

JEOTERMAL ENERJİ ARAMA TEKNİKLERİ

Umran SERPEN

ÖZET

Bu bildiride jeotermal arama tekniği amacı, felsefesi, veri analizi, risk ve stratejileri hakkında bilgi verildikten sonra, jeotermal aramada kullanılan yerbilimi teknikleri anlatılmıştır.

1. GİRİŞ

Ülkemizde jeotermal enerji aramasının ciddi bir şekilde yürütüldüğünü söylemek olası değildir. Bu tür aramaları da 2 kategoride mütalaa etmek mümkündür. Birinci kategoride, geçmişte (1960-1980) elektrik üretimine yönelik jeotermal enerji aramaları devlet tarafından MTA Enstitüsü eliyle yürütülmüş olanlar vardır. Bu dönemde MTA Enstitüsü tarafından o zamanın neredeyse tüm güncel arama tekniklerinin uygulanmasıyla, ülkemizdeki bazı kaynakların potansiyellerinin ortaya konulmasında ve jeotermal kaynakların envanterinin yapılmasında, önemli adımlar atılmıştır. Daha sonra 1980'li yılların başında yeni yürürlüğe giren bir yasayla TPAO'na da jeotermal enerji arama görevinin verilmesi, ondan sonra yapılacak arama çalışmalarının kalitesinin artması ve rekabetin gelmesiyle kaynakların daha iyi değerlendirilebilme olasılığı, maalesef bu yasanın ortadan kaldırılmasıyla ortadan kalkmıştır.

Seksenli yılların ortasından itibaren merkezi ısıtma sistemlerinin ortaya çıkması ve kaplıca turizmi yatırımlarıyla ikinci kategori ortaya çıkmıştır. Bu devirde, ilkinin aksine bu kez il özel idareleri ve belediyeler tarafından yaptırılan sistemler için ciddi jeotermal enerji aramaları yapılmamıştır. Bunun nedeni, adı geçen kurumların bu konuda herhangi bir fikir sahibi olmamaları yanında, bu projelerin yükleniciler tarafından onlara empoze edilmesi sonucu, proje üstyapılarının ucuza yapılabilmesi için esas üretim yapılacak kaynağın bilinçsizce ve tamamen ihmal edilmesidir. Bu dönemde, yatırımcı kamu kuruluşlarının artık genel müdürlüğe dönüştürülen MTA'ya yaptırdıkları ufak tefek bazı işler dışında, gerçekleştirilmiş ciddi jeotermal enerji arama projeleri yok gibidir. Yine bu dönemde, MTA kaynak yokluğu nedeniyle, bu konuda çok kısıtlı sayıda proje gerçekleştirmiştir. Kısacası kaynak gözardı edilmiş, "kuyu del, sisteme bağla ve arkana bakma" yaklaşımı sergilenmiştir. Bu nedenle, artık ısıtması gereken toplumu ısıtamayan ve yanlış projelendirilmiş merkezi ısıtma sistemleri ortaya çıkmıştır. Öte yandan, yapılan yanlışlıklar dolayısıyla, ülkemiz jeotermal kaynaklarına da zarar verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, jeotermal kaynak geliştirmek isteyen kişi ve kurumlara bugün dünyada uygulanan güncel jeotermal arama tekniklerini tanıtmak ve bunların kullanımının ülkemizde uygulanmasını yaygınlaştırarak, hem ülke kaynaklarının sağlıklı bir şekilde geliştirilmesini, hem de yatırımcı kurumların faydalanmasını ve bilinçlendirilmesini sağlarken, onların aldatılmasını önlemektir.

2. JEOTERMAL ARAMANIN AMACI

Jeotermal aramanın genel amacı enerjinin ekonomik olarak üretilebileceği bir jeotermal sistemin bulunmasıdır. Jeotermal aramacının amaçları aşağıdaki gibidir [1]:

- Bir jeotermal sahanın veya düşük sıcaklıklı akiferin yerini belirlemek.
- Eğer bulunursa, bunun yarı-termal veya hipertermal olduğuna karar vermek.
- Eğer bulunan saha hipertermal ise, onda suyun veya buharın hakim olduğunu belirlemek.
- Bulunan saha veya akiferin, mümkün olduğu kadar hassaslıkla alan, derinlik ve olası sıcaklık aralığını belirlemek.
- Bunlardan hareketle, ısı potansiyelinin büyüklük derecesini veya bütün jeotermal kaynağın kapasitesinin kaba tahminini yapmak ve buradan elde edilebilecek ısı kalitesini tespit etmek.

3. JEOTERMAL ARAMANIN FELSEFESİ

Arama felsefesi, aramacının büyük bir alanda aramaya başlaması, dikkate alınan alanın veri alındıkça daraltılması ve bu yaklaşımın kaynak yeri tesbit edilinceye kadar devam etmesidir. Araştırılacak alanların büyük olduğu başlangıç aşamalarında, hızlı ve düşük maliyetli keşif teknikleri uygulanır. Sonuçlar toplandıkça ve arama sınırları daraldıkça, güvenilirlik artar ve daha pahalı teknikler kullanılmaya başlar [2]. Jeotermal aramada da, bu yaklaşım en pahalı teknik "arama kuyusu" delinip muhtemel alan test edilinceye kadar devam eder.

