bitirme ve test raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11503, 96s, Ankara (yayımlanmamış).



- Burçak, M. ve Dünya, H., 2011. Manisa civarı (Alaşehir-Kavaklıdere) Jeotermal Enerji Aramaları projesi, 2010-33-13-04-7; 2011-33-13-04-7) Mak-2010-14, Mak-2010-15 ve Mak-2011-03 Jeotermal Sondajları Kuyu Bitirme ve Test Raporu MTA Rapor No 11465, 131s. Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M., 2011. Jeotermal ve Mineralli Sular Belgelendirme Kursu Eğitim Kitabı. s9-65. Jeofizik Mühendisleri Odası. Makine Mühendisleri Odası Bayraklı Tepekule Kongre Merkezi Mart 2011 İzmir.
- Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magneto telluric method of geophysical prospecting: G.P. 18. 605-653.
- Durst, D. 2002. Geochemical Modeling of the Soultz-sous-Forêts Hot Dry Rock Test Site: Coupled Fluid-Rock Interaction to Heat and Fluid Transport. PhD dissertation, Université de Neuchâtel, Switzerland.
- Duchane, D., 1993. Hot Dry Rock Flow Testing – What has it Told us? What Questions Remain? Transactions, Geothermal Resources Council, Vol. 17, pp. 325–330.
- Ehara, S. 1999. Geothermics, heatflow and underground temperature, the group training Course on Geothermal Energy (advanced) text book Kyushu University, Fukuoka Japan.
- Eysteinnsson, H. ve Hermans, J.F. 1985. Magneto-telluric measurements across the eastern neovolcanic zone in South Iceland, Jour. Geophys. Res., 90. 10-103.
- Fournier, R.O., 1999, Hydrothermal process related to movement of fluid from plastic to brittle rock in the magmatic-epithermal environment. Economic Geology 94. 1193-1212.
- Giggenbach, W.F. 1994. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries SEG Distinguished Lecture. Economic Geology 97, 1927-1944.
- Heddenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A. ve White, N.C., 1996. Epithermal Gold Deposits, Styles, Characteristics and Exploration, Resource Geology Special Publication Number-1.
- Hersir, G.P. ve Björnsson, A. 1991. Geophysical Exploration for Geothermal resources Principles and Application, National Energy Authority, Geothermal Division Grensasvegur, 9 108 Reykjavik Iceland.
- Izawa, E., 1986. Clay minerals in epithermal deposits. J. Mineral Soc. Japan, 17, Special Issue, 17-24.
- Izawa, E., Urashima, U., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A. ve Taguchi, S., 1990. The Hishigara gold deposit: high grade epithermal veins in Quaternary volcanics of Southern Kyushu, Japan. J. Geochem. Exploration, 36, 1-56.
- Keller, G.V. ve Frischknecht, F.C., (1966), Electrical Method in Geophysical prospecting. Pergamon press, 527 pp.
- Lobato, E.M.L., 1999. Integrated Reservoir Engineering Textbook for the Group Training course on Geothermal Energy (Advanced). Kyushu University, Fukuoka, Japan.
- Pruess, K. 2006, Enhanced Geothermal Systems (EGS) Using CO<sub>2</sub> as Working Fluid – A Novel Approach for Generating Renewable Energy with Simultaneous Sequestration of Carbon, Geothermics, Vol. 35, No. 4, pp. 351–367.
- Pruess, K. 2007, On the Production Behavior of Enhanced Geothermal Systems with CO<sub>2</sub> as Working Fluid, submitted to Energy Conv. Mgmt.
- Rabemanana, V., F.D. Vuataz, T. Kohl ve L. André, 2005. Simulation of Mineral Precipitation and Dissolution in the 5-km Deep Enhanced Geothermal Reservoir at Soultz-sous-Forêts, France, Proceedings, Paper 1637.pdf, World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey.
- Xu, T. ve Pruess, K. 2004. Numerical Simulation of Injectivity Effects of Mineral Scaling and Clay Swelling in a Fractured Geothermal Reservoir, Transactions, Geothermal Resources Council, Vol. 28, pp. 269–276.

