

# AKTİF TEKTONİĞİN İKRAMI SIFIR ZARARLI JEOTERMAL ENERJİ

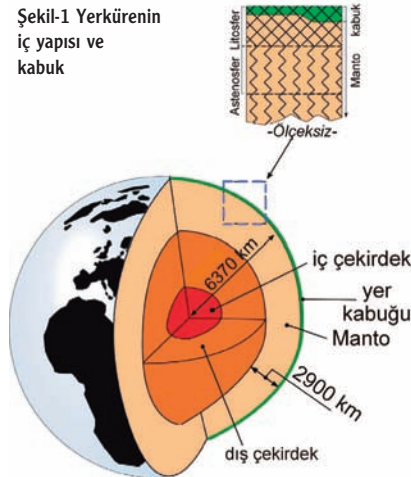


Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılan yerküre iç ısıyı olarak tariflenir. Jeotermal model üç önemli unsur ile açıklanır. Birincisi ısı kaynağı; ikincisi ısıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan; üçüncüsü ise bu akışkanın dolaşımını sağlayacak ölçüde geçirimli kayaçlardır. Toplam 6370 km yarıçapında olan yerkürede kalın mantoya göre oldukça ince gelişmiş katı kabuk vardır (Şekil 1). Kabuğun hemen altında gelişen magma sokulum alanları potansiyel jeotermal bölgeleri oluşturabilir. Yerkürenin içine doğru ilerledikçe sıcaklığın zaten arttığı biliniyor. Ancak jeotermal alanlarda sıcak kayaç ve yüksek sıcaklıktaki yeraltısuyu diğer yerlere göre daha sık kesimlerde bulunursa bu bölge jeotermal alan olarak adlandırılır. Yer kabuğunun incelendiği bölgelerde sıcaklık taşıyan magmanın kabuğa sokulması jeotermal alanların oluşumunu sağlar (Şekil 2). Meteorik kökenli yeraltı suyunun birkaç kilometre derine inip ısıdıktan sonra yüzeye doğ-

ru yükselmesi ise bu sahanın jeotermal saha olarak nitelendirilmesine olanak verir.

Jeotermal saha aslında bu özellikteki yeri tanımlayan coğrafik bir kavramdır. Bu sahada meteorojik yağmurun oluşturduğu beslenme alanı, yerin içine giren soğuk suların ısınarak bunların yeryüzünde çıkış yaptıkları yerler (yani hidro-

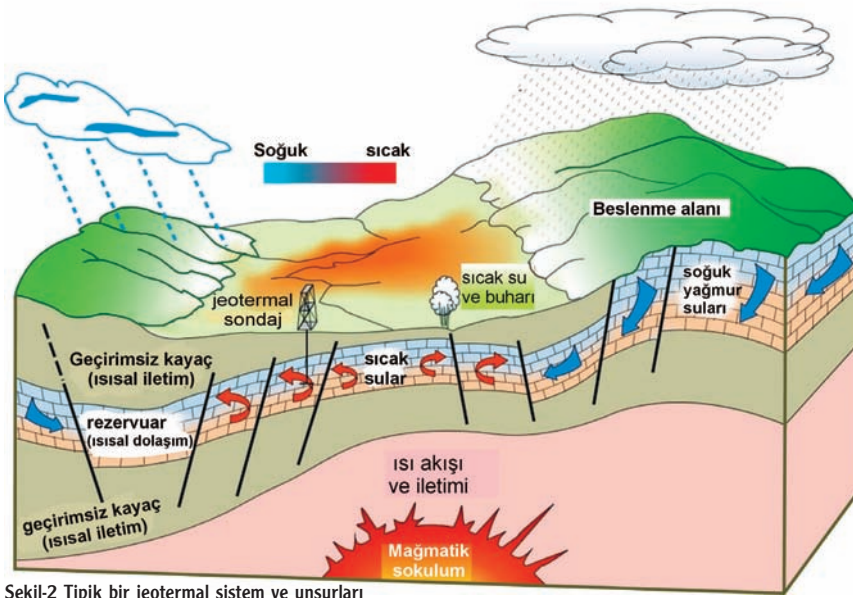
Şekil-1 Yerkürenin iç yapısı ve kabuk



lik düzen) ise jeotermal sistem olarak adlandırılır. Isınan suların yerinde barındıkları geçirimli kayaç kesimi ise jeotermal rezervuar olarak tanımlanır. Jeotermal rezervuarda 1 km derinlikteki sıcaklığa bağlı olarak sistemleri iki gruba ayırmak olasıdır. a) Rezervuar sıcaklığının 150°C'dan düşük olduğu, düşük sıcaklıklı sistemler: Bu tür sistemler genelde yeryüzüne ulaşmış doğal sıcak su veya kaynar su çıkışları gösterirler. b) Rezervuar sıcaklığının 200°C'dan yüksek olduğu yüksek sıcaklıklı sistemler: Bu tür sistemler ise doğal buhar çıkışları (fumaroller), kaynayan çamur göletleri ile kendini gösterir..

Jeotermal sistemlerin fiziksel durumlarına bağlı olarak sınıflandırılmaları durumunda, üç farklı rezervuar durumu tanımlanabilir. 1) Sıvının etken olduğu jeotermal rezervuarlar: Rezervuardaki basınç koşullarında su sıcaklığının buharlaşma sıcaklığından daha düşük olduğu rezervuarları tanımlamakta kullanılır. Rezervuar basıncını sıvı su fazı kontrol





Şekil-2 Tipik bir jeotermal sistem ve unsurları

etmektedir. 2) İki fazlı jeotermal rezervuarlar : Rezervuarda sıvı su ve su buharı birlikte bulunmaktadır ve rezervuar basıncı ve sıcaklığı suyun buhar basıncı eğrisini izler. 3) Buharın etken olduğu jeotermal rezervuarlar : Rezervuar basıncındaki akışkan sıcaklığının suyun buhar basıncı eğrisi sıcaklığından daha yüksek olması durumunda bu tür rezervuarlar oluşurlar. Rezervuardaki basıncı su buharı fazı kontrol etmektedir. Bir jeotermal sistemde volkanik kökenli jeolojik birimler en iyi ısıtıcı kayaç olarak gözlenirken, rezervuar kayaç olarak da çatlak-kırık-boşluk gibi petrofizik özelliklerin egemen olduğu yüksek geçirimli jeolojik birimler varolur (Şekil 3). Yüzeiden yeriçine giren soğuk sular derinlerde aynı bir ısınmış tencere dibi gibi işlev gören sıcak volkanik-mağmatik kayaçları yala-

arak ısınırlar ve yeryüzüne doğru hareket edip yerlerini daha soğuk sulara bırakırlar. Süregelen bu döngü içerisinde yüze yaklaşan sıcak suların fay-çatlak gibi zayıf yerlerden yeryüzüne yaptıkları su-buhar çıkışları ise kaplıca olarak tanımlanır.

## Jeotermal Alanların Araştırılması

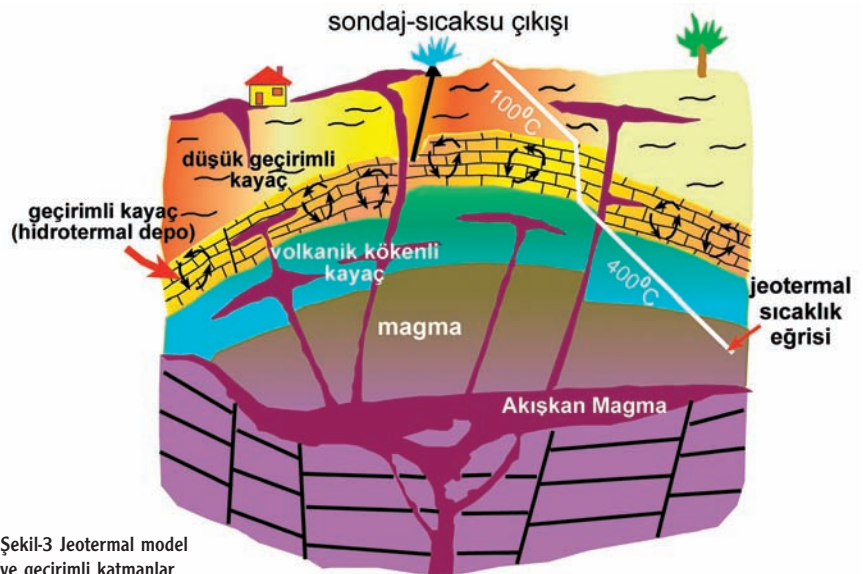
Jeotermal enerjinin doğası ve dağılımı ile ilgili üç temel terim vardır; jeotermal gradyan, ısı akışı ve jeotermal anomali. Jeotermal gradyan dünya yüzeyinden derinlere doğru inildikçe sıcaklığın artmasından kaynaklanır. Normal olarak yerin altına doğru inildiğinde her 33 metre'de sıcaklık 1°C yükselir. Fakat jeotermal sahalarında, jeolojik yapının ve kayaç tiplerinin farklı olmalarından dolayı sıcaklık artışı çok daha fazla, örneğin 33 metre'de 5°C olabilir. Isı enerjisi dünya yüzeyine, kayalardan iletim yoluyla geçerek, magma'nın hareketi ile veya jeotermal suyun

hareketi ile ulaşır. Isı enerjisinin iletim yoluyla düşey olarak hareket etmesine ısı akışı denir.

Bazı jeotermal alanlarda, bazı derinliklerde sıcaklıklar, komşu alandaki sıcaklıklardan farklılıklar gösterirler. Bu düzensizliğe jeotermal anomali denir. Jeotermal anomali küçük bir alan ile sınırlı olabilir ve sadece küçük bir sıcak su kaynağı anomaliyi gösterebilir. Öte yandan anomali binlerce kilometrekarelik bir alanda da oluşabilir. Jeotermal kuyuların sondajı, geliştirilmesi ve işletmesi çok pahalı işlemler oldukları için jeotermal aramalarda pozitif jeotermal anomalilerin (yüzeeye yakın ve yüksek sıcaklıklı) yerleri tespit edilmeye çalışılır. Farklı jeolojik yapılarda, jeotermal anomalilere sebep olan başlıca ana etken jeotermal alanların aranmasını yönlendirir. Tabakalar arasına giren genç mağmatik kayaçların (Genç mağmatik sokulumlar) varlığı jeotermal aramada öne çıkan bir özelliktir. Levha tektoniği teorisi (yerkabuğunun, geniş düz parçalarının hareketi) genç magma aktivitelerinin oluşumunu açıklamaktadır. Magma, levhaların ayrılma zonları boyunca ve levhalar arasına girerek, sirtlar oluşturur. Kabuğa doğru sokulan magma yerkabuğuna ısı transfer eder ve bu da yüksek jeotermal gradyanlar yaratabilir. Sonuç olarak ortaya çıkan jeotermal anomaliler değerli jeotermal kaynaklar yaratabilirler. Böyle yeriçi yapılarının araştırılması için günümüzde Jeofizik (özellikle elektrik-elektromanyetik) yöntemler tüm dünyada başarıyla uygulanmaktadır. Yeriçinde sıcak suyun Hidrotermal sirkülasyonu jeolojik kataçların yapısını önemli şekilde bozarak hid-

## Tarihte Jeotermal Enerji

M.Ö. 1500 yıllarında Romalılar ve Çinlilerin doğal jeotermal kaynaklarını banyo, ısınma ve pişirme amaçlı olarak kullandıkları bilinir. 630 yıllarında ise Japon İmparatorluğu'nda kaplıca geleneği yaygınlaştı. 1200 yıllarında da Jeotermal enerji ile mekan ve su ısıtması yapılabileceği Avrupalılar tarafından keşfedildi. 1818 yılında başka bir keşif yapılarak F. Larderel ilk defa jeotermal buhar kullanarak Borik Asit elde etti. 1943 de İtalya (Larderello) jeotermal sahasından elektrik üretimi 132 MWe kapasiteye erişti ve 1945 de ise süt pastörizasyonunda ilk kez jeotermal akışkandan yararlanıldı. 1968 yılında bu kez Türkiye'de elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyu Denizli (Kızıldere)'de açılarak, Denizli (Kızıldere) jeotermal alanı keşfedildi. Antik çağdan günümüze değin jeotermal enerjinin insanoğlu tarafından kullanılması yollarının araştırılması onun zararsız ve yenilenebilir olmasından kaynaklanır. Tüm Dünya'da bu çevre dostu enerjiden yararlanma çalışmaları halen giderek artmaktadır. Konum olarak Türkiye dünyanın genç tektonik kuşağı içinde yer aldığından doğal olarak daha çok miktarda jeotermal enerji kaynaklarına sahiptir.



Şekil-3 Jeotermal model ve geçirimli katmanlar

rotermal alterasyonlar oluşturur. Geçirgen kayalardan, kırık veya çatlak sistemlerinden geçen sular, ısıyı kayalardan daha hızlı taşırlar. Genç magmatik sokulum tarafından ısıtılan sular konveksiyon akımları sonucu jeotermal sistemde dolaşır veya dolaşımdaki soğuk su magmatik bir sokulama yaklaşarak ısınır ve hareketine devam eder. İki durumda da jeotermal enerji kabuktaki sığ derinliklere transfer edilir ve belirgin jeotermal anomalilere neden olabilir. Termal suların yeryüzüne çıktığı noktalarda doğal sıcak su kaynakları oluşur. Bu gibi yerler ilk insanlardan günümüze değin sağlık ve diğer amaçlar için kullanılmaktadır. Bu su çıkışlarının olmadığı başka yerlerde termal sulara ulaşmak için kuyu sondajları yapmak gerekir. Bu pahalı bir işlem olduğundan sondaj yerinin mutlaka çok iyi belirlenmesi gerekir. İşte gerek sıcaklık ve gerekse sıcak su dolaşımının kayaların elektriksel özelliğini değiştirmesi nedeniyle jeotermal aramalarda ve sondaj yerlerinin belirlenmesinde Jeofizik elektrik-elektromanyetik yöntemleri başarılı ve isabetli sonuçları ortaya koyar. Bilecik civarındaki Göynük bölgesinde yapılan bir Manyetotellürik araştırmada yerinde sıcak suyun dolaşım gösterdiği ortam ve jeotermal model elde edildi (Şekil 4). Yer içi kesiminde mavi olan kısımlardaki kayaların elektriksel öz direnci sıcak suların dolaşımını nedeniyle düşük olarak elde edilmiştir.

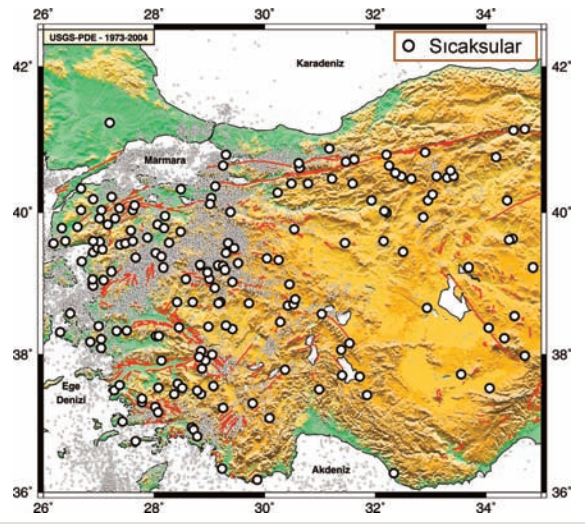
## Sıfır Zararlı Jeotermal Enerji Kaynağı

Jeotermal enerji çevre dostu ve sıfır zararlı olup tüm dünyada artarak çok amaçlı olarak kullanılıyor. Hazne sıcak-

## Türkiye Jeotermal Potansiyeli

Konum olarak Türkiye dünyanın genç tektonik kuşağı içinde yer aldığından doğal olarak daha çok miktarda jeotermal enerji kaynaklarını bulunduru-yor. Ülkemizde bilinen 1500 adet kuyu ve doğal su (sıcaksu ve mineral su) çıkışları var. Türkiye'nin sahip olduğu aktif tektonik özelliğinin ürünü olarak bu enerji kaynağı olarak çoğunlukla Ege bölgesinde kü-melenmiş görünüyör (Şekil 5). Depremlerin yoğunlaştığı alanların aynı zamanda jeotermal kaynak bakımından zengin oluşu doğanın bir ikramı diye tanımlanabilir. Günümüzde Maden tetkik Arama Enstitüsü (MTA) Türkiye'deki sıcak suların kimyasal analizlerini tamamlayarak sonuçları "Türkiye Jeotermal Envanteri" isimli bir kitapta (1996 yılı) topladı. Jeotermal sahalarımız büyük bir çoğunlukla orta ve düşük sıcaklıklı sahalar olup bilinen jeotermal sahaların %95'i hacim (konut-sera) ısıtma uygulamalarına uygun görünüyör. Jeotermal enerji ile günün 24 saati kesintisiz ısıtma yapılabilir. Jeotermal sahalarından 5 tanesinin elektrik üretimine elverişli olduğu ülkemizin jeotermal potansiyeli 31500 MWt (5.000.000 konut ısıtma eşdeğeri) olup toplam konut miktarının %30 olarak tahmin ediliyor. Jeotermal potansiyelimizin yalnızca %3.5 mikta-

lığı (yerindeki rezervuar sıcaklığı) 150°C'den fazla olan jeotermal sahalarla konvansiyonel elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda geliştirilen ve ikili (binary) çevrim olarak adlandırılan bir sistemle, buharlaşma noktaları düşük gazlar (freon, izobütan vb.) kullanılarak 70°C<T<80°C'ye kadar sıcaklıktaki suların elektrik üretilmektedir. Ülkemizde Denizli Kızıldere jeotermal elektrik santrali (20.4 MWe kapasiteli) halen üretim faaliyetini sürdürüyor. Jeotermal kaynakların doğru-



Şekil-5 Türkiye batısında deprem odaklarının ve sıcak su dağılımları

rı kullanılabilir. Bu miktarın 1177 MWt kısmı direkt kullanımda, 20.4 Mwe kısmı elektrik enerji üretiminde tüketilmektedir. Jeotermal kaynaklarımızdan 195 adet ılıca ise (327 MWt) balneological (banyo-sağlık) amaçlı kullanılıyor. Bu alan aynı zamanda termal turizm olarak bilinir. Sonuç olarak Jeotermal potansiyelimizin yalnızca ancak %3.5 miktarından yararlanılıyor. Bu oranın artması için hiçbir neden bulunmuyor. Bugünün enerji kaynakları yenilene-meyen enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal-gaz ve nükleer enerji) ve yenilenebilen enerji kaynakları (odun, bitki atıkları, tezek, jeotermal enerji, güneş, rüzgar, hidrojen, hidrolik, gelgit ve dalga enerjisi) şeklinde sınıflandırılıyor. Örneğin nükleer enerji aksine ve diğer tüm enerji kaynaklarına göre de ekonomik, çevre dostu olan jeotermalde daha çok yararlanılması gelecekte önemli yararlar sağlayacak.

dan kullanılması ise daha yaygındır. Orta ve düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (T<150°C), konutlara ve endüstriyel doğrudan ısı enerjisi sağlamada kullanılabilir. Bölgesel ısıtma projeleri ile evleri ve işyerlerini ısıtmada, ticari seracılıkta, balık çiftliklerinde ve endüstriyel proseslerde kullanılabilirler. Jeotermal enerjiden sağlanan ısı enerjisi, fosil yakıtlardan sağlanan ısı enerjisine göre çok daha ucuzdur. Jeotermal enerji kullanımı sayesinde ısı enerjisi kullanımının %80 daha ekonomik hale getirilmesi mümkündür. Jeotermal enerji kullanımı sayesinde fosil yakıtlara (petrol, kömür gibi) daha az gereksinim duyularak bunların çevreye yayılan zararlı atık miktarı büyük ölçüde yada tamamen azaltılabilir. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri, doğal gaz sistemleri ile karşılaştırıldıklarında %30-%50 civarında ekonomi sağlarlar.

Prof. Dr. İlyas Çağlar,  
Prof. Dr. Tuncay Taymaz,  
Arş. Gör. Seda Yolsal,  
Arş. Gör. Ümit Avşar  
İTÜ Maden Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü  
caglari@itu.edu.tr

