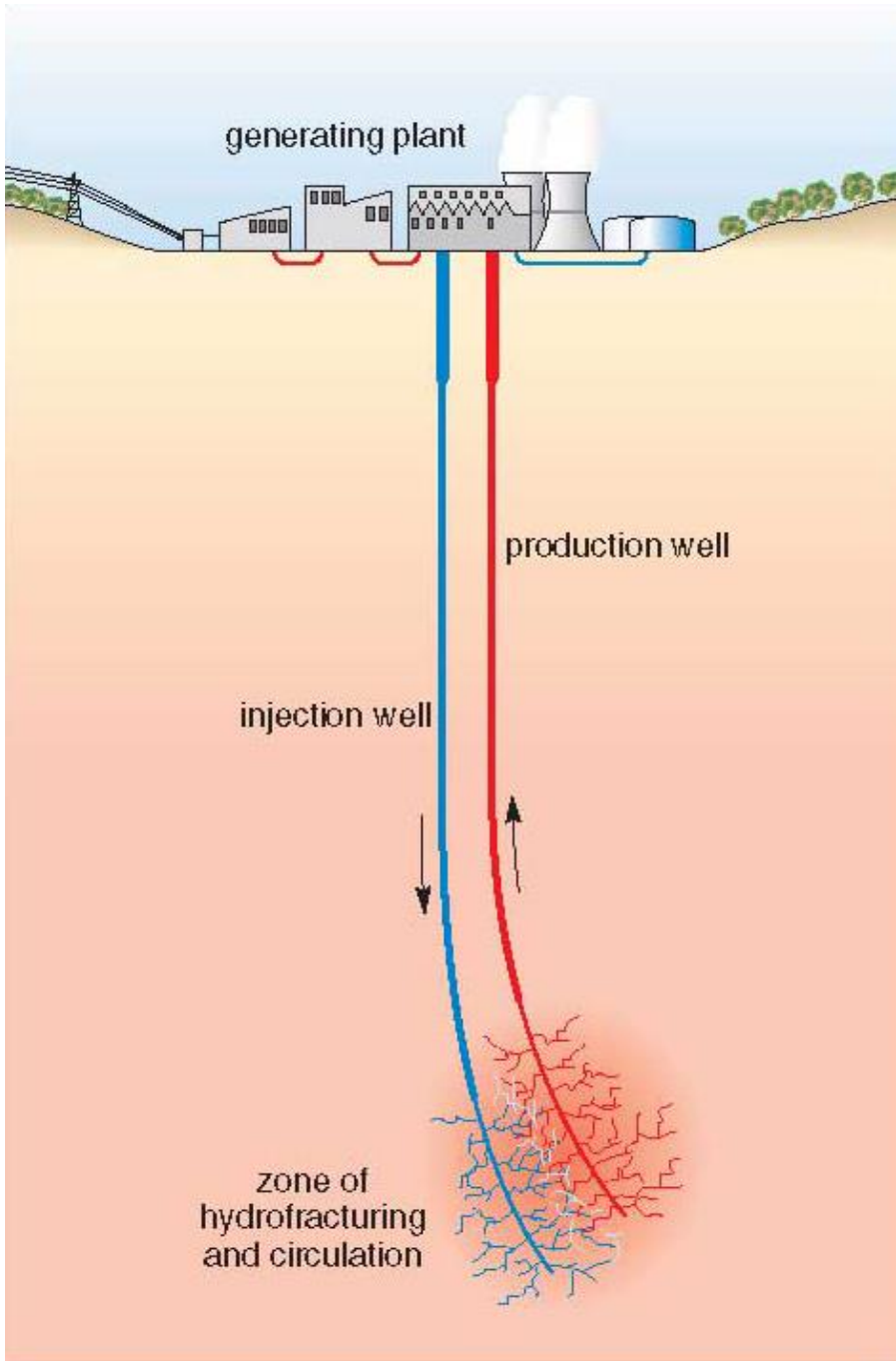


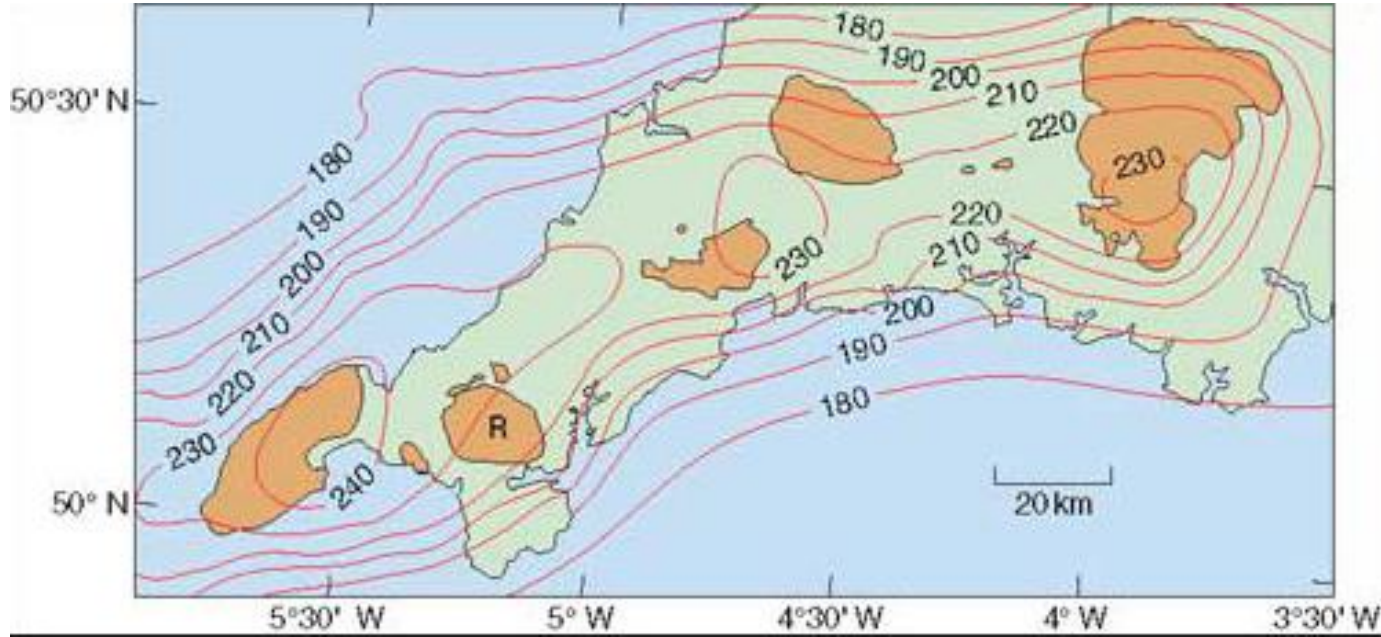
**SICAK-KURU KAYA SİSTEMİ
(HOT-DRY ROCK SYSTEM)
VE ISI POMPALARI (HEAT PUMPS)**

Kıtasal kabuğun bazı bölgelerinde kabuğu oluşturan kayalarda ısı üreten uranyum, toryum ve potasyum gibi elementlerin konsantrasyonların yüksek olması nedeniyle ısı akışı normalin oldukça üzerindedir. Yüze doğru ısı akışının oluşması ve sığ derinlerde yüksek sıcaklık anomalisinin ortaya çıkması büyük hacimli radyoaktif kayaların (granit intrüzyonları) bulunmasını gerektirir. Isıyı yüze aktaracak akışkan barındırmayan bu tür intrüzyonlardaki termal anomaliler sondaj yoluyla erişilebilirse termal kaynak olarak değerlendirilebilir. Sıcak kuru kaya (HDR) sistemleri, bu tür kayaların derinde yapay yolla çatlaklandırılması ve böylece oluşan yeni kanallar boyunca suyun bu birimler içine pompalanması ve kaynama noktası üzerinde ısınması ve daha sonra yüze taşınmasını kapsar. Şekilde sıcak-kuru kayanın ne şekilde yüksek-entalpili bir jeotermal kaynak haline geldiği görülmektedir. İntrüzyona açılan kuyu, yüksek basınçlı suyu kayada oluşturulan doğal kırıklara enjekte etmek için kullanılır. Kuyudan verilen su ısınmakla kalmayıp **hidro çatlaklandırma** adı verilen işlemlerle kırıkları daha genişletir. Bu süreç, suyun hareket edebileceği yeni kanallar oluşturur ve böylece süper olarak ısıtılmış suyu yeryüzüne ulaşan başka bir kuyuya nakleden yapay bir ısı değişim zonu meydana getirir. Bu tür derin kayalardan ısıyı elde etmek zor bir süreçtir. Kristalen kayalara yapılacak bir sondaj sedimanter birimlere açılacak kuyudan daha maliyetlidir. Bir HDR sahasının ekonomik olabilmesi için suyun hidro çatlaklandırılmış büyük hacimli kaya kütlelerinde dolaşması gerekir. Örnek vermek gerekirse, çatlaklandırılmış 1 km³ kuru kayacı soğutmak suretiyle elde edilen buhar üretimi 7 × 10⁴ ton kömürden sağlanacak enerjiye eşittir.