4. EN OLASI JEOTERMAL SAHA YERLERİ

İşletilebilir tüm jeotermal kaynaklar içinde hidrotermal kaynaklar, ekonomik getirisi en fazla olanlardır. Bu tür sahalar genelde dünyada, genç orojenik zonlarda ve hatta bu zonlar arasında da genç volkanizmanın olduğu yerlerde bulunurlar (sismik kuşak). Genç görelî bir terim olup, volkanizma süreci oldukça uzun olabilir. Dolayısıyla, hipertermal jeotermal kaynakları oluşturan volkanik olayların yaşı, kesin bir veri olmayabilir. Birkaç milyon yaşındaki bir magmatik sokulum ya çok önceden yüzeylemiş, ya da günümüzde soğuduğu için jeotermal açıdan ilgi çekemeyebilir [3]. Wairaki ve Miravalles gibi sahaların yaşı yarım milyon yıl kadarken, İzlanda'da volkanik aktiviteler halen devam etmekte ve Krafla sahasında kuyulardan lav gelebilmektedir.

Ülkemizde ise, volkanik aktivitelere bağlı jeotermal kaynaklar olmakla birlikte, daha çok graben oluşumlarıyla ilgili çatlak-zonlarında jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Bunlar da, magmatik sokulumlar, kabuğun bu oluşum yerlerinde incilmesi, sıkışma zonlarında ısının anomali göstermesi sonucu oluşan, ya serbest konveksiyon, ya da topoğrafyanın yarattığı zorlanmış (forced) konveksiyon zonlarının yaratılmasıyla meydana gelmektedirler.

Yeryüzündeki jeotermal sistemlerin uçları olan kaplıca, fumerol ve gayser gibi dışa boşalım noktaları makul, ümit veren sinyaller olabilir. Ancak bunlar, uzak da olsa olası bir hipertermal sahanın mutlak belirtileri değildirler. Öte yandan, bu belirtiler uzak bir jeotermal kaynağın lateral uçları da, olabilir. Bunlar, çok derin faylar boyunca (KAF gibi) yukarılara yükselilebilirler, ama önemli bir jeotermal kaynak oluşturamayabilirler. Bazan jeotermal kaynaklar yüzey kanıtı olmayan yerlerde de bulunabilirler ve ancak o yörenin jeolojisinin çözülmesiyle bulunabilirler.

Yarı-termal alanlar anormal sıcaklık gradyeni olan yerlerde aranmalıdır. Düşük dereceli akiferler yalnızca bilinen jeolojinin çalışmasıyla tahmin edilebilirler, çünkü bunların varlığı hakkında herhangi bir gösterge yoktur. Bu tür araştırma için uygun alanlar, gömülü kumtaşları ve kireçtaşlarının yarattığı

derin katmanlardır. Derinlerde ısı gradyenleri normalin üzerinde olan yerlerden, oluşan faylar boyunca yüzeye yakın yerlere taşınabilirler.

Öte yandan, petrol ararken derin üst tabaka basınçlı jeotermal kaynaklara da rastlanabilir.

5. VERİLERİN ANALİZİ

Herhangi bir sistematik arama programını gerçekleştirmeden önce, varolan yerel fiziksel ve kimyasal verilerin toplanıp değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu veriler jeotermal dışındaki amaçlar için toplanmış olabilir, fakat bu amaçla da değerlendirilebilir. Topoğrafya, meteoroloji, jeoloji, hidrojeoloji, sıcak kaplıca sularının gözlenmesi, jeofizik ve jeokimyasal ölçümler gibi, kaydedilmiş veriler toplanmalı ve gözden geçirilmelidir. Bu verilerden hareketle, umut veren yerlerin seçilme olasılığı vardır. Ayrıca, daha derin bir araştırmaya yatırılanı geri almaya izin veren olanakları olan ve yerleri daha iyi belirlenmiş olanları seçilebilir. İlgili verilerin görünür termal alanlarla sınırlı olmaması önemlidir, çünkü termal alanları çeviren soğuk alanlarla ilgili daha fazla bilgi, termal anomalilerin etken karakterizasyonunu sağlar.

6. RİSK VE STRATEJİLER

Tüm doğal kaynak aramalarında olduğu gibi jeotermal arama da risklidir [4]. Delinecek bir test veya üretim kuyusunun termal akışkanların bulunduğu bir zonu kesmesi konusunda bir garanti yoktur. Yatırımcının aklen ve finansal olarak, aramanın riskli bir iş olduğuna hazırlıklı olması gerekir. Bazan risk derecesi yarı-sayısal olarak tahmin edilebilir. Risk takip eden iki faktöre bağlıdır: (1) arama sahasında kaynağın bulunma riski, (2) arama programının kaynağı bulma ve üretime sokabilme riski. Her iki faktör de, uygun bilgi ve deneyim gibi insan yaklaşımı yanında, kullanılan ekipmandan da etkilenir.

Özellikle ikinci risk faktörü, arama için ayrılan finans ve arama ekibinin kalitesi tarafından kontrol edilir. Eğer proje sağlıklı bir arama programını destekleyemiyorsa, hemen doğrudan sondaja geçmek gibi, ciddi bir yanlış yaklaşıma sapılabilir. Ülkemizde de genelde yapılan budur.

Başarılı jeotermal enerji girişimcileri, genelde aramaya başlamadan önce, bir strateji veya yaklaşım planına sahiptirler. Arama stratejileri, başarısızlık riskini minimumda tutma yanında, aramanın efektif maliyetini optimize ederler. Bu stratejinin önemli bir özelliği, proje yöneticisinin programı durdurma veya bir sonraki safhaya geçme konusunda karar verebilmesidir. Başlangıçta riskin en büyük olduğu aşamada, arama stratejisi maliyeti daha düşük olan tekniklerin kullanımını öngörür. Sırasıyla diğer aşamalar bir öncekinden daha pahalıdır, fakat her aşama başarısızlık riskini azaltır. Optimum arama stratejisi projenin amacı ve büyüklüğü, varolan para ve zaman, jeolojik ortam ve o ortamda biriken arama deneyimine bağlıdır [4].

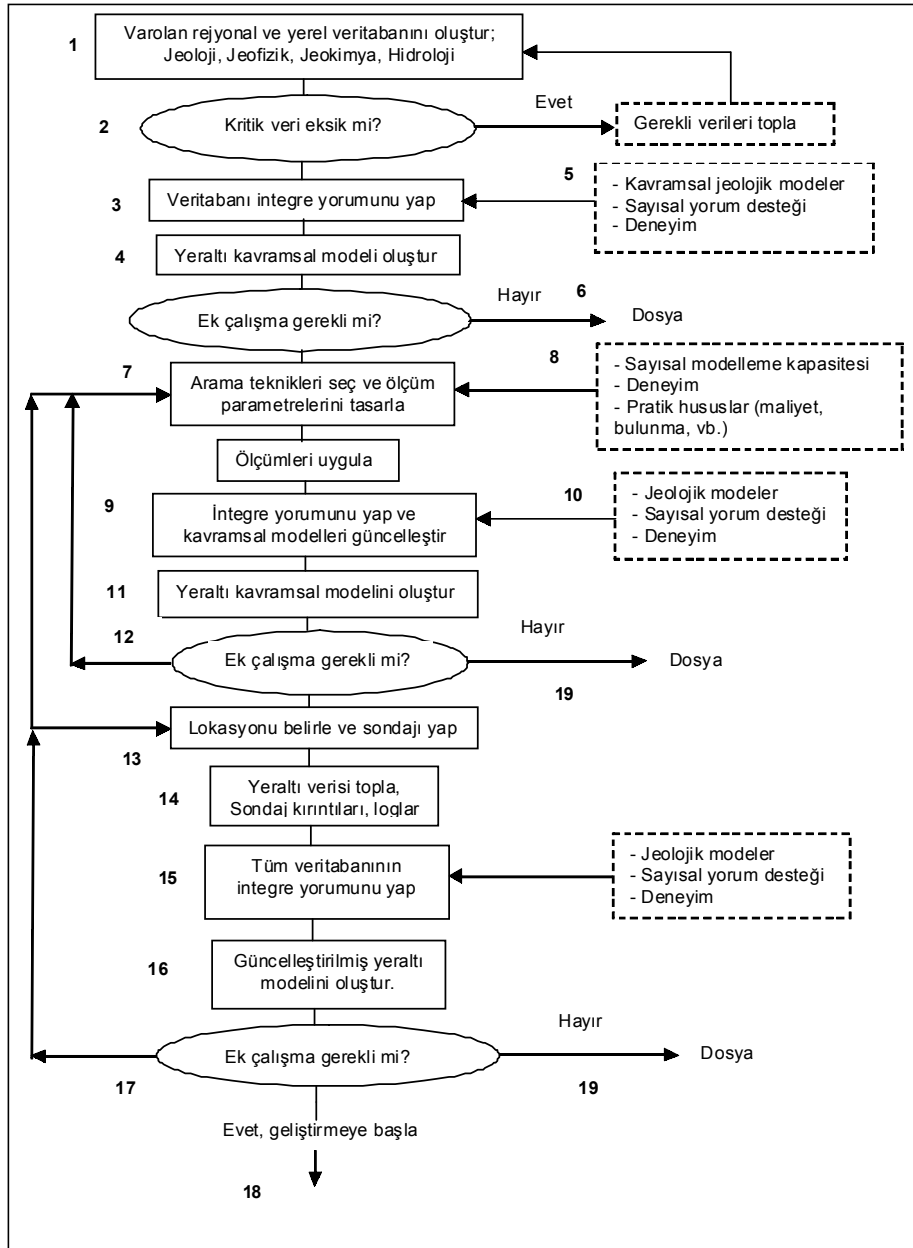
Jeotermal kaynaklar aynı tipten olsalar bile detayda çok değiştikleri için, her ortamda çalışabilecek düşük maliyetli belli bir arama teknikleri sıralaması yapmak mümkün değildir. Herhangi bir alanda takip edilecek arama stratejisi, işi yapan ve verileri değerlendiren yer bilimciler tarafından o alandaki uygulama için özgün olarak tasarlanmalıdır. Genel bir arama stratejisi ise, Şekil 1'de verilmektedir [4].

7. ARAMADA YERBİLİMCİLERİN GÖREVLERİ

Jeolog, hidrojeolog, jeokimyacı ve jeofizikçi gibi uzmanların arama sırasındaki görevleri aşağıda verilmektedir [1]:

Jeolog'un Görevi

McNitt [3] jeoloğun genel jeoloji bilgisinin olması, çeşitli aramalarda uzman olması ve genel aramayı koordine edebilmesi konusunu öne çıkarmaktadır. Jeoloji, çoğu kez tutarsız olan, minimum bilgi ve veriden çıkarılan sonuçlar üzerine kurulan, subjektif bir disiplindir. Jeoloğun görevi ise, optimum sonuçlara ulaşan ve kullanılan tekniklerle çelişkili yorumları çözümlenecek özel arama tekniklerinin seçiminde, jeofizikçi ve jeokimyacı ile işbirliği yapmaktır. McNitt [3] jeoloğu, bir bakıma, büyücülükte doktora yapmış bir kişi olarak tanımlar.



Şekil 1. Genel strateji yaklaşımının şematik gösterimi [4].

Jeotermalde uzman jeoloğun görevi, koşullar elverdikçe mümkün olan büyük hassaslıkla, bir termal bölgenin jeolojik yapısını belli bir derinliğe kadar 3 boyutlu modelleyebilmek ve sondaj yerlerini belirleyebilmektir. Yüzeysel jeolojisi, yüzeyleyen formasyonların eğimleri, yapılmış olan sondajların değerlendirilme sonuçları, fayların ve termal yüzey göstergelerinin gözlenmesi, örtü ve rezervuar olabilecek gözenekli-geçirgen katmanların belirlenmesi ve bunların sıcak akışkanları içermesi, bu akışkanların orijini, takip ettikleri yol ve ısı kaynağı, gibi konuları inceleyerek, jeolog bir hipotetik model oluşturur. Modelinde olduğu gibi, küçük bir kısmı hariç, doğrudan gözlemden çok, jeolog yorumuna güvenmelidir; bu da onun yaratıcılığında yatar [1].

Hidrojeolog'un Görevi

Hidrojeolog, jeologla birlikte çalışarak, jeolojik modelin sınırları kapsamındaki katmanların içinde veya değişik katmanlar arasında, yeraltında akışkanların aktığı muhtemel yolları tahmin eder. Hidrojeolog uzmanlığını kullanarak, termal akışkanların olası sahanın geçirgen zonlarına nasıl ulaştığı ve yüzeyde bilinen kaplıca ve fumarollerle nasıl boşaldığı, başka yerlerden boşalmalarının önlenmesi, yapay yollarla delinen kuyulara yönlendirilmeleri, konularına açıklamalar getirmelidir. Termal gradyanları, formasyonların gözeneklilik ve geçirgenliklerini incelemelidir. Jeokimyacıyla birlikte sular arasındaki farklılıkları veya akrabalıkları belirlemeli ve izotopları da kullanarak yeraltındaki akış yolları konusundaki düşüncelerini test etmelidir.

Jeofizikçinin Görevi

Jeofizik bilimi temel olarak her çeşit anomalinin aranması ve yorumlanmasıyla uğraşır. Jeofizikçinin jeotermal aramada en büyük önemi, yapısal durumlara açıklık getirebilme özelliğidir. Jeotermal aramada jeofizikçinin görevi, anomalileri eşsıcaklık, eşgravite, eşrezistivite veya başka eşpotansiyellerden belirlemek ve izlemek için, mümkün olduğu hassaslıkla birçok yerin fiziksel özelliklerini ölçmek ve daha sonra yeraltı formasyonlarının kanıtı olarak yorumlamaktır. Jeofizikçi, parmak izini inceleyen detektif gibi, sorunların çözümüne gitmelidir. Aramadaki diğer iş arkadaşları gibi, jeofizikçinin yeraltı için bazı kanıtları ve yorumları vardır ve birbirini tamamlayan kanıtları bulmak için diğerleriyle danışmalıdır. Jeotermal sahalar, içinde büyük miktarda sıcak su ve buhar taşıyan büyük hacimler olarak düşünülürse, ısı alanlarının belirlenmesinde jeofizik çok güçlü bir araçtır.

Jeokimyacının Görevi

Jeokimya, jeotermal aramanın en ucuz aracıdır. Çünkü yeraltındaki sıcaklık hakkında bilgi sağlar. Jeokimyacının birinci görevi, doğal jeotermal yüzey boşalım akışkanlarının kimyasal analizini yapmaktır. Analiz sonuçları yeraltı araması ve sondaj hakkındaki kararlarda önemli bir kılavuz olarak hizmet verir [1]. Arama sondajları yapıldıktan sonra, derin suların kimyasal analizleri suların akış patronları hakkında bilgi sağlar ve en iyi sondaj yerlerinin seçimine yardımcı olur. Jeokimyacı, sıcaklık ölçümlerinin belirleyicisi olarak da düşünülebilir ve aramadaki diğer arkadaşlarına bir sahanın derinliklerinde hakim olan sıcaklıkların tahmin edilmesinde yardımcı olur. Yüzeysel sularının sulandırmasından ve sıcak suların yüzeye yakın formasyonlarla olan etkileşiminden doğan yanlış kanıtlara karşı daima uyanık olmalıdır[5].

8. JEOTERMAL YÜZEY ARAMA TEKNİKLERİ

Jeotermal enerji potansiyelinin araştırılacağı sahanın veya sahaların ayrıntılı jeolojik, jeofiziksel, jeokimyasal ve sondaj çalışmalarının kapsamı aşağıda verildiği gibi olmalıdır;

- Jeolojik çalışmalarla formasyonların litolojik, stratigrafik, petrografik ve jeolojik yapıları,
- Jeofizik çalışmalarla yer altı yapısal jeolojisi,
- Fotojeolojik çalışmalarla jeolojik, tektonik ve litolojik özellikler,
- Jeokimyasal çalışmalar ile su kimyası ve su-kayaç ilişkileri,

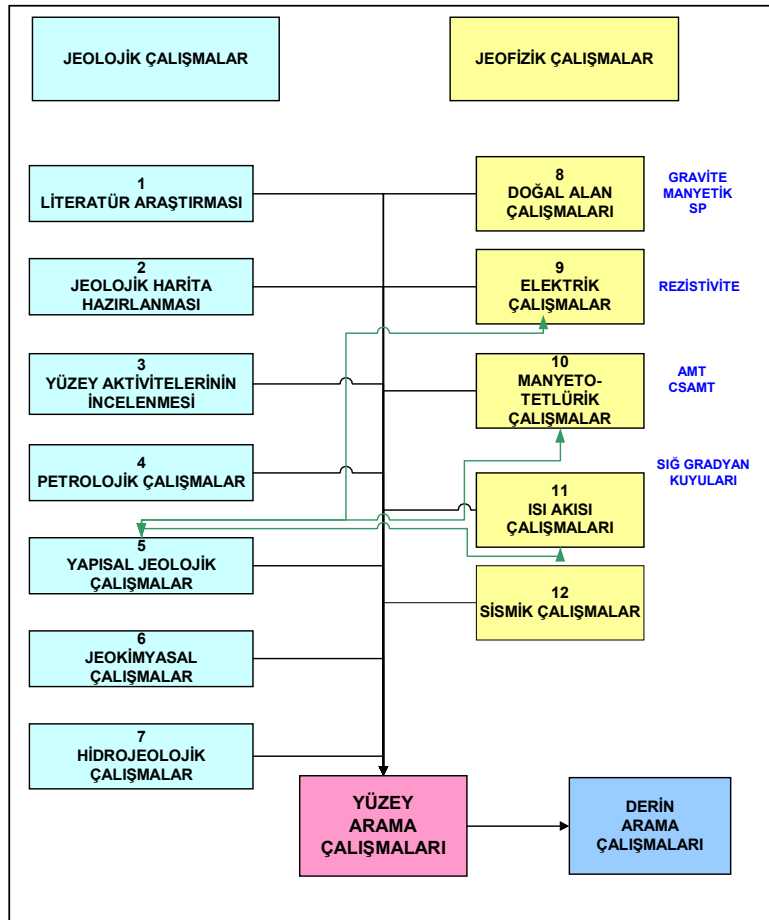
- e) Sondaj çalışmaları ile yeraltı jeolojisi, hidrotermal alterasyon zonları, hazne ve örtü kayaların özellikleri, formasyonların litolojik-stratigrafik ve hidrolik özellikleri araştırılacaktır.

8.1. Keşif Çalışması ve Keşif Raporu

Başlangıç aşamasında aktif, aktif olmayan ve sönmüş jeotermal oluşumların bir kaydının ve ön değerlendirmesinin yapılması yanında, aktüel veya potansiyel enerji gereksinimlerine göre başlangıç çalışma alanlarının tavsiye edilmesi amacıyla yapılan jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalardır. Araştırma sonucunda elde edilen bilgilerle bölgenin stratigrafik, litolojik ve tektonik özellikleri, jeolojik kesitler, blok diyagramlar gibi çalışmalar hakkında bir "Keşif Raporu" hazırlanarak; bu raporda jeotermal alanın geliştirilmesi için ön potansiyel değerlendirilmesi yapılarak, çalışmalara devam edilip edilmemesi konusundaki karar yerelmalıdır. Bu çalışmalarda genel jeolojik durum için 1/100.000 ölçekli jeolojik haritalar kullanılabilir.

8.2. Yüzey Arama Teknikleri

Yüzey arama teknikleri jeotermal sistemlerin yeryüzü çıkışlarından başlayarak modern jeofizik yöntemlerine kadar gelişir. Bu teknikler ve sıralaması şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Yüzey arama teknikleri ve birbirleriyle etkileşimleri.

8.2.1. Jeolojik Arama Teknikleri

Literatür Araştırması

Tüm arama programları, ister detaylı ister keşif çalışması olsun, varolan tüm verilerin toplanması ve incelenmesiyle başlar. Ülkemizde bu tür bilgilere, yerbilimleriyle uğraşan başta MTA, DSİ ve TPAO gibi kurumların yanında, Üniversitelerin yaptıkları çalışmalar ve profesyonel dergi ve bu konularda düzenlenmiş kongre ve sempozyumların kitapçıklarında ulaşılabilir. Literatür çalışması en ucuz arama tekniğidir ve bunun dikkatli ve sağlıklı yapılmasının sonuçlarının getirisi büyük olabilir.

Uzaktan Algılama Çalışmaları

Hava fotoğraflarının interpretasyonu jeotermal aramada ilk adımdır. Fotoğraflar yapısal analiz, jeolojik harita yapma ve topoğrafisi zor alanlarda jeofizik ölçmelerde kullanılır. Eğer bölgesel ve stratigrafik çatı iyi bilinmiyorsa havadan yapılan manyetik ölçmeler, ucuz olarak ek bilgi sağlar. Benzer olarak havadan Landsat gibi uydulardan alınan kızıl ötesi ışın fotoğrafları ısınmış, sıcak bölgeleri tespit etmeye yarar.

Jeolojik Harita Hazırlanması

Jeotermal enerji sağlanacak bölgenin 1/25.000 ölçekli jeolojik haritası yapılmalıdır. Yapılan çalışmalarla; kaya birimleri ve dokanak ilişkileri, kaya birimlerinin doğrultu ve eğimi, kaya birimlerinin gözenek ve geçirgenliği, kaya birimlerinin kalınlığı, yapısal öğeler (fay ve çatlak sistemleri, genç faylar, graben sistemleri, bindirmeler, şaryajlar, kıvrım sistemleri, tektonik gerilme yönleri, bunların özellikleri ve birbirleri ile olan ilişkileri), sıcak ve soğuk su noktaları, mağmatik dayklar ve sokulumlar, volkanik merkezler, hidrotermal alterasyon zonları, yaş belirleyici veriler (özellikle mağmatik aktivite yaşı), farklı litolojideki tortul oluşukların ve volkanik kayaların ayırtımı ve yaşlarının belirlenmesi, tektonizma, mağmatizma-volkanizma ve jeotermal enerji sağlanacak olası hazne kaya, örtü kaya ve ısı kaynağı, gibi konular araştırılarak, haritada işaretlenmelidir [7].

Yüzey Aktivitelerinin İncelenmesi

Difüzyon çıkışlar, doğrudan boşalım, gayzer ve saklı boşalım şeklindeki tüm yüzey aktivitelerinin basit bile olsa topoğrafik olarak haritaları yapılarak, bunlardan dışarıya çıkan akışkanların (sıvı+iki faz+buhar ve/veya gaz) debileri, sıcaklıkları ölçülerek ve bileşimlerini belirlemek amacıyla, akışkanlardan örnekler alınmalıdır. Bu verilerden hareketle; jeotermal sistemin ısı deşarj miktarı belirlenmeli, jeolojik harita üzerinde bu aktivitelerin yerleriyle sistemin kaba yapısı, tektonizması ve hidrolojik model tekrar yorumlanarak, aktivitelerin en şiddetlisi merkez kabul edilmek üzere tekrar yorumlanmalıdır. Bu aktivitelerin en şiddetlisi merkez kabul edilmek üzere 10-15 km yarıçap içinde jeofizik araştırmalar gerçekleştirilmelidir.

Petrolojik Çalışmalar

Yaş belirleyici veriler (özellikle mağmatik aktivite yaşı), farklı litolojideki tortul oluşukların ve volkanik kayaların ayırtımı ve yaşları belirlenmelidir. Hidrotermal alterasyon bölgelerinden alınan örneklerin de yaşı tesbit edilmelidir. Bu konularda çalışma alanında yer alan formasyonlardan kayaç örnekleri alınarak bunların mineralojik ve petrografik incelemeleri yapılmalıdır [7].

Yapısal Jeolojik Çalışmalar

Yörenin genel tektonik yapısı içinde çalışma alanındaki fayların tipleri, yönleri, eğimleri, atımları belirlenmeli ve bunlardan hangilerinin jeotermal akışkanların sirkülasyonuna yardımcı olduğu, tesbit edilmelidir.

Çatlak çalışmaları hem jeotermal alanın bulunduğu havzanın, hem de jeotermal alanın kendisinin çatlak doğasının tanımını yapmak amacıyla aşağıdaki çalışmalar çerçevesinde; hava ve Landsat fotoğraflarından çatlak yönlenmesi ve frekansları belirlemek üzere gül diyagramları hazırlanarak,

belirlenen çatlakların boyutları ve minerallerle tıkanma durumları ile buralarda çökelen mineraller harita üzerinde işaretlenmeli ve kayalar üzerindeki çatlaklar incelenerek, ikincil geçirgenlik konusunda bilgi oluşturulmalıdır. Arama daralıp harita ölçeği arttıkça, çatlak çalışmaları daha detaylı hale gelmelidir.

Jeokimyasal Çalışmalar

Jeokimyasal araştırmalar için inceleme alanında bulunan kayalardan, sıcak ve soğuk su kaynaklarından, kuyulardan, fümerol ve gaz çıkışlarından örnekler alınıp, fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmalıdır. Analizlerin değerlendirilmesi sonucunda; sistemdeki sıcak akışkanların bileşim aralığı ve homojenliği, jeotermal akışkanın bileşimi (tüm su ve gaz bileşenleriyle birlikte) ve orijinal sıcaklığı, jeotermal sistemin oluşum tipi (devresel veya depolanmış), varolan sistemin tipi (buharın ısıttığı veya derin mineralli sudan kaynaklanan), jeotermal akışkan-kayaç etkileşimleri, beslenmenin kökeni (meteorik, juvenil, deniz suyu veya jeolojik devirlerden kalan su), bölgedeki akış yönü ve yeraltındaki kalış süresi, jeotermal suyun tanımlanması; sınıfı, grubu tipi (klorürlü, bikarbonat-sodali, asidik vb.), sistemdeki faz durumları (su ve buharın hakim olduğu), sistemdeki faz değişimleri (kaynama, yoğuşma vb.) ve sistemdeki sıcak-soğuk su karışımları, jeotermal akışkanın üretimden dolayı değişen koşullara göre mineral çökeltme potansiyeli, jeotermal akışkanın yükselme yönü ve yeryüzüne akış yönü, jeotermal akışkanın akış yönü ve yeraltında kalma(mola) süresi, olası çevresel etkisi, bölgenin minimum doğal ısı akısı ve potansiyeli tahmini, ekonomik değere sahip olabilecek akışkan elementleri, yapılabirlik ve geleceğe yönelik tahminler için kavramsal model oluşturulması, akışkanın sisteme basılabilirliğinin yapılabirliği gibi konular belirlenmelidir.

Jeotermal akışkanlardaki doğal stabil izotoplar kullanılarak; hazne kaya sıcaklıkları tayini, akışkanların kökeni(meteorik ve juvenil) ve beslenme alanı belirlenmesi, beslenme alanındaki hidrolojik bilançodan sistemin uzun dönem üretim kapasite tahmini, en az sulandırılmış olan kaplıca suyundaki, aktif fumerollerdeki yoğuşmuş suları ile meteorik sulardaki trityum derişimleri kullanılarak, sıcak akışkanların akış ve mola süreleri, sıcak-soğuk su karışımları ve kaynama prosesleri tanımlanması, hidrolojik devre tanımlanması, akışkan ve kayaç dengesi ile su-kayaç tepkimelerinin tanımlanması yapılmalıdır. Ayrıca, topraktaki Hg miktarı ile radon ve/veya He gazlarından, jeotermal alandaki aktif kırık ve faylar belirlenecektir.

Hidrojeolojik Çalışmalar

Hidrolojik çalışmaların amacı, akışkanların kaynağı, beslenme alanı, filtrasyon debisi, akiferlerin yeri, derinliği, basıncı ve bileşimini tayin etmektir. Bu bağlamda, beslenme alanları ve yeraltısuyu kaynağı ve akım yönleri, yeraltısuyu seviyesi, sıcak ve soğuk sular arasındaki ilişkiler ve suların bileşimleri, sıcak suların yüzeye çıkış şekilleri, tipi ve çıkış yerleri, havzanın yıllık beslenme ve yıllık boşalım değerleri ile sızma bölgeleri, bölgenin yıllık yağış ve sıcaklık değerleri ve örtü ve hazne kayanın gözenekliliği ve geçirgenliği gibi konuları kapsamak üzere hidrolojik araştırmalar gerçekleştirilmelidir.

8.2.2. Jeofizik Çalışmalar

Jeofizik çalışmalar; sıcaklık, mineralizasyon, gaz ve akışkan hareketi gibi akışkan parametreleri ile faylanma, bazı litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki ani değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmalıdır. Jeofizik metodların seçiminde; uygulanacak olan yöntemin ülkemizde yaygın olan düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlerin özelliklerini algılayabilmesi, topoğrafik olarak arızalı bölgelerde derinliği 500 m'den fazla altere olmuş formasyonlar altında kalan rezervuarların büyüklüğünü algılayabilmesi, sıcak suyun hakim olduğu tuzluluğu görel olarak yüksek olan sistemler için ısı akısı ve elektrik rezistivite yöntemlerinin seçilmesi, buhar sistemleri için ısı akısı ölçümleriyle birlikte gravite, manyetik ölçümleri (volkanik kayalarda) kombinasyonunun kullanılması gibi kriterler göz önüne alınmalıdır.

Isı Akısı Çalışmaları

Jeotermal sahaların anormal yüksek ısı akışlarına sahip olduğu bilinmektedir. Eğer bir ısı kaynağı varsa, ısı akısı normal büyüklüğünün üzerine çıkar. Isıl arama teknikleri, gerçek boyutların ve bir

jeotermal sistemin potansiyelinin tahmininde çok önemlidir. Bundan ötürü aşağıdaki teknikler kullanılmaktadır:

1. Yüzey ve sığ sıcaklık ölçmeleri (sığ ile altı metreye kadar olan derinlikler kastediliyor),
2. Yüz metre derinliğe kadar jeotermal gradyen ölçmeleri,
3. Daha pahalı bir yaklaşım olan yüz metreden daha derinlerdeki ısı akışı tayinleri.

Ucuz olan yüzey ve sığ ölçmelerdeki güçlük, bunların yağış, filtrasyonu, yeraltı suyu kadar topografik faktörlerdende etkilenmesidir. Birçok araştırmacı 15-150 metreler arasındaki kuyulardaki derinliğin fonksiyonu olan sıcaklık ölçmelerini jeotermal arama yolu olarak kullanmışlardır. Bu derinlikler yüzeye yakın ısıl sapmalar dışında kalmaları dolayısıyla optimumdurlar. Ayrıca, gradyen ölçmeleri hassas olarak yapılabilir. Bununla birlikte yeraltı suyunun yanal hareketleri gözönüne alınmalıdır. Ticari ve ekonomik imkanlar vadeden jeotermal sahaların çoğunda bu derinliklerde gradyenler 7°C/100m.'dir. (Normal gradyenler 2-3°C/100m.).

İdeal olarak hem gradyen, hem de ısı akışı ölçmeleri kullanılmalıdır. Fakat normal ısı akışının olduğu geniş alanların tanımlanmasında ısı akışı normalin üzerinde olup ve bu da, ısı akışı normal olan anakayaç ısı üretim ölçmeleri ile birleştirilince, hidrotermal konveksiyon sistemlerinin ve belki de genç sıcak sokulum kütlelerinin varlığı ortaya çıkarılabilir.

Gravite Çalışmaları

Uygun ortamlarda gravite ölçmeleri, önemli yapısal oluşumları ayırt edebilir ve jeotermal sistemlerle ilişkili olabilen yerel pozitif anomalilere işaret edebilir. Böyle pozitif anomaliler, yerel yapısal yükselmeler, gömülmüş volkanik veya intrüzif yapılar tarafından yaratılabilir [7].

Isı kaynağı olan yeraltındaki mağmatik sokulumları ve büyüklüğünü, jeotermal akışkanların yukarı yükselme sırasında kendini tıkararak yarattığı silika çökeltme yapılarını, suyun hakim olduğu hidrotermal sistemleri kontrol eden önemli fayları belirlemek için gravite yöntemi kullanılmalıdır [1].

Doğal Uçlaşma (SP) Çalışmaları

Jeotermal gradyen ve akışkan hareketini belirlemek amacıyla anlamlı sonuçlar verebilmesi açısından 50-100 km² alan üzerinde uygulanmalıdır. Bu yöntem, yeraltı suyunun iletken kayalarla etkileşiminden, yüksek jeotermal gradyenlerden ve hareket eden (özellikle yükselen) akışkanlardan doğan doğal voltaj değişimlerini ölçer ve jeotermal aramada yaygın olarak kullanılır [7].

Manyetik Çalışmaları

Ancak volkanitlerin varolması durumunda, jeotermal anomalinin boyutlarını belirlemek amacıyla kullanılabilir ve anomali haritalanabilir. Bu yöntem özellikle reyonel yapısal analiz yapılması durumunda kullanılmalıdır. Havadan yapılan manyetik ölçmeler varsa, anomali bölgesinde Curie nokta derinliklerinden, ortalama jeotermal gradyen ve ısı akışı hesaplanabilme olanağı vardır. Elektromanyetik VLF yