

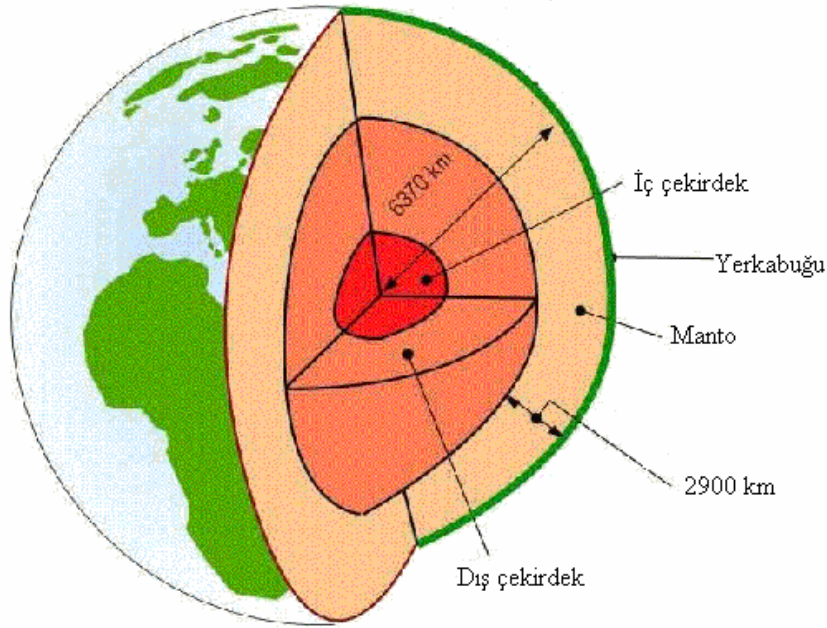
JEOTERMAL ENERJİ

1. JEOTERMAL ENERJİNİN KAYNAĞI

Jeotermal enerji kısaca yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaçların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar ve hesaplamalar dünyanın başlangıçta eriyik halde bulunduğu ve binlerce yıl önce katı hale geldiğini göstermektedir. Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan uranyum (U238, U235) toryum (Th232) ve potasyum (K40) gibi radyoaktif maddelerin bozuşması sonucu sürekli olarak ısı üretmesi prosesinin, jeotermal enerjinin kaynağı olduğuna inanılmaktadır.

Yerkabuğunun kalınlığı kıtalarda 20-65 km'ye ulaşırken okyanus tabanlarında 5-6 km kalınlıktadır. Manto 2900 km kalınlıkta ve çekirdeğin yarıçapı yaklaşık 3470 kilometredir (Şekil 1). Yerkabuğu, manto ve çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özellikleri yer yüzeyinden merkeze doğru farklılık gösterir. Yerkürenin en üst kısmı litosfer olarak adlandırılır ve yerkabuğu ile üst mantoyu içerir. Kalınlığı okyanus tabanında 80 km ve kıtasal alanlarda 200 km olan litosfer katı-değişmez bir davranış gösterir. Litosferin altındaki astenosfer 200-300 km kalınlıkta olup daha plastik bir özelliğe sahiptir.

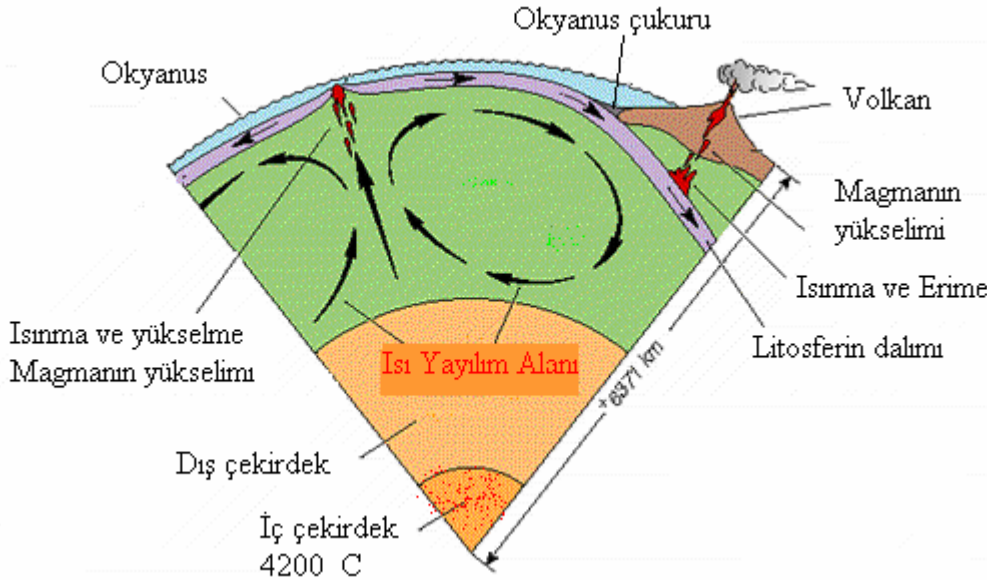


Şekil 1. Yerkabuğu, manto ve çekirdek

Astenosferin değişik tabakalarındaki sıcaklık farkı nedeniyle on milyonlarca yıl önce ısı yayılım (konvektif) hareketi ve ısıyayılım hücreleri oluşmuştur. Çekirdekten gelen ve radyoaktif elementlerin bozuşması sonucu devamlı olarak üretilen ısı, astenosferin oldukça çok yavaş hareket (yılda birkaç cm) etmesini sağlar. Derinlerdeki çok büyük hacimdeki sıcak kayaçlar, çevresindeki daha az yoğunluklu ve hafif kayaçları yüzeye doğru iterler. Bu sırada yüzeydeki yoğun ve ağır kayaçlar derine doğru batırlar ve tekrar ısınarak yüzeye doğru yükselirler.

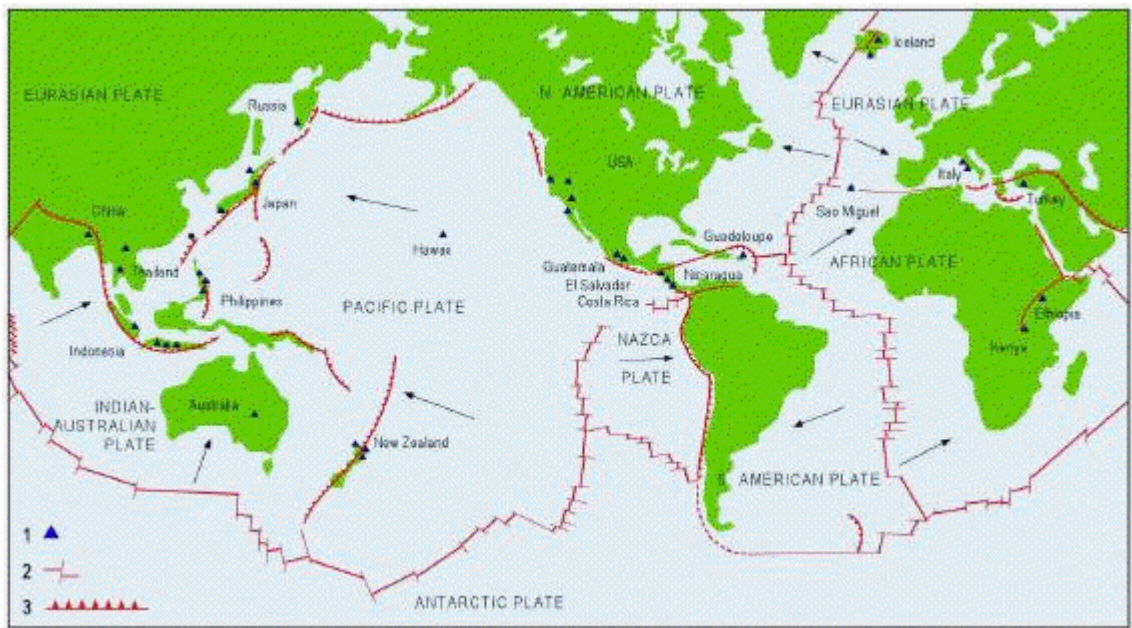
Litosferin çok ince olduğu (özellikle okyanuslarda) zonlarda: astenosferden yükselen çok sıcak ve bir kısmı eriyik halde bulunan maddeler litosferi yukarı doğru hareket ettirir ve kırar. Bu sistemin oluşturduğu ve oluşturmaya devam ettiği yükseklikler okyanusta ada (İzlanda) oluşumlarına da neden olmaktadır. Astenosferden yükselen bu eriyik maddelerin çoğu, litosferi ikiye bölünerek farklı yönlerde hareket etmesine neden olur. Devamlı olarak üretilen bu yükseltiler ve farklı yönlerde hareket eden bu iki tabakanın çekimi okyanus tabanının her yıl

birkaç cm her iki yöne de hareket etmesine neden olur. Sonuç olarak okyanus tabanı büyüme eğilimindedir. Fakat dünyanın yüzeyinde herhangi bir büyüme yoktur. Oluşan bu yeni litosfer formasyonu dünyanın diğer ucundaki litosferin küçülmesine neden olur. Bu durum dalma zonlarında çok büyük okyanus hendeklerinin oluşmasına neden olur. Bu dalma zonlarında aşağı doğru kıvrılan litosfer bitişik litosferin altına doğru dalar ve dolayısıyla derinlerdeki sıcak zona inerek litosferin bir kısmı tekrar eriyik hale gelir ve çatlak ve kırık zonlarından tekrar yüzeye yükselerek volkanları oluşturur. Sonuç olarak yüzeyde oluşan birçok volkana karşı diğer tarafta okyanus hendekleri oluşur.



Şekil 2. Jeotermal sistemin oluşum mekanizması

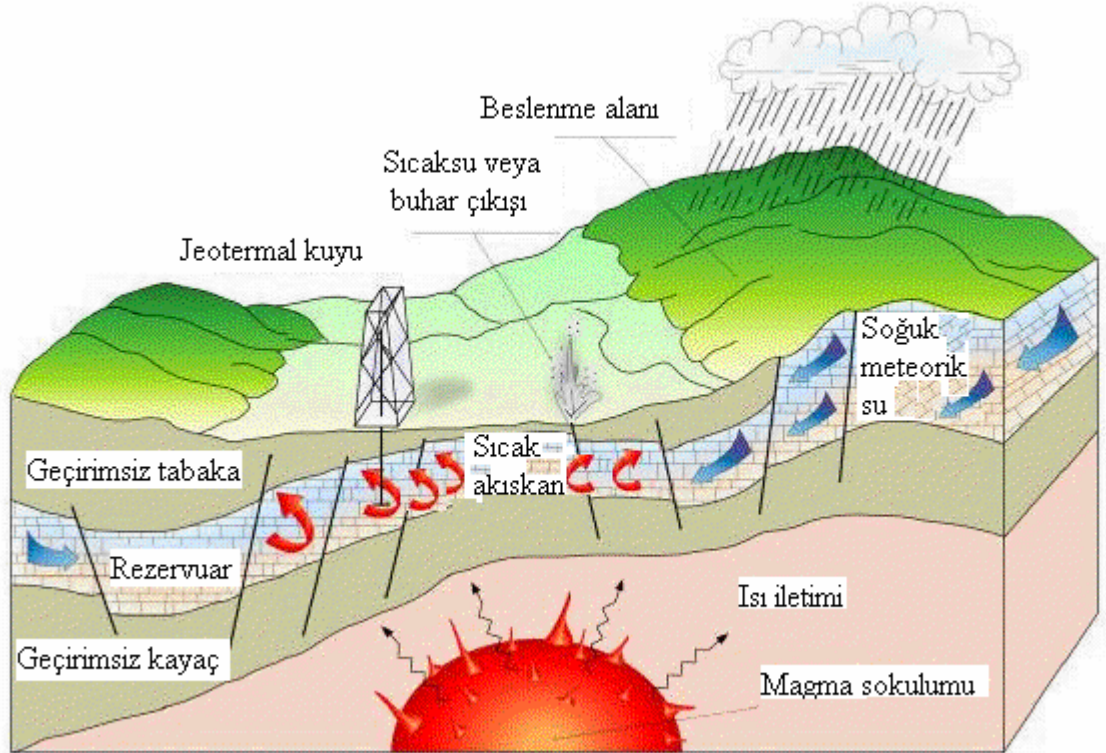
Yaygın sırtlar, transform fayları ve dalma-batma zonları çok geniş bir ağ oluşturarak dünyayı altı büyük ve birkaç küçük litosferik tabakaya böler (Şekil 3)



Şekil 3 Dünyadaki tabaka biçimleri, okyanus sırtları, okyanus hendekleri, dalma-batma zonları ve jeotermal alanlar. Oklar dalma-batma zonlarına doğru tabakaların hareket yönlerini göstermektedir. (1) elektrik üretilen jeotermal alanlar, (2) transform faylarıyla kesişen orta okyanus sırtları, (3) dalan plakanın aşağı doğru büküldüğü ve astenosferde eridiği dalma-batma zonları.

2. JEOTERMAL SİSTEM

Jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan (Şekil 4). Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı (>600 °C) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan -ortalama 2,5-3 °C/100 m) olabilir. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir-daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayalardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO₂, H₂S gibi) içerir. Şekil 4 ideal bir jeotermal sistemi göstermektedir.

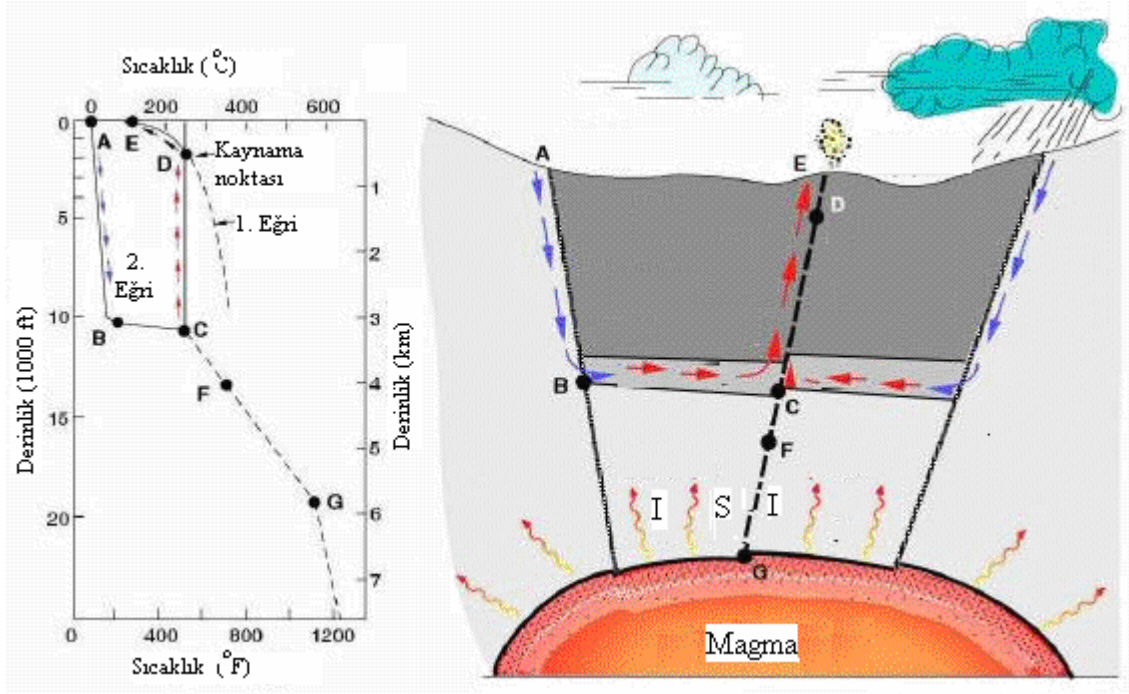


Şekil 4 İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.

Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir. Şekil 5'te orta sıcaklıklı jeotermal sistemdeki mekanizma basitçe gösterilmektedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genişlemesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konveksiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir.

Yukarıda gösterilen modelleme oldukça basittir. Gerçek jeotermal sistemler için yapılacak iyi bir modelleme oldukça zordur. Yapılacak modellemede yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok disiplinli ve geniş bir çalışmaya gereksinim vardır. Jeotermal sistem çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiğinin kombinasyonuna bağlı olarak oluşur. Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır. Diğerleri sisteme sonradan eklenebilir. Örneğin, elektrik üretiminde kullanılan akışkan faz su ve buhar olarak ikiye ayrıldıktan sonra atık hale gelen su tekrar yeraltına enjekte edilerek tekrar kullanıma sunulabilir. Sıcak kuru kaya projelerinde ise sıvı ile birlikte rezervuar da yapaydır. Açılan sondaj kuyuları vasıtasıyla yüksek basınçlı soğuk su, sıcak geçirimsiz kayalara pompa ile basılmakta ve hidrolik çatlatma yapılarak suni rezervuar oluşturulmaktadır. Dışarıdan basılan soğuk su, açılan bu çatlakla nüfuz ederek

çevresindeki doğal rezervuar olarak davranan kayaçların sıcaklıklarını alır. Bu rezervuarda açılan ikinci bir kuyu vasıtasıyla ısınan su, pompa ile çekilir ve ısısından faydalanılır. Sonuç olarak, soğuk suyun enjekte edildiği ve hidrolik çatlatma için kullanılan kuyu, hidrolik çatlatma yapılan rezervuar ve ısınan suyun rezervuardan çekildiği ikinci bir kuyu bu sistemi oluşturur. Bu sistem yüzeyde kurulan santralle bağlı kapalı bir sistemdir.



Şekil 5 Jeotermal sistem modeli. 1. eğri saf suyun kaynama noktasını, 2. eğri ise A noktasından beslenen E noktasından boşalan suyun devir daim sıcaklık profilini göstermektedir.

3. JEOTERMAL KAYNAKLARIN SINIFLANDIRILMASI

Jeotermal kaynakların sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntem jeotermal sıvısının içerdiği entalpidir. Entalpi, sıvının ısı (termal enerji) içeriğini gösterir ve onun değeri hakkında kaba bir değer verir. Jeotermal kaynaklar birkaç kritere göre düşük, orta ve yüksek entalpili (veya sıcaklıklı) olarak sınıflandırılmaktadır.

Diğer bir sınıflama ise su yoğunluklu jeotermal sistem ve buhar yoğunluklu jeotermal sistemdir.

4. JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARAŞTIRILMASI

Jeotermal araştırmaların amacı aşağıda sıralanmıştır.