Yapay yolla çatlaklandırılmış sıcak kuru kaya sistemi. Bu sistemde, üretim ve enjeksiyon kuyuları arasındaki bağlantılı çok sayıda akışkan kanalı ısı değişimini sağlar.

Tipik HDR sahası yaklaşık 3-6 km derinlikte yer alır. 1970 ve 1980'li yıllarda, ABD, Birleşik Krallık, Fransa ve Almanya'daki granitik alanlarda bu konuya yönelik önemli araştırmalar yapılmıştır. ABD'deki (New Mexico) testler yüksek ısı akışının (60 K km^{-1}) olduğu bir alanda yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar HDR ile ısınan suyun türbini bir ay boyunca 60 kW kapasitede çalıştıracağını göstermiştir. Birleşik Krallıkta Rosemanowes (Cornwall) sahasında yapılan çalışmalar kristalen bir kayanın hidroçatlaklandırılması için kritik tekniklerin kullanılması gerektiğini göstermiştir. Cornwall bölgesinde oldukça radyoaktif çok sayıda granit intrüzyonu mevcuttur. Bu durum yüzey ısı akışının çevredeki alanlara göre (granit intrüzyonlarının olmadığı) daha yüksek olduğu bir zon oluşturmuştur. Jeotermal enerji üretimi için HDR testini yapıldığı alanda en az 150°C 'lik bir sıcaklık elde edilmelidir.

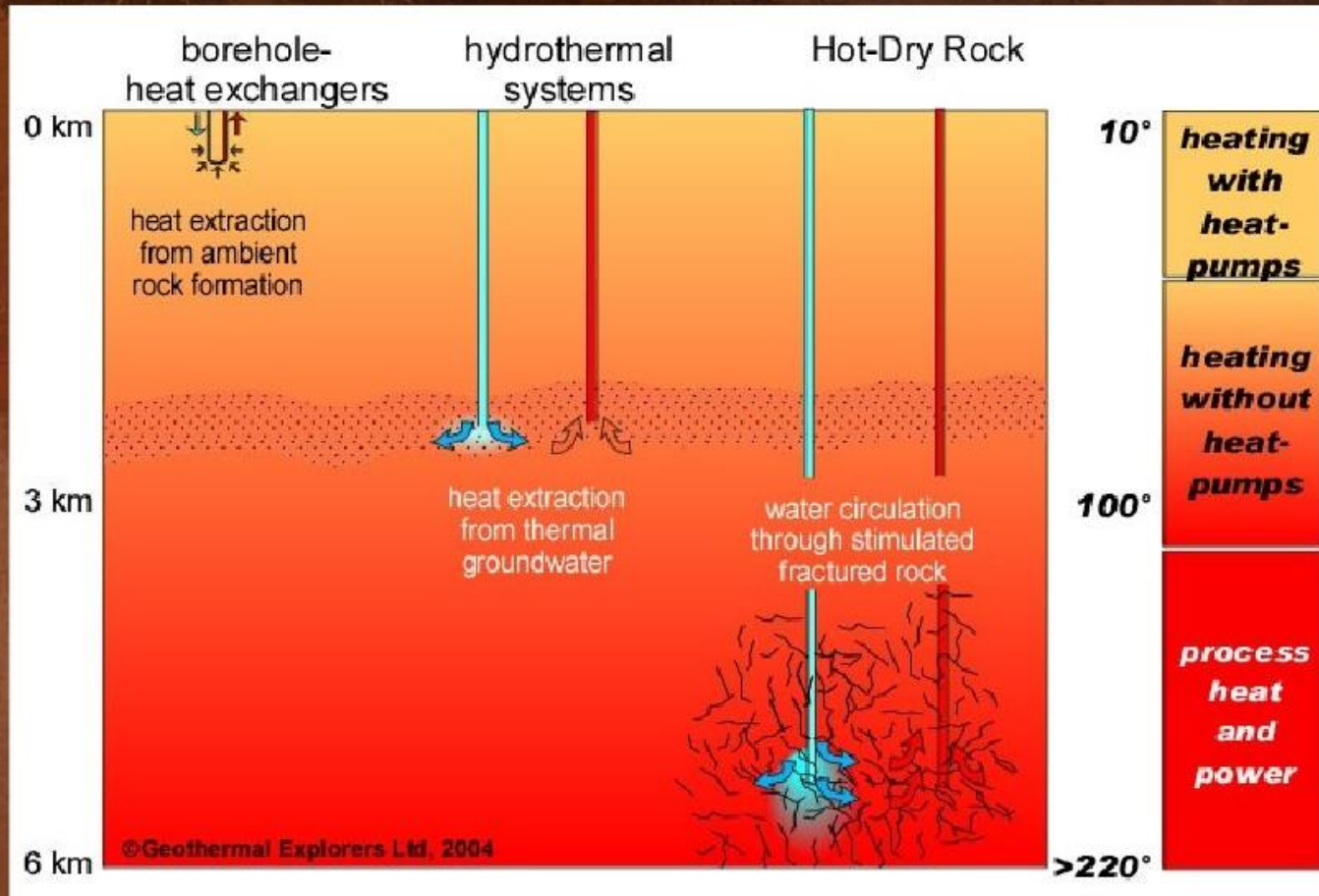


Cornwall'da yeraltında birbiri ile bağlantılı geniş kütleler barındıran granit oluşumları. 6 km derindeki $^\circ\text{C}$ olarak sıcaklık konturları. HDR testlerinin yapıldığı Rosemanowes (İngiltere) alanı haritada R ile gösterilmiştir.

Rosemanowes deneyi umulanın aksine kapalı bir su döngüsünü elde etmenin zor olduğunu ortaya koymuştur. Yüksek basınçta (atmosferik basıncın 100-1000 kat üzerinde) kontrol dışı hidro çatlaklandırma ortaya çıkmış ve su sızıntısı gerçekleşmiştir. %10'un üzerinde olmayan su kayıpları sürdürülebilir. Rosemanowes sahası terk edilmiştir.