- Jeotermal olayını ortaya çıkarmak
- Yararlanılabilir jeotermal sahasının bulunduğunu belirlemek
- Kaynağın alanını tahmin etmek
- Jeotermal sahanın tipini belirlemek
- Üretim zonlarının yerlerini öğrenmek
- Jeotermal saha içerisinde üretim kuyularından çıkan suyun ısı içeriğini belirlemek
- Gelecekte yapılacak gözlem sonuçlarındaki değişimleri belirlemeye yönelik temel verileri derlemek
- Çevresel hassas parametrelerin ilk ölçüm sonuçlarını elde etmek
- Saha gelişimi sırasında herhangi bir probleme sebep olabilecek karakteristik bilgileri elde etmek

4.1 ARAŞTIRMA METOTLARI

Araştırma programının başlama noktası jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalardır. Bu çalışmaların temel amacı çok geniş ve doğru araştırma ile alanının yerini ve büyüklüğünü belirlemek ve bu alan için en uygun arama yöntemini önermektir. Jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalar araştırma ve üretim kuyularının yerlerinin belirlenmesinde çok önemli rol oynar. Ayrıca bu araştırmalar diğer araştırma metotlarından elde edilen verilerin yorumlanmasını ve sonuçta jeotermal sistemin gerçek bir modellenmesinin oluşmasını ve kaynağın potansiyelinin değerlendirilmesini sağlar. Jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar sırasında elde edilen bilgiler üretim sırasında rezervuar ve üretim mühendisleri için değerli bilgiler sağlar. Deneyimli jeotermal jeologlar araştırma programıyla koordineli olarak çalışırlarsa araştırma zamanı ve maliyeti önemli ölçüde azalabilir.

Jeokimyasal araştırmalar (izotop jeokimyasını içeren) jeotermal sistemin su veya buhar yoğunluklu olduğunu, derinliğe bağlı olarak minimum sıcaklığın tahmini, su kaynağının homojenliğinin tahmini, derin sıvıların kimyasal yapısının ortaya çıkarılması, üretilen sıvının kaynağının belirlenmesini sağlar.

Jeofizik araştırmalar yüzeyden derine doğru jeolojik formasyonların fiziksel parametrelerindeki değişikliklerden faydalanılarak yapılır. Bu fiziksel parametreler sıcaklık (termal ölçüm), elektriksel iletim (elektrik ve elektromanyetik metotlar), elastik dalgaların yayılma hızı (sismik metot), yoğunluk (gravite ölçümü) ve manyetik duyarlılık (manyetik ölçüm)'tir. Bu tekniklerden bazıları, örneğin sismik, manyetik ve gravite ölçümleri, derinlerdeki jeolojik yapının şeklini, boyutunu, derinliğini ve diğer karakteristikleri hakkında önemli bilgiler verir. Fakat araştırmanın ana amaçlarından olan bu formasyonun sıvı taşıyıp taşımadığı hakkında çok az bilgi veya hiç bilgi vermez. Bu metotlar araştırma kuyularından önce son detaylı bilgileri elde etmek için uygundur. Jeolojik yapı içerisindeki sıvının varlığı, elektrik ve elektromanyetik metotlarla elde edilebilir. Bu metotlar diğer metotlara göre formasyon içindeki sıvının varlığına ve sıcaklıklardaki değişime daha duyarlıdır. Bu iki metot memnun edici sonuçlar vermektedir. Magnetotelurik ölçüm metodunda diğerlerine kıyasla daha önemli şekilde gelişmeler elde edilmiş ve bu metodun geniş bir yelpazede uygulama alanı vardır. Fakat karmaşık alet yapısı vardır ve kentsel gürültüye karşı hassastır. Magnetotelurik metodun en büyük avantajı elektrik ve elektromanyetik ölçümle ulaşılamayan daha derinlerdeki formasyon yapısının tanımlanmasında kullanılabilmesidir. Termal teknik (sıcaklık ölçümü, jeotermal gradyan ve karadaki ısı akısının belirlenmesi) rezervuar üzerindeki sıcaklığın yaklaşık olarak belirlenmesine önemli ölçüde yardımcı olur.

Araştırma kuyu sondajlarının açılması, jeotermal araştırmaların son aşamadır. Bu sondajlar jeotermal rezervuarın gerçek karakteristiğini ve sahanın potansiyelini ortaya çıkarır. Araştırma kuyularından elde edilen veriler, yüzeydeki araştırmalar sonucu ayrıntılı olarak hazırlanan hipotez ve modelleri ve rezervuarın yeterli üretilebilir sıvı içeren bir özellikte olmasını doğrulayabilmelidir. Bu yüzden araştırma kuyusu açılacak yerlerin seçimi çok dikkat ister.

Ülkemizde 1960'lerden bu yana yapılan jeotermal araştırmalarının sondaj aşamasında MTA Genel Müdürlüğü'nde çalışan Maden ve Petrol Mühendisleri görev yapmaktadırlar. Aşağıdaki şekilde düşük sıcaklıklı bir jeotermal sahada açılan araştırma kuyusu gösterilmiştir. Kuyu dizaynı, sahanın litolojik yapısına ve rezervuara derinliğe bağlı olarak belirlenmektedir.

Şekilde görüleceği üzere alüvyon gibi gevşek formasyonlar geniş çaplı bir matkap (17 ½") ile delinerek sağlam bir formasyona kadar ilerleme yapılmakta ve bu derinliğe geniş çaplı muhafaza borusu (13 3/8") indirilip boru arkası çimentolanır. Kuyuya indirilen bu ilk borunun amacı ilerleme sırasında yüksek basınçlı jeotermal akışkanın (blowout-kontrolsüz dışa akış) neden olacağı problemleri önlemektir ve bu nedenle bu borunun üzerine emniyet vanası ve preventeri yerleştirilir. Daha sonra daha küçük bir çaptaki matkap (12 ¼") ile ilerlemeye geçilir ve rezervuar özellik taşıyan formasyona kadar ilerlenir. Bu seviyeye üretim boruları (9 5/8") indirilerek kuyu teçhiz edilir ve boru arkası çimentolanır.

Şekil 6. Bir Jeotermal Kuyunun Teçhiz Planı

Derinlik (m)	Teçhiz Planı	Çap (inç)	Litoloji	Açıklama
0.00	VANA			
		13 3/8" MB	o ooo oo	Alüvyon
			+++++	
			+++++	
		9 5/8" MB		Kiltaşı-kumtaşı
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
		8 1/2" Kuyu	I I I I	Rezervuar Mermer
			I I I I	
		6 5/8" Liner	I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
			I I I I	
		Kaçaklı zon		

Çimentonun donmasını takiben kuyu başı hazırlanarak üretim borusu çapına uygun daha küçük çaptaki bir matkap (8 1/2") ile rezervuar seviyesinde ilerleme yapılır. İlerleme sırasında çamurun (sondaj kırıntılarını yüzeye taşımak için hazırlanmış özel sıvı) tamamen kaçak yapması veya kuyunun istenilen seviyeye gelmesi durumunda sondaj durdurulur ve kuyu içerisinde jeofizik loğ alınır. Kuyu teçhizi öncesi alınan jeofizik kuyu loğlarının (GR-Neutron, SP rezistivite, Density, Termik) olumlu değerlendirilmesi sonucu sondajın kesin olarak durdurulmasına karar verilir. Rezervuar sağlam kayalardan oluşuyor ise kuyu teçhiz edilmez veya tersi durumunda kapalı ve filtreli borular (6 5/8") kuyuya asılı olarak bırakılarak kuyu teçhizi tamamlanır.

Jeotermal bir kuyuda, sondaj esnasında rezervuar hakkında ilk veriler alınmaya başlanır. Sondaj çamurunun giriş ve çıkış sıcaklıkları rezervuar sıcaklığı hakkında bize ön bilgiyi verir. Sondaj esnasında meydana gelen çamur kaçakları ve kaçakların miktarı, bize üretim zonu hakkında ilk bilgiyi vermesi açısından önemlidir. Sondaj çalışmalarının tamamlanmasını takiben kuyu tamamlama testleri yapılarak kuyu hakkında ilk bilgiler edinilmiş olur.

Bir kuyunun planlama, açma ve tamamlanma aşamasından sonra da jeotermal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamak için yapılan kuyu testleri de maden ve petrol mühendislerince yapılmaktadır. Bu testler ile rezervuar parametreleri sağlıklı olarak öğrenilmekte ve bu parametreler işletme esnasında da sürekli takip edilmektedir. Böylece sahanın potansiyeli doğru olarak ortaya konularak rezervuar davranışları önceden kestirilmekte ve gerekli önlemlerin zamanında alınmasını sağlayacak verilere ulaşılmaktadır. Bu testlerle kuyunun fiziksel özelliklerinin ölçülmesinin yanı sıra, kuyunun davranışını gözleyerek, rezervuar hakkında da bilgi edinmek mümkündür. Kuyudan edinilen bilgiler ışığında bir rezervuar modeli oluşturmak ve bu model aracılığıyla rezervuarın gelecekteki davranışını kestirebilmek bu testlerin en önemli amacıdır.

Jeotermal kuyularda yapılan testler 5 ana grupta toplanabilir.

1. Basınç Testleri
2. Sıcaklık testleri
3. Üretim Testleri
4. Gaz Ölçümleri
5. İzleyici Testleri

Ayrıca jeotermal enerjinin kullanımına yönelik çalışmalara başlamadan önce ileride oluşacak değişimleri kontrol etmek için yüzeydeki termal ve doğal oluşumlardan mümkün olduğu kadar çok bilgi alınarak kaydedilmelidir. Bu araştırma çalışmaları sırasındaki elde edilen verilerden derindeki sıcak akışkan hakkında bilgi edinilebileceği gibi bu veriler aynı zamanda ileride kullanılmak üzere temel karşılaştırma verileri olarak da kullanılabilir.

4.2 ARAŞTIRMA PROGRAMI

Jeolojik, jeokimyasal ve jeofiziksel jeotermal araştırma programını planlamadan önce araştırma sahasında ve yakın sahalarda yapılan su, maden ve petrol arama çalışmalarında elde edilen veriler toplanmak zorundadır. Bu elde edilen veriler jeotermal araştırmanın planlamasında çok önemli rol oynar ve önemli miktarda maliyetin azalmasına etki eder.

Araştırma programları adım adım geliştirilmelidir: keşif, ilk fizibilite, fizibilite. Bu araştırmaların her birinde daha az öneme sahip olan sahalar elenmeli ve daha önemli olan alanlara konsantre olunmalıdır.

5. JEOTERMAL KAYNAKLARDAN FAYDALANMA

Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (<150 °C) çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Klasik Lindal diyagramı farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın kullanılabilir alanlarını göstermektedir. Bu diyagrama son yıllarda 85 °C'nin üzerindeki jeotermal kaynakların binary cycle santrallerinde elektrik üretiminde kullanılması da eklenebilir. 20 °C'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada faydalanılmaktadır. Lindal diyagramı jeotermal kaynaklardan faydalanmanın iki önemli yönünü gösterir: a- Faydalanılan akışkanın sıcaklığına bağlı olarak ikinci bir işte kullanılması jeotermal kaynakların kullanılabilirliğini artırır. b- Jeotermal kaynağın sıcaklığı mümkün kullanılma alanını sınırlar.

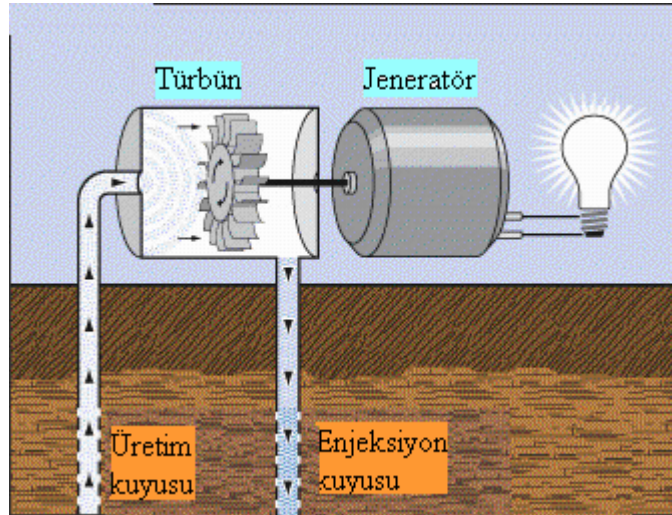
Tablo 1. Jeotermal Akışkanın Sıcaklığına Göre Kullanma Yerleri (Lindal Diyagramı)

°C	Jeotermal Akışkanın Kullanım Alanları
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer's yöntemiyle alüminyum eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (konservecilikte)
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120	Temiz su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
110	Çimento kurutulması
100	Organik maddeleri kurutma, (yosun, et, sebze vb.) yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtma
70	Soğutma
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri
20	Balık çiftlikleri,

5.1 ELEKTRİK ÜRETİMİ

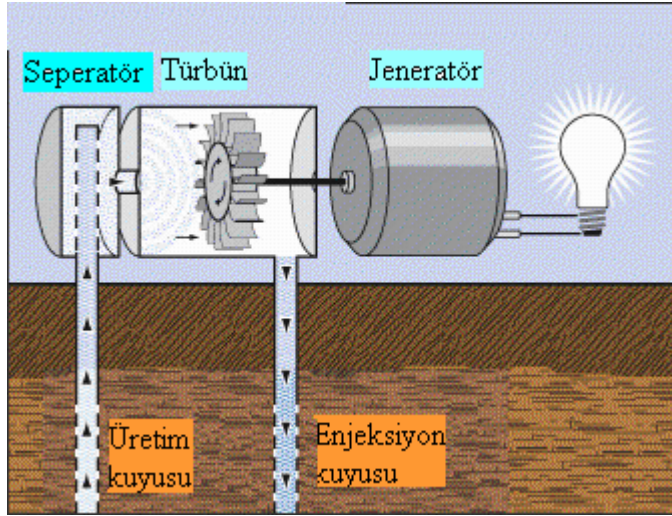
Genelde elektrik üretimi, jeotermal kaynağın karakteristiğine bağlı olarak üç tip santralde yapılmaktadır.

1- Kuru buhar santralleri; türbinü döndürmek için kuyudan üretilen kuru buhar direk olarak kullanılır.



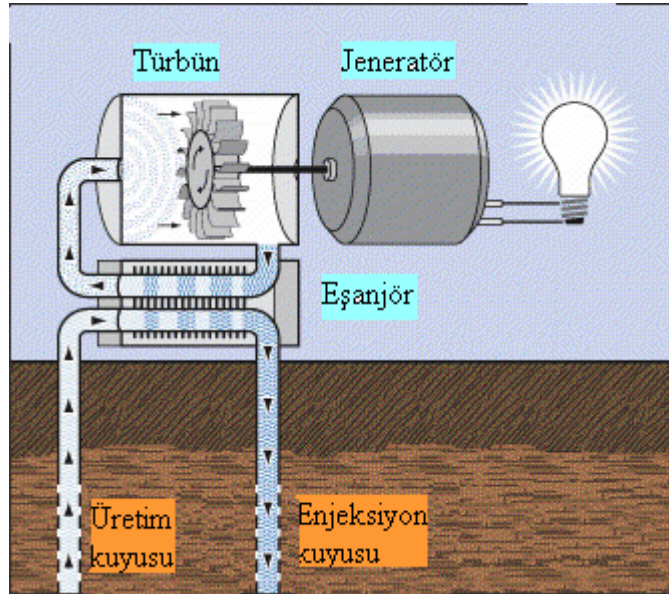
Şekil 7. Kuru Buhar Santrali

2- Flaş buhar santralleri; yüksek basınçla kuyudan gelen akışkan düşük basınçlı separatörlerde su ve buhar olarak ayrılır ve ayrıştırılan buhar ile türbünün döndürülmesi sağlanır.



Şekil 8. Flaş Buhar Santrali

3- Binary cycle: Jeotermal akışkanın sıcaklığından faydalanılarak sudan daha az buharlaşma sıcaklığına sahip akışkan eşanjörde (heat-exchanger) buharlaştırılır ve buharlaşan bu akışkan ile türbünün döndürülmesi sağlanır.



Şekil 9. Binary Cycle Santrali

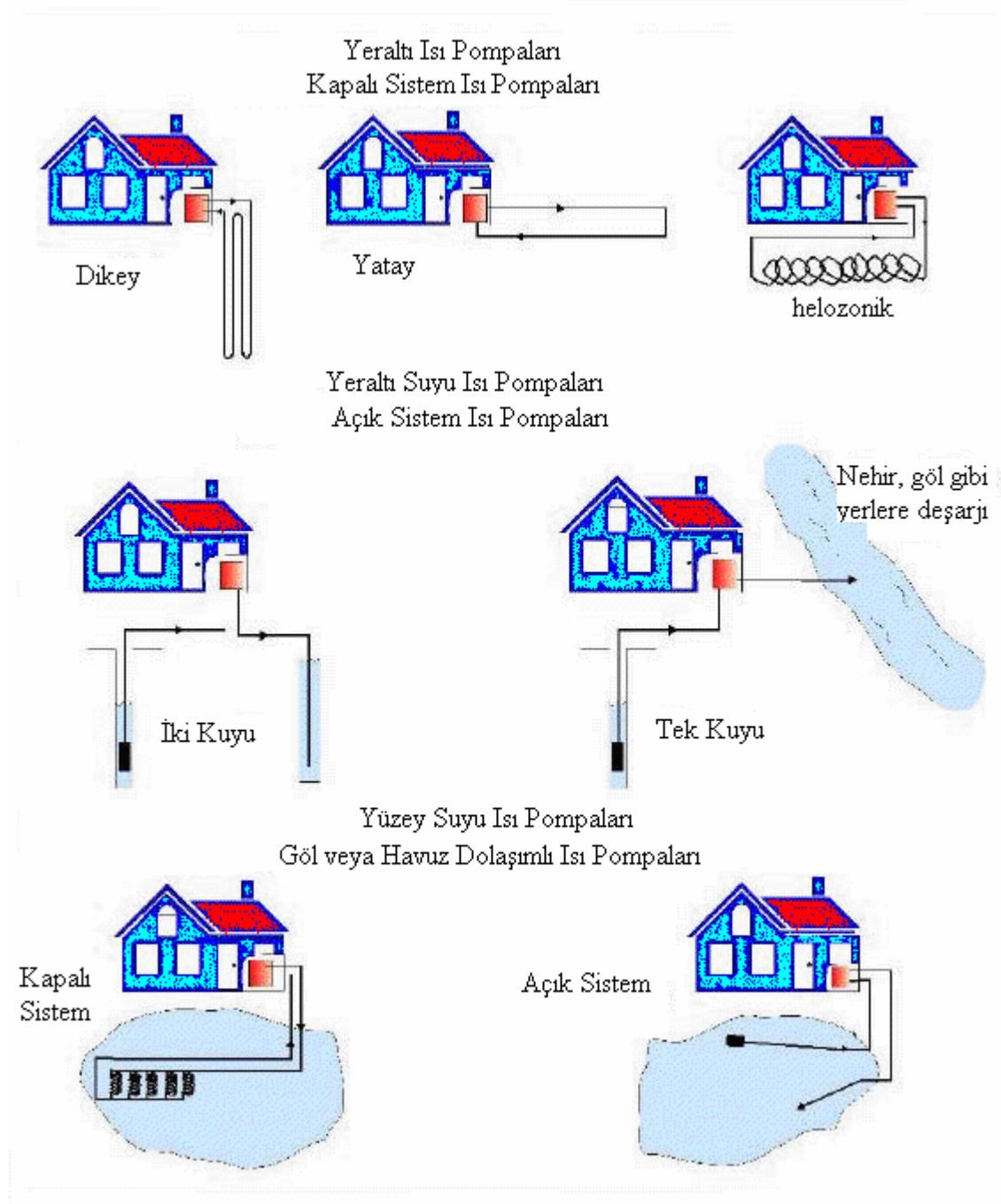
5.2 JEOTERMAL AKIŞKANIN DİREK OLARAK KULLANIMI

Direk kullanım yöntemi, jeotermal enerjiden faydalanmanın en eski, çok yönlü ve çok genel kullanım alanlarından biridir. Yer ve bölge ısıtmacılığı, tarımsal uygulamalar, balneolojik uygulamalar ve endüstri uygulamaları jeotermal enerjiden faydalanmanın en çok bilinen yönüdür.

Jeotermal bölge ısıtma sistemi sermaye yoğunluktur. Ana giderler ilk yatırım giderleridir; üretim ve enjeksiyon kuyularının açılması, kuyu dibi ve iletim hatlarında çalışacak

pompalar, borular ve dağıtım ağı, gözlem ve kontrol ekipmanları, kontrol ve dağıtım istasyonları ve depolama tankları. Jeotermal ısıtma sistemi geleneksel ısıtma sistemlerden oldukça ucuzdur.

Jeotermal ısıtma ve soğutma sistemi 1980li yıllardan sonra ısı pompalarının kullanılmasıyla bir artış göstermektedir. Isı pompalarının çeşitli sistemleri, yer ısısı, sık akiferler ve havuz gibi düşük sıcaklıklı kütlelerin ısısına bağlı olarak ısıtma ve soğutma için faydalanılmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 10).

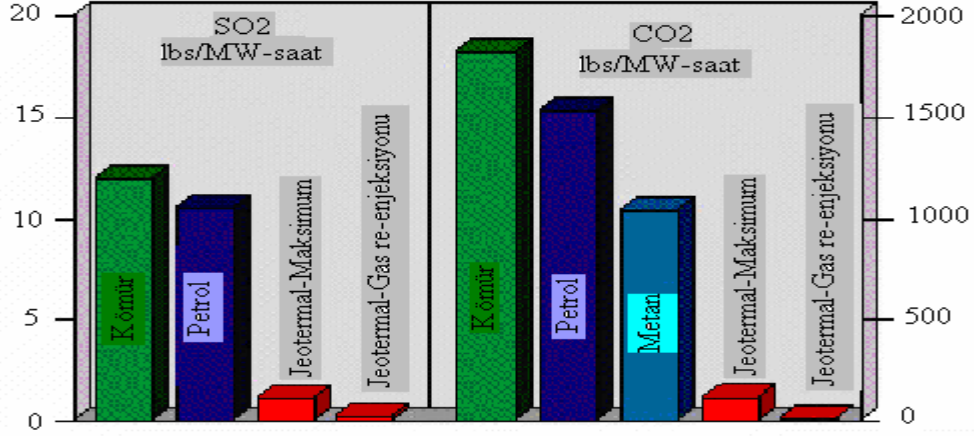


Şekil 10. Isı pompalarının kullanım şekilleri

Tarımsal uygulamaları açık saha uygulamaları ve sera ısıtmacılığını içerir. Açık saha uygulamasında bitkileri sulama ve toprağı ısıtma (toprak altına döşenen borular vasıtasıyla) şeklindedir. Jeotermal akışkanın kimyasal içeriğinin bitkilere zarar vermesini önlemek için devamlı olarak kontrolü yapılmalıdır.

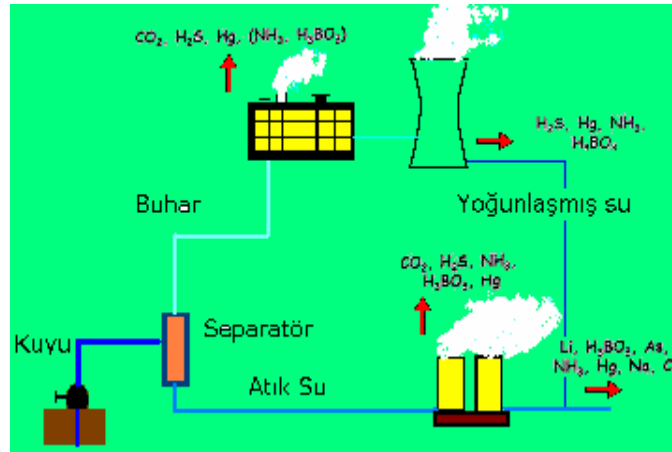
6. JEOTERMAL GELİŞİMİN ÇEVRESEL ETKİSİ

Jeotermal enerji diğer enerji türlerine göre temiz enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Çünkü jeotermal santrallerde daha az karbondioksit (kömür ve petrol santralleri 1000-2000 kez daha fazla üretir) ve çok az miktarda da sülfüroksit gazı atmosfere salınır. Buhar santralleri çoğunlukla buhar emisyon eder. Binary cycle santralleri kapalı sistem olduğundan her hangi bir gaz atmosfere salınmaz.



Şekil 11. Jeotermal enerjinin kullanımı sırasında ortaya çıkan SO₂ (asit yağmurlarının ana kaynağı) ve CO₂ (sera gazı ve global ölçekte iklim değişikliklerine neden olmakta) gaz emisyonlarının diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması.

İnsanlar tarafından üretilen veya başka bir forma dönüştürülen enerjinin çevresel etkilerinin olması kaçınılmazdır. Dolayısıyla elektrik üretimi veya diğer nedenlerle kullanılan derin jeotermal suların da çevreye geniş bir oranda etkisi vardır. Bu etkiler, yüzeyde oluşan çökmelerden (tasman) jeotermal akışkanın oluşturduğu doğal güzelliklerdeki (Pamukkale travertenleri) tahribatlara kadar değişebilmektedir. Bunların yanında jeotermal sıvının içerdiği bor, cıva, arsenik, kurşun, amonyak, antimuan, lityum, karbondioksit, hidrojen sülfür ve tuz çevreyi olumsuz şekilde kirletmektedir. Şekil 12’de jeotermal santralden hava, su ve toprağa bırakılan kirletici maddeler gösterilmiştir. Fakat santralde kullanılan akışkanın tekrar rezervuara enjekte edilmesiyle çevreye verilen zarar minimuma indirilebilir.



Şekil 12 Jeotermal akışkanın içerdiği kimyasal kirleticiler.

7. ÜLKEMİZDE JEOTERMAL ENERJİNİN DURUMU

Ülkemiz zengin jeotermal enerji kaynaklarına sahiptir ve jeotermal enerji potansiyeli yönünden dünyada 7. sıradadır. Bugüne kadar MTA tarafından 40 °C'nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. Bu sahaların %95'i düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal sahalardır.

Türkiye'nin jeotermal potansiyeli 31.500 MWt olarak tahmin edilmektedir. Fakat bu büyük jeotermal enerji potansiyeline göre konut ısıtmacılığı, seracılık ve sağlık amaçlı kullanım olarak Türkiye'de toplam kurulu kapasite 867 MWt'dir. Ayrıca 20.4 MWe üretim gücüne sahip Kızıldere jeotermal sahasında 1985 yılından bu yana elektrik enerjisi üretimi sürdürmektedir. Aydın-Germencik, Aydın-Salavatlı ve Denizli-Tekkehamam sahasında ise elektrik üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Elektrik enerjisi üretiminin mümkün olmadığı sahalarda konut ısıtmacılığı ve endüstriyel kullanım son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır.

Türkiye'de açılan toplam üretim kuyusu sayısının 400'ün üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca 300 adet gradyan sondajı yapılmıştır. Bu kuyuların %62'si MTA tarafından ücret karşılığı valiliklere, belediyelere veya bunlara bağlı şirketler adına açılmıştır. %16.5'i ise MTA projesi olarak açılmıştır. %11.5'i ise özel sektör tarafından açıldığı tahmin edilmektedir.

Yukarıdaki paragraflardan görüleceği üzere Türkiye'nin jeotermal potansiyeline göre kurulu kapasitesi ve jeotermal saha sayısına göre açılan kuyu sayısı çok azdır. Türkiye'deki jeotermal enerjinin yeteri kadar hızlı gelişmemesinin en önemli nedenlerinden biri uzun yıllardan beri jeotermal enerjiye yatırım yapılmamasıdır. Bunun nedeni de bu sektörün gelişimini sağlayacak jeotermal yasanın olmaması, ilk yatırım masraflarının fazla olması, riskli olması ve gerekli teşvik sisteminin bulunmamasıdır. Diğer yandan düşük entalpili jeotermal sahaların yerleşim alanlarının ısıtılmasında, seracılıkta ve bazı endüstrilerde kullanılmasını içeren projeler ve uygulamalar devletin belirgin bir jeotermal enerji politikasından çok yerel yönetimlerin veya kişilerin çabaları ile gerçekleşmektedir.

1926 yılında çıkarılan 927 sayılı Sıcak ve Soğuk Maden Suları İstismarı ile Kaplıcalar Tesisatı Hakkındaki Kanun jeotermal sularının vergi ve kazanç hisselerini il özel idarelerine bırakmıştır. Bu kanun ile il özel idareleri bu suları doğrudan doğruya işletebilecekleri gibi, işletmeye talip olanlara işletme ruhsatnamesi vermek suretiyle ihale edebilirler. Özel idarelerce işletilmek istenilmeyen veya ihale edilemeyen suların vergi ve kazanç hisseleri vilayetçe belediye ve köylere devredilebilir.

78 yıldır uygulanmakta olan bu yasanın jeotermal sektörün gelişiminde ve oluşan problemlerin çözümünde yetersiz olması nedeniyle 1999 yılında Maden İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ve 2003 yılında İçişleri Bakanlığı tarafından jeotermal kanun tasarıları hazırlanmıştır. Fakat bu tasarıların hazırlanmasında bu sektörde çalışanların görüş ve deneyimlerine başvurulmadığı için meclisteki görüşmeler sırasında problemler yaşanmıştır. Maden Mühendisleri Odası bu tasarılar üzerine yapılan görüşmelerde bu kanun tasarılarının içeriği ve uygulayıcılarının yetersizliği konusunda ciddi tereddütlerini yazılı ve sözlü olarak bildirmiştir.

26.5.2004 tarihinde resmi gazetede yayınlanan 3213 sayılı Maden Kanunu'nda değişiklik yapılan kanunun geçici 4. Maddesine göre ise jeotermal kaynaklar ve mineralli sularla ilgili yeni bir yasal düzenleme yapıncaya kadar bu kaynaklara ilişkin faaliyet izni verilmeden önce Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün uygun görüşünü alınmak zorundadır. Talepler de Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nce incelenecektir. Ülkemizde soğuk su ruhsatı olarak veya hiçbir ruhsat almadan sıcak su araması yapanlar olduğu düşünülürse bu durum sistemi daha da karmaşık hale getirmiştir.

Jeotermal enerji temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasına karşın sonsuz bir enerji kaynağı değildir. Ülkemizde jeotermal kaynaklara temiz ve hiç tükenmeyecek kaynaklar gibi bakılmakta ve bu nedenle jeotermal sahalar verimli işletilemediği gibi zaman zaman önemli çevresel sorunlara da neden olmaktadır. Jeotermal sahalarda oluşan çevre ve rezervuar sorunlarına en iyi örneklerden birisi de, Pamukkale yakınında bulunan Karahayıt

kaplıcalarındaki durumdur. Her pansiyon ve otelin kendine ait bir kuyu açarak rezervuardan aşırı su çekmesi sonucu yer altı su seviyesi hergün düşen bu bölgede, kızıl travertenleri yaratan kaplıca suları yok olmuş ve turizm açısından çok önemli olan bu bölge büyük sorunlarla başbaşa kalmıştır.

Sonuç olarak kontrollü kullanıldığında temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan sıcak suların verimli kullanımını sağlamak için jeotermal yasası bir an önce çıkarılmalı ve bu yasa gerekli kontrol ve denetleme mekanizmalarını içermelidir. Ayrıca yasanın içeriğinin tüm toplumu memnun etmesi için yasa hazırlama çalışmaları sırasında mutlaka bu sektörde çalışan ve bu yasadan etkilenecek kişilere, kurum ve kuruluşlara danışılmalı ve onların onayı alınmalıdır.

Bülent TOKA
Maden Yüksek Mühendisi

İlgili Bağlantılar

<http://iga.igg.cnr.it/>

<http://www.eere.energy.gov/geothermal/>

<http://www.geothermal.org/>

<http://www.geothermal.marin.org/GEOpresentation/>

<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>