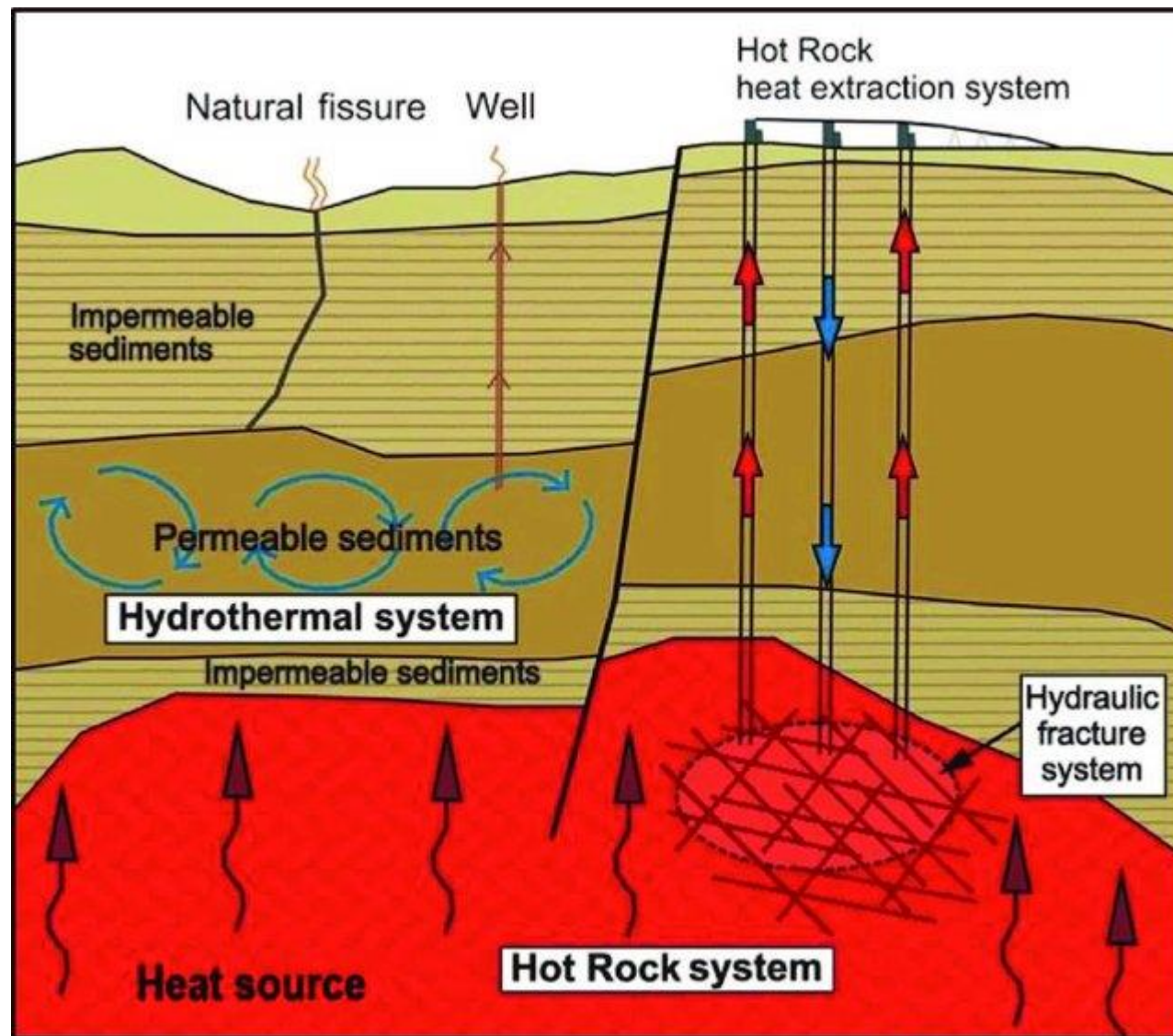
Rosemanowes deneyi hidro çatlaklandırma sürecinin gerçek-zamanlı (real-time) olarak izlenmesini ortaya koymuştur ve böylece, Fransa'da Soultz-sous-Forêts bölgesindeki (üst Rhine vadisi) gibi AB destekli daha sofistike programların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu alanın seçilme nedeni sığ derinlerdeki yüksek jeotermal gradyanın Rosemanowes'e göre daha yüksek sıcaklıklara yol açmasıdır. İlk olarak 3.5 ve 5 km derinlikte iki kuyu açılmıştır. Bunlara ilaveten, mikrosismik aktiviteyi (kırıkların neden olduğu) izlemek üzere jeofon barındıran ilave kuyular delinmiştir. Böylece, yeni oluşan kırıklar da tespit edilmiştir. Suyun dikkatli şekilde enjeksiyonu ile iki ana kuyu su kaybı olmaksızın birbiri ile irtibatlandırılmıştır. Yaklaşık dört ay devam eden testler sonucunda, 25 kg/sn akış hızındaki akışkandan 10 MW enerjinin alınabileceği ortaya çıkmıştır. Başarılı şekilde sonuçlanan proje, elektriğin rekabetçi fiyatlarla üretildiği HDR teknolojisinin temiz, yenilenebilir bir enerji kaynağı olabileceğini göstermiştir.

Methods of Heat Extraction



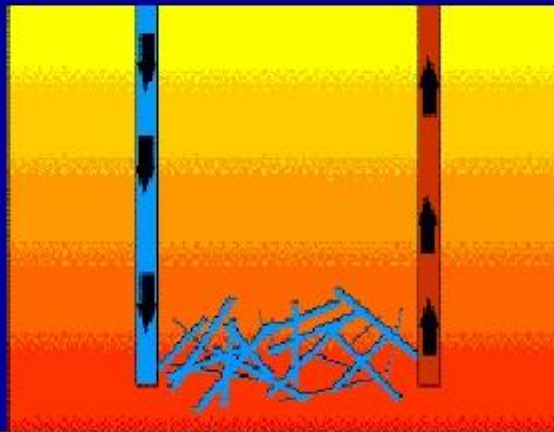
Hot Dry Rock Technology

- Wells drilled 3-6 km into crust
 - Hot crystalline rock formations
- Water pumped into formations
- Water flows through natural fissures picking up heat
- Hot water/steam returns to surface
- Steam used to generate power



Hot Dry Rock

- Two wells are drilled.
- Rocks between the wells are fractured.
- Cool water is pumped down the first well and hot water is pumped up the second well.



Doğal atlak ve gzenek iermeyen ve yüksek sıcaklığa sahip kayalar (rneđin granit) “Hot Dry Rock: Kızgın Kuru Kaya” kısaca HDR olarak adlandırılmaktadır. Doğal olarak atlaklı ve geirgenlikli olup ancak ekonomik miktarda akışkan içermeyen sistemler ise “Enhanced Geothermal Systems (EGS): Geliştirilebilir Jeotermal sistemler” olarak adlandırılır. Bu iki tanım birbirine yakın olup, aralarındaki tek fark tanımlanan kayaç tipidir. HDR sistemlerinde kayaç tipi mağmatik genellikle granitik kayaçlar iken, EGS sistemlerinde kayaç havza tipi sedimanter tipi kayaçlardır. Son zamanlarda EGS sistemleri her ikisini de kapsayacak bir terim olarak da kullanılmaktadır (Burçak, 2011).

EGS VE HDR SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hedef Alan Seçimi

Bu araştırmalar için öncelikli hedef yüksek yeraltı sıcaklığına sahip alanlardır. Bunun için öncelikli olarak uygun jeolojik ortamların hedeflenmesi gerekir. Uygun jeolojik ortamlar magma faaliyetinin aktif olduğu yerlerdir (Burçak, 2011).

- Plaka sınırları
- Kıtasal riftler
- Kabuk incelmesinin olduğu yerler
- Stratovulkanların evresi
- Granitler ve Derin kökleri
- Radyoaktif Bozunma

Türkiye açısından bakıldığında, bu şartların biri hariç (kıtasal rift) hemen hepsinin sağlandığı görülür. Özellikle Batı Anadolu kabuk incilmesi, Orta Anadolu Miyosen-Kuvaterner aralığında etkili olmuş genç ve uzun periyotlu volkanizma, yitim kuşağı üzerinde yer alan KB Anadolu ise Tersiyer yaşlı granitik sokulumlar (radyoaktif bozuşma süreci) ile uygun ortamları oluşturmaktadır (Burçak, 2011).

MTA Genel Müdürlüğüne bu bölgelerde derin ve orta derinliklerde sondajlar yapılmıştır:

Orta Anadolu'da

500-1000 m 60-80°C (Ankara-Kırşehir),

1500 m 135°C (Aksaray),

3000 m 183°C (Nevşehir)

Batı Anadolu'da,

2000-2500 m 200-243°C (Aydın-Denizli)

2750 m 287°C

KB Anadolu'da,

500-700 m 60-80°C (Bergama-Balıkesir),

1000 m 140°C (Dikili)

İç Ege Bölgesinde,

500-1000 m 100-160°C Afyon-Kütahya

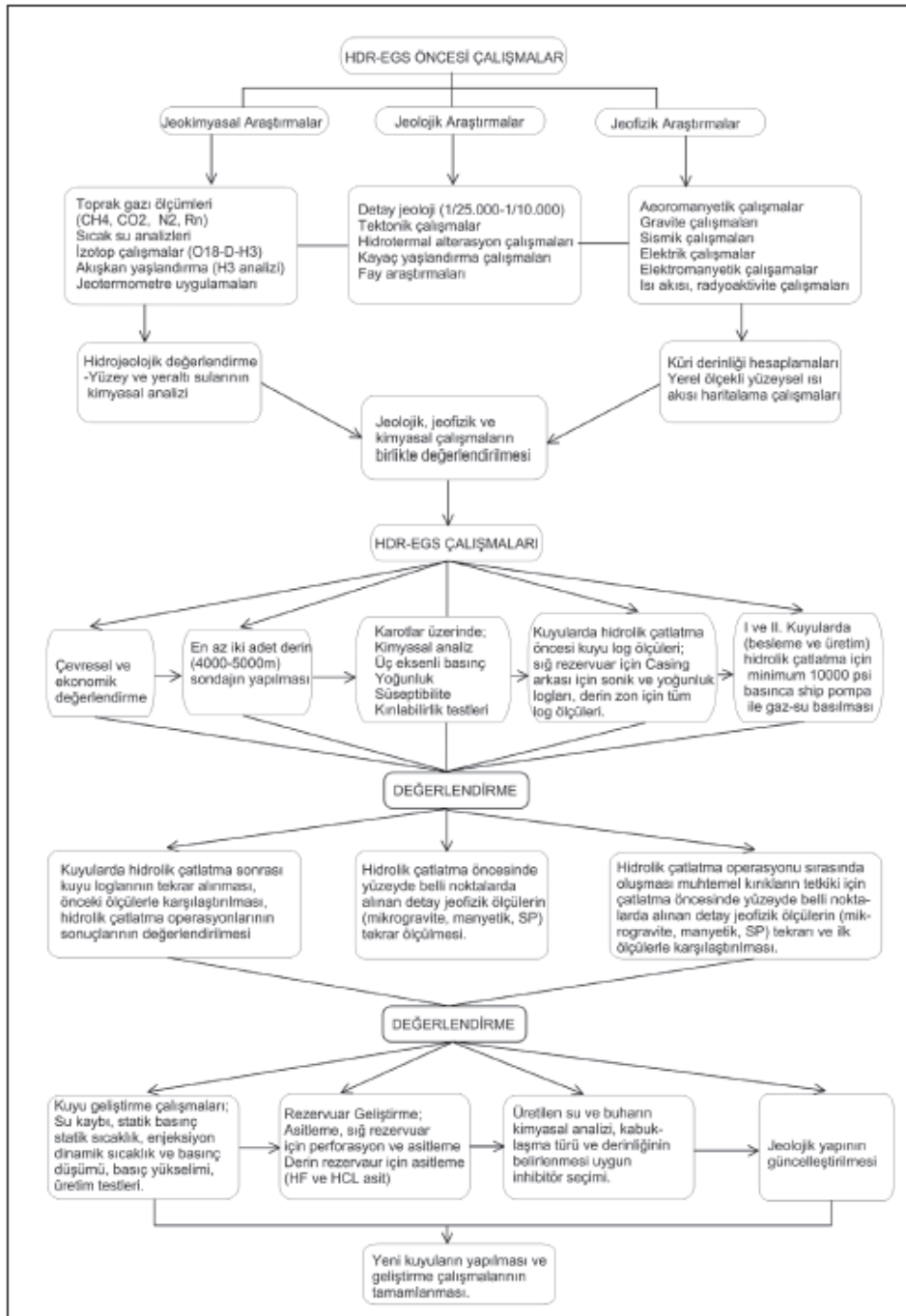
2500 m 181°C (Kütahya-Şaphane)

HDR-EGS SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Çalışmalar dört aşamada yapılmaktadır (Burçak, 2011).

1. HDR-EGS öncesi etüt ve araştırma çalışmaları,
2. Sondajlar test ve geliştirme çalışmaları ve hidrolik kırık oluşturulması,
3. Hidrolik kırıkların oluşma durumu ve yerinin belirlenmesi için ikinci sondajdan itibaren her sondajda yapılan detay etüt ve araştırmaların tekrar edilmesi ve yorumlanması,
4. Isı transferi sağlayacak akışkanın enjeksiyonu ve üretim test çalışmaları

HDR ve EGS sistemlerinin araştırılmasında kullanılacak iş akış şablonu şekilde verilmiştir (Burçak, 2011).



BÖLGESEL JEOLJİ

Bu aşama bölgesel jeolojik çalışmaların değerlendirilmesi, çalışma alanının bölgesel tektonik içindeki yerinin belirlenmesi, büyük ölçekli fay, kaldera, intrüziflerin yerinin belirlenmesi ve bölgesel stratigrafinin kurulması çalışmalarını kapsar. Detay jeoloji çalışması ile sahanın tektonik ve stratigrafik özellikleri belirlenir (Burçak, 2011).

Hidrojeokimya (Su Kimyası, İzotop) Çalışmaları

Yüzey ve yeraltı sularının kimyasal analizleri ve izotop analizleri yapılır. Özellikle HDR ve EGS sisteminde reenjekte edilecek suların kimyasal ve izotopik analizleri yapılarak, HDR ve EGS sistemlerine basıldıktan sonra yeraltında 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 yeraltında 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 çakıştırılarak bölgesel yapıların derinlerdeki fiziksel yansımaları anlamlandırılır. Gravite ve manyetik verilerden bölgesel ölçekli kaldera, fay, muhtemel derin alterasyon alanları belirlenerek saha hakkında bölgesel veriler toplanır.

Curie Çalışması

Manyetik süseptibilite “k” maddenin fiziksel bir özelliği olup 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; $0 < k < 10^{-5}$ paramanyetikdir k değeri negatif ise cisim diyamanyetik $1 < k < 4$ ise ferrimanyetik $10^1 < k < 10^6$ ise ferromanyetik Feri ve ferromanyetizma sıcaklık arttıkça düşer, Küri noktası olarak adlandırılan kritik sıcaklıkta kaybolur. 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 (Burçak, 2011).

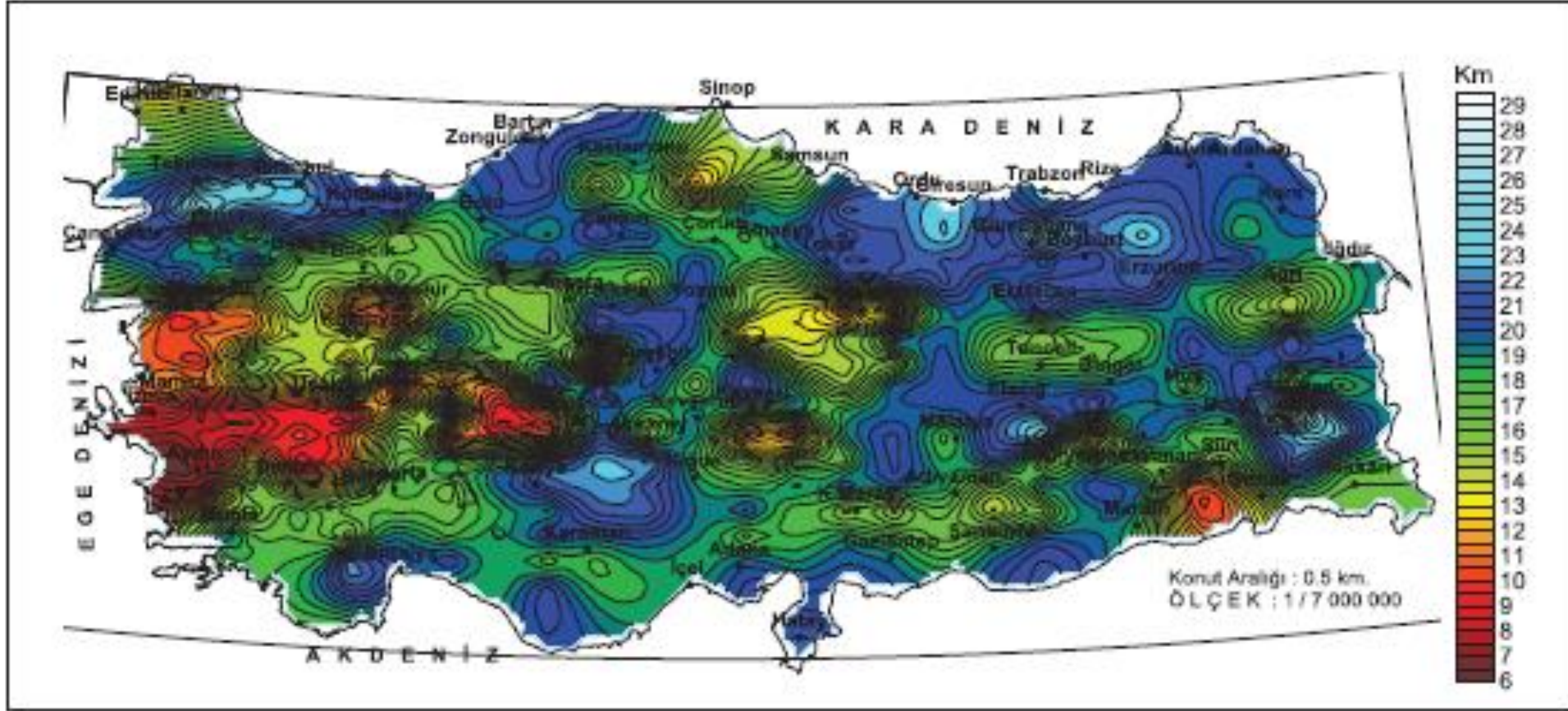
Türkiye’de Küri haritalaması MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı tarafından Türkiye ölçeğinde tamamlanmıştır. Veri aralıkları daha sıklaştırılarak daha yerel ölçekli Küri haritalarının yapılması yararlı olacaktır.

Isı Akısı Çalışmaları

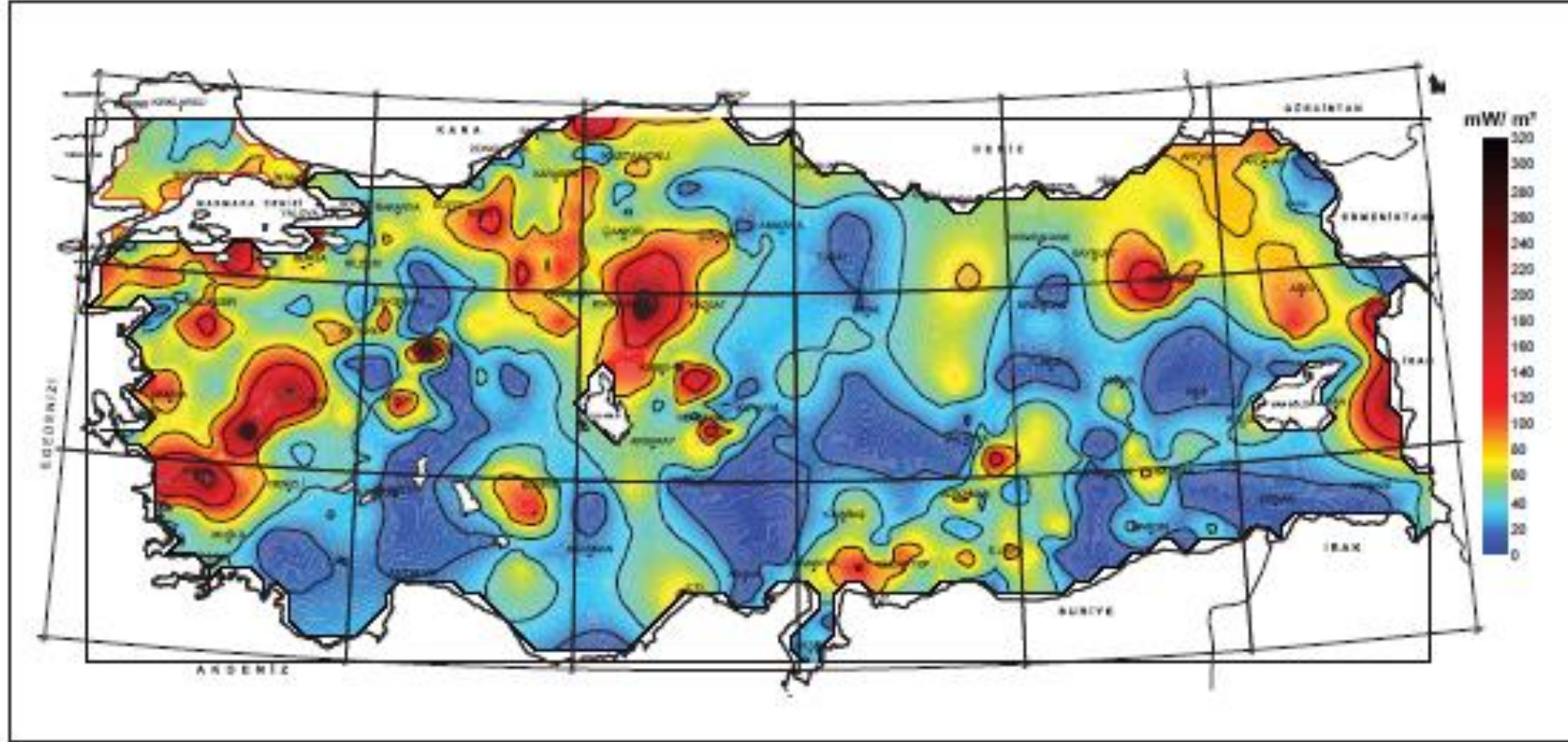
Yer içinden yüzeye ulaşan enerjisi; ısı akısı (q) (heat flux) olarak hesaplanabilir. Kondaktif bir sistemde ısı akısı (q) ve termal iletkenlik (k) jeotermal gradyanla (dT/dZ) ilişkisi şu şekildedir (Ehara, 1999):

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

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 $\sim 400 mWm^{-2}$ gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yerden yayılan ortalama ısı “q” ortalama $0.08Wm^{-2}$ ($80 mWm^{-2}$) olarak hesaplanmıştır. Isı akısı çalışmaları ile kuyularda yapılan sıcaklık ölçüleri değerlendirilerek 1/1.000.000 ölçekli Isı akısı haritası tamamlanmıştır. Ancak, Türkiye’de değişik bölgelerde çok sayıda yeni sondaj açıldığından bu veriler ışığında yenilenmesi gerekmektedir (Burçak, 2011).



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



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

Manyetotellürik Çalışmalar

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, magma 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 (Burçak, 2011).

Doğal elektromanyetik alan çok geniş bir spektruma sahiptir. Düşük frekanslar (0.00001-10 Hz) onlarca ve yüzlerce km derinliklerdeki yerin yapısının araştırılmasında (MT metodu), yüksek frekanslar (10-1000 Hz) ise sığ araştırmalarda kullanılır (AMT). Düşük frekanslar güneşten yayılan ve yerin manyetik alanı ile karışan iyonosferik ve manyetosferik akımlardan elde edilir. Bazı yüksek frekanslar (≥ 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 Yunancada yer). Manyetotelürik çalışmaların kullanıldığı alanlar aşağıda özetlenmiştir (Burçak, 2011).

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 magma kütlelerine yorumlanmıştır. Manyetotellürik yöntemlerle tespit edilen derinlerdeki düşük rezistiviteli kütlelerin bir çok alanda, yüksek ısı akılı alanlarla korele edildiğinde çakıştığı gözlenmiştir (Beblo vd., 1983; Hersir ve Björnsson, 1984; Eysteinsson ve Hermance, 1985; Burçak, 2011).

Türkiye'de jeotermal ısı kaynağı araştırmalarında 2004 yılından itibaren uygulanmış örtülü sahalarda elektrik üretimine uygun Kütahya Şaphane bölgesinde yeni gömülü sahalar bulunmuştur (Burçak vd., 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 (Burçak, 2011).

- * 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 sondajları öncesi yapılacak etüt ve araştırmalar

Toprak gazı ölçümleri: Alanda radon, uranyum, toryum, karbondioksit, metan gaz, toprak gazları ölçülerek sonuçlar kaydedilir.

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

Mikrogravite çalışmaları: Alanda yapay kırıklar oluşturulmadan önceki gravite değerinin bilinmesi önemlidir. Bunun için mikrogravite cihazı kullanılarak ölçümler yapılır.

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 (Burçak, 2011).

SONDAJ ÇALIŞMALARI

Sığ Gradyan Sondajları

Tüm veriler dikkate alınarak yeraltı gradyan artışının belirlenmesi ve yüksek ısılı alanların saptanması amacıyla 100-200 m derinlikte gradyan sondajları açılabilir.

Derin HDR-EGS Sondajları

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 CO2 (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

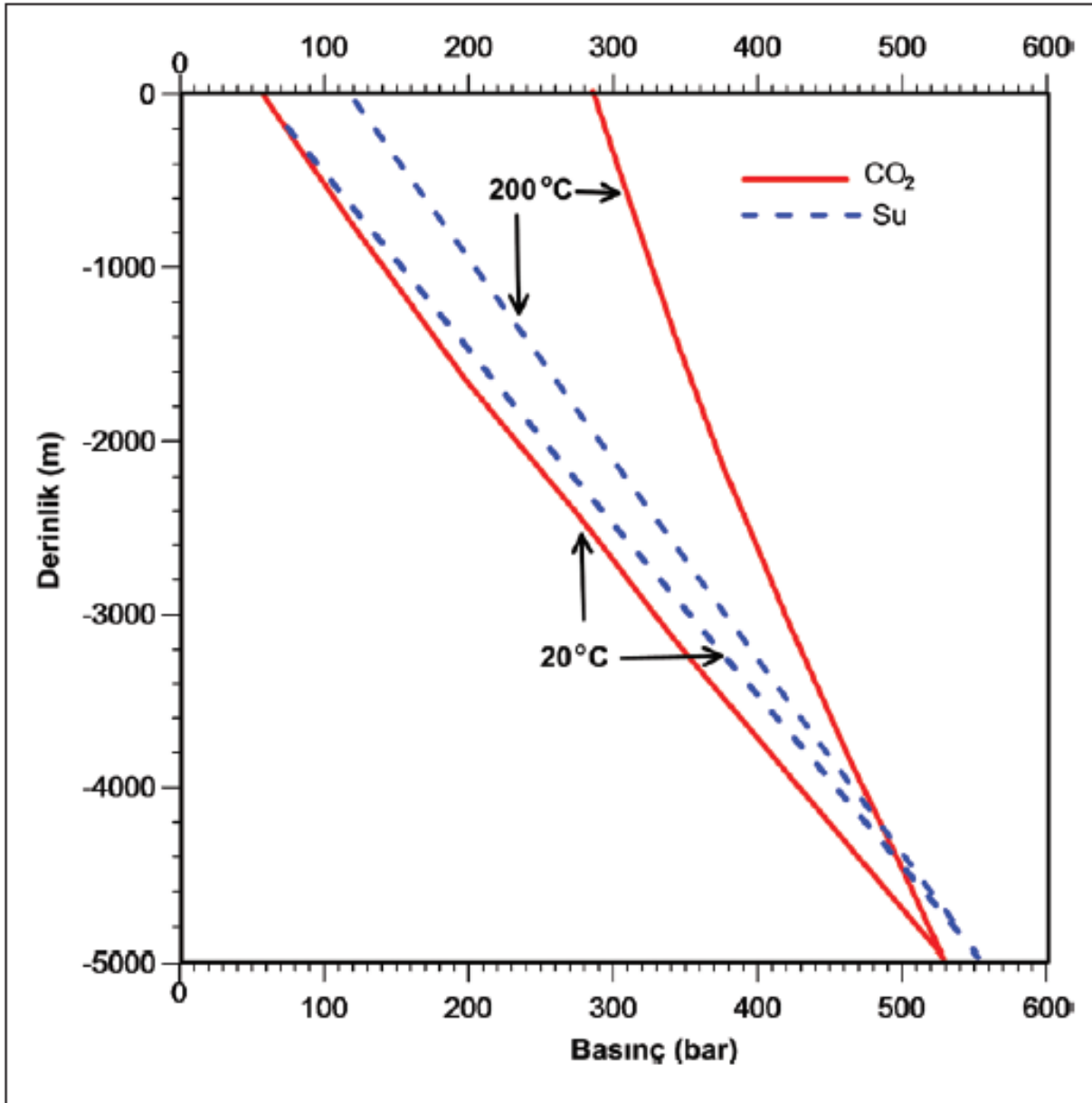
Kuyular yapıldıktan sonra enjeksiyon amaçlı olanından yüksek basınçla soğuk su veya gaz (azot) basılarak kuyunun soğuması ve büzülmesiyle çatlama sağlanır. Burada çatlama için uygulanan hidrolik basıncın yanı sıra soğuma etkisiyle kayacın büzülmesine çalışması sağlanmaktadır. Bu operasyonlar için yüksek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

Isı Transfer Akışkanı

HDR ve EGS sistemleri konusundaki ilk çalışmalarda kayaç mekaniğinin termal ve hidrolik etkisi üzerinde durulmuş, stres değişimi ile çatlakların açılarak genişletilmesi 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 vd., 2005; André vd., 2006). Su yüksek sıcaklıklarda mineraller 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 olmakla birlikte operasyon sırasında kaçınılmaz akışkan kayıplarına da yol açar. Bunun benzeri bir problem GB Amerika'da karşılaşılmıştır (Burçak, 2011).

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; Burçak, 2011).

Isı transfer akışkanı olarak Su ve CO_2 kullanıldığında enjeksiyon ve üretim kuyularında ölçülen statik basınç değişimi şekilde görülmektedir. Her ikisi içinde kuyu başı sıcaklık ve basınç (T, P) şartları $20^\circ C$ ve 57,4 bar olarak alınmıştır. Basınç bu kadar alınmıştır çünkü CO_2 doygunluk basıncı olup CO_2 'in tek fazlı kritik likit basınç değeridir. CO_2 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 $200^\circ C$ sıcaklık için yukarıya doğru statik basınç değerleri hesaplanmıştır. Buna göre üretim kuyusunda kuyu başı basıncı CO_2 için 288,1 bar, su için ise 118,6 bar olarak bulunmuştur (Burçak, 2011).



Uzun süreli EGS su sirkülasyonu testleri birkaç aylık ve bir yıla ulaşan testlerin ardından toplam akışkan kaybı (formasyonlar için) 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 CO₂ miktarının yeterli olacağı hesaplanmıştır. %5 akışkan kaybı olacağı, kayıp olan CO₂ miktarının ise her 1 MWe için 1 kg/s veya başka bir hesaplama ile 1000 MWe için 1 ton/s kadar olduğu bulunmuştur. Bir karşılaştırma yapmak için 1000 MWe kapasiteli petrol yakıtlı enerji santrali 1/3 ton/s CO₂ üretmektedir (Bachu ve Hitchon, 1996). Genel bir yaklaşımla 1000 MWe kapasiteli bir EGS sistemi, 3,000 MWe kapasiteli fosil yakıtlar ile yayılan CO₂ miktarı kadar CO₂'i jeolojik formasyonlar içinde biriktireceği söylenebilir.

ISI POMPALARI

Isı pompası, ısı enerjisini bir ortamdan diğerk bir ortama taşıma prensibine dayanan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Gereklı şartlar sağlandığında yüksek miktarlarda enerji düşük maliyetlerle kullanıma sunulabilir.

Çoğru insan için ısı pompası yeni bir terimdir. Oysaki evlerimizde **ısı pompası** çalışma prensibi ile aynı mantığın ürünü olan buzdolabı, klima ve derin dondurucu gibi cihazlar kullanılmaktadır. Söz konusu cihazların çalışma mantığı ısıyı taşıma prensibine dayandığından bu cihazlar, ısı pompası başlığı altında toplanabilirler. Isı pompasının yakın bir gelecekte ülkemizde de yaygınlaşması kaçınılmaz bir sonuçtur.

Nicolas Leonard Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılan teori ısı pompasının temel teorisidir. Buhar makinesinin ürettiğı mekanik güç, dışarıdan verilerek sıcak – soğuk çevrim sağlanabilir. bu durumda sistem bir buhar makinesi olmaktan çıkarak; sıcak ortamdan soğuk ortama enerji aktaran bir soğutma makinesi veya soğuk ortamdan sıcak ortama enerji aktaran bir ısıtma makinesi olarak çalışacaktır. Carnot döngüsü olarak bilinen bu çevrim **ısı pompası** ve termodinamik için temel prensiptir.

Soğutamadığı sürece ısıtan bir yapıya sahip ısı pompası sisteminin çalışabilmesi için ısıtılacak ortam ve soğutulacak ortam birlikte gereklidir. Isıtılacak ortam genellikle eviniz olacağından, soğutulacak ortam hava, su ya da toprak olacaktır. 26 yıl sonra 1850 yılında Lord Kelvin'in soğutma cihazlarının ısıtma maksadı ile kullanılabileceğini ileri sürmesiyle **ısı pompası** uygulamaya girdi. II. Dünya Savaşından önce ısı pompasının geliştirilmesi ve kullanılır hale getirilebilmesi için birçok mühendis ve bilim adamı bu alanda araştırmalar ve çalışmalar yaptı. Savaş yıllarında endüstri, imkanları daha acil problemlere yönelttiğı için ara verilen bu çalışmalara savaştan sonra tekrar başlandı. Isı pompası endüstrinin 1950'ler de sahip olduğı potansiyel, yüksek kurulu maliyeti, doğalgaz ve petrole dayanan enerjinin ucuzlaması nedeniyle ısı pompasına olan güven 1960'lı yıllarda azaldı. Isı pompalarının bu duraklamadan sonra önem kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra birçok çalışma yapılmıştır.

Isı pompası endüstrisinin 1950'lerde sahip olduğu potansiyel, yüksek kuruluş maliyeti, doğalgaz ve petrole dayanan enerjinin ucuzlaması nedeniyle isi pompasına olan güven 1960'lı yıllarda azaldı. Isı pompalarının bu duraklamadan sonra önem kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra birçok çalışma yapılmıştır.

Avrupa ve Amerika'da özellikle 1990'lı yıllardan itibaren kullanımı yaygınlaşmaya başlamış ve her geçen gün kullanıcı sayısı artmıştır. Ancak ülkemiz her konuda olduğu gibi bu teknolojiyle tanışma konusunda da geç kalmış ve isi pompasının sunduğu bütün avantajlara rağmen hala ciddi sayıda kullanıcı sayısına ulaşamamıştır. Türkiye'de ısı pompası uygulamaları ilk olarak 1990'ların ortalarında gerçekleşmiştir. Türkiye'deki ısı pompası kullanıcıları genel olarak yurt dışında bu sistemle tanışmış, avantajlarını görmüş belki de bizzat yaşamış ve Türkiye'ye dönünce bu sistemi kendileri talep ederek kullanmaya başlamış kişilerdir.

Fosil yakıtların tükenmekte olması ve her geçen gün bu yakıtların fiyatlarında ciddi artışlar yaşanması ayrıca çevre bilincinin gelişmesi gibi birçok sebepten ısı pompasının çok yakın bir gelecekte ülkemizde de yaygınlaşması kaçınılmaz bir sonuçtur.

Isı Pompası Nasıl Çalışır ?

Isı pompası enerjiyi bir kaynaktan diğer kaynağa aktaran cihazlardır. Enerji alınan kaynak hava, su yada topraktır.

Isı pompası enerji aldığı kaynağı ısıtma konumunda çalışırken soğutur, serinletme yaparken ise ısıtır. Yapılan işlem gazın faz değişimi ile enerji alma ve bu enerjiyi taşımadır. Bu taşıma ve faz değişimi sırasında bir miktar enerji harcanır. Isı pompaları kaynaktan ısıtılan yada soğutulan ortama enerji taşımaları esnasında bir miktar elektrik enerjisi harcarlar , harcanan elektrik 1 kw alınan toplam ısı enerjisi 4.5 Kw ise bu cihazın COP değeri 4.5 olmaktadır.

Bütün ısı pompaları aynı prensiple çalışır. Elde edilen ısı, soğutma işleminin bir sonucudur. Evinizdeki buzdolabını bir düşünün. Buzdolabı içindeki yiyecekleri ve dolabın içindeki havanın ısını alan akışkan, buzdolabının içini soğuturken odaya ısı vermektedir. Buzdolabının arkasındaki boruların her zaman sıcak olmasının sebebi budur. Buzdolabının yapısındaki kompresör dolabın içinden aldığı enerjiyi 3-4 kat arttırarak, ısı olarak arka tarafa iletir. Bu buzdolabının çalışmasıyla ilgili gerçektir. Asıl amaç soğutma olduğu halde, soğutma işleminin sonucu olarak ısı açığa çıkar. Yani her zaman bir ortamı soğutuyorsanız, başka bir ortamı ısıtıyorsunuzdur.

Bilindiği gibi enerji vardan yok, yoktan var olmaz, sadece ya biçim değiştirir ya da bir yerden bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama “pompalama” veya “taşıma” kabiliyetinden alır. Eğer amaç soğutmak yerine ısıtmak olursa buzdolabınız bir ısı pompasıdır (Hava-hava ısı pompası). Bu örnekte kaynak: buzdolabının içindeki hava; ısının iletildiği ortam: buzdolabının arkasındaki havadır. Sonuç olarak ısı pompalı sistemlerde ihtiyacınız olan ısı enerjisinin $\frac{3}{4}$ ünü doğada depolanmış güneş enerjisinden yani doğal termal enerjiden (toprak, su, hava), $\frac{1}{4}$ ünü ise elektrik enerjisinden karşılıyorsunuz. Toprak, su ve hava ücretsiz, yenilenebilir ve tükenmez enerji kaynaklarıdır.

Ayrıca ısı pompaları çoğunlukla kışın ısınmak amacıyla kullanılabildikleri gibi yazın ise aynı ortamı serinletmek amacıyla da kullanılabilirler. Su- su ve hava-su ısı pompaları, ısıtma ve serinletme hizmetini aynı anda sunabilirler. Diğer ısı pompalarında serinletme için düşük bir ek maliyet yeterlidir.

Isı Pompası Çalışma Prensibi

Isı pompasında hava, toprak (yatay yada dikey) ve su ana kaynak olarak kullanılır. Bölgeye ve amaca göre kaynak seçimi yapılır. Önemli olan kaynağın olabildiğince stabil olmasıdır. En stabil kaynak topraktır. Fakat ilk yatırım değeri yüksek olmaktadır. 1 mt derinlikte Ocak ayında Ankara 12°C , İstanbul 8°C, İzmir ise yaklaşık 14°C olmaktadır. Hava sıcaklıkları ise devamlı değişkendir. Gündüz, gece hatta gün içinde bile çok değişkenlik gösterir. Fakat son yıllarda kompresör teknolojisi ve gazların geliştirilmesi ile ılıman bölgelerde toprak kaynaklı ısı pompaları ile hava kaynaklı ısı pompalarının COP değerleri birbirine çok yaklaşmışlardır.

Isı Pompası Avantajları

Toprak – su kaynaklı **ısı pompası** teknolojisi yeryüzünün belirli bir derinliğinde sıcaklığın yıl içinde sabit kalması gerçeğine dayanır. Belirlenen derinlikte toprak tabakası kışın havadan daha sıcak, yazın ise daha soğuktur. Toprak – su kaynaklı ısı pompaları kışın yeryüzünün altında veya yer altı sularında depolanmış ısıyı binaya, yazın bina içindeki ısıyı yeraltına taşıyarak doğanın bize verdiği bu avantajı kullanırlar. Kısaca yer altı; kışın bir ısı kaynağı, yazın ise bir ısı çukuru olarak davranır. Toprak – su kaynaklı ısı pompaları günümüzde ısıtma – soğutma ve sıcak kullanım suyu elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. Bu ihtiyaçların tümüne ısı pompası tek makineyle cevap verebildikleri için de tercih sebebi olmuşlardır.

– 35°C besleme su sıcaklığı ve 55°C besleme su sıcaklığına göre dizayn edilmiş yerden ısıtma sistemleri arasında %30-40 arasında elektrik tüketim farkı oluşur.

– Baca Gereksinimi Yoktur:

– Isı pompaları herhangi bir atık çıkartmazlar, bu nedenle temiz bir ısıtma kaynağıdır.

– Atık Gaz Yoktur.

Isı Pompası Dezavantajları

Isı pompalarının iyi bir dizaynla hiçbir dezavantajı yoktur. Fakat iyi bir etüt yapılmalıdır. Amacınız sadece çevreye katkı sağlamak, karbon salınımını azaltmak ise etüde gerek kalmadan **ısı pompası** sistemi kurabilirsiniz. Fakat ben ısı pompası ile evimi yada işyerimi ucuza ısıtmak ve serinletmek istiyorum diyorsanız bu durumda enerji verimliliği etüdü yapılmalıdır. Bu durumda hem çevreye katkıda bulunacak hem de daha az enerji bedeli ödemeniz garanti altına alınacaktır. Kış boyunca dış hava sıcaklığı sürekli olarak – değerlere sahip bir bölgedeki tesise hava kaynaklı ısı pompasını uygun gördüyseniz sadece çevreye katkıda bulunur cebinize büyük oranda zarar verirsiniz.

Toprak Kaynaklı Isı Pompası



Su Kaynaklı Isı Pompası

Toprağın ulaşılabilir derinliğinde sürekli akışı olan yeraltı su kaynağı bulunması durumunda bu kaynaktaki su ısı kaynağı olarak kullanılabilir. + 8 C ile + 12 C sıcaklıkları arasındaki su optimal bir işletmeye imkan tanır.

Bu sistemlerde yeraltı suyu açılan bir kuyu ile topraktan emilir, ısı pompasında kullanıldıktan sonra emiş kuyusu min. 5 metre uzaktaki bir geri basma kuyusu ile tekrar toprağa gönderilir. Kuyulardan, göllerden, nehirlerden, şehir şebekesinden ve üretim işlerinden elde edilen su, ısı kaynağı olarak kullanılabilir.

Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Topraktan ısıyı çekmek için temel olarak iki yöntem kullanılmaktadır.

– Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompaları

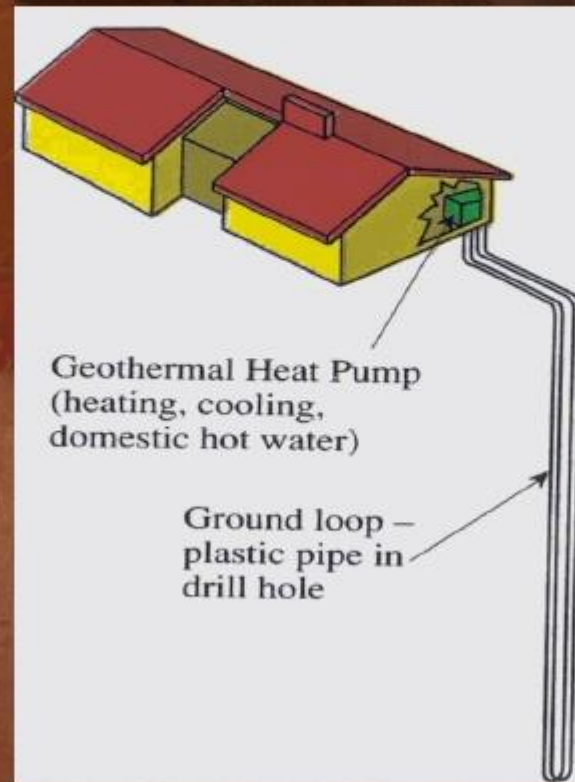
– Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları

Toprak ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalarak tüm yıl boyunca yaklaşık olarak sabit sıcaklıkta kalır ve dolayısıyla daha kararlı bir enerji kaynağıdır.

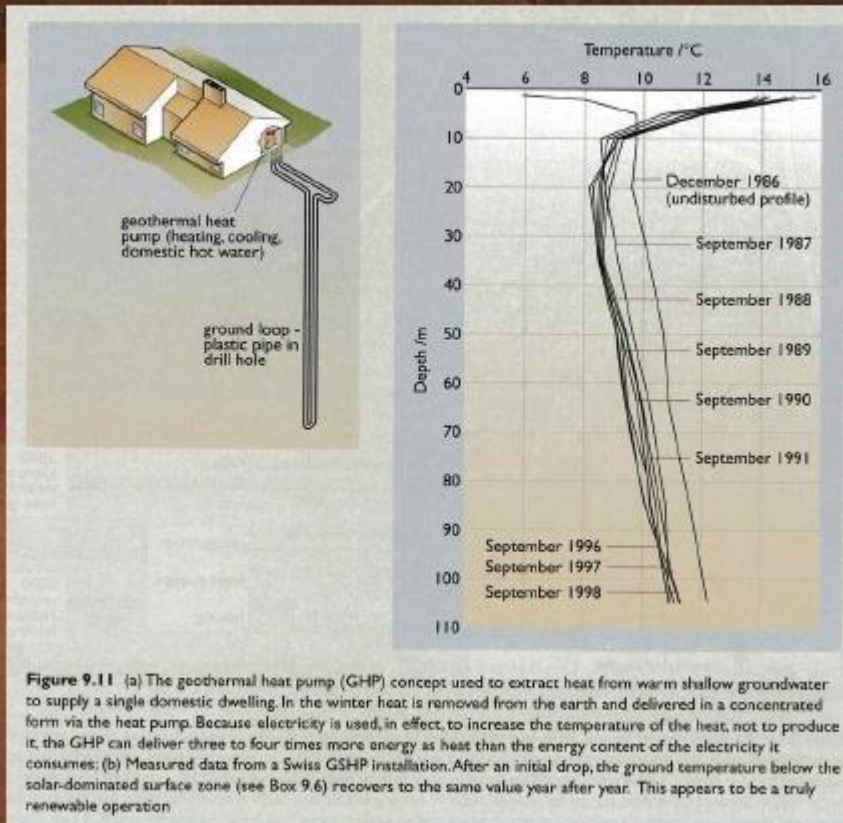
Toprak kaynaklı ısı pompası toprağı enerji kaynağı olarak kullanmaktadır. Güneş ışımalarının bulutlara, bulutların üzerinden yağmurla toprağa veya direk olarak ışınların toprağa gelmesiyle toprağın 1,2 – 1,5 m derinliğine kadar bir enerji birikimi olur.

Güneşten gelen ışıma ile bu derinliklerde toprak bu enerjiyi depolar. Topraktaki ikinci enerji ise dünyanın çekirdeğinden gelen ısı akışıdır. Isı akışı yer kabuğuna doğru azalır ve yüzeye 2 m kala sıfır olur.

Geothermal Heat Pump



Efficiency of Heat Pumps



Heat vs. Depth Profile

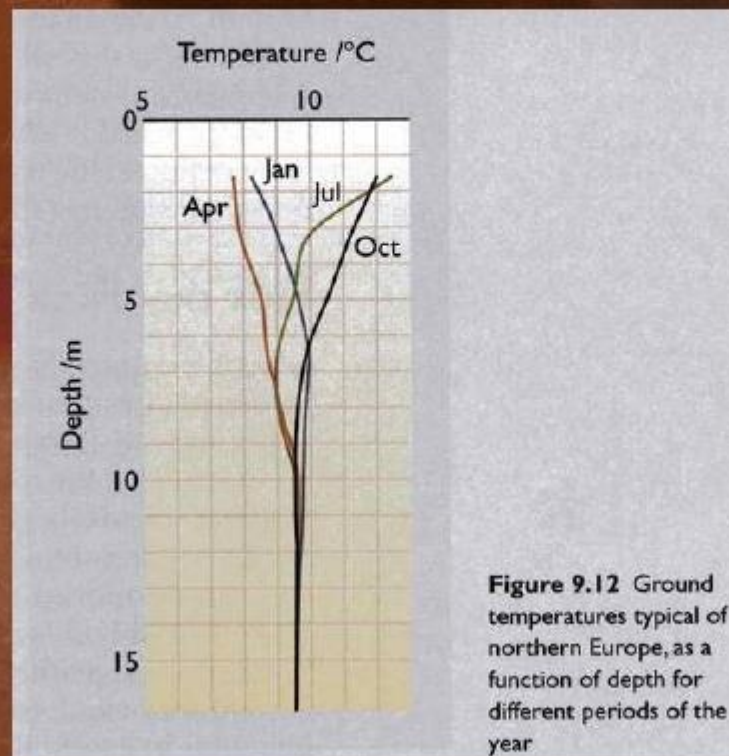


Figure 9.12 Ground temperatures typical of northern Europe, as a function of depth for different periods of the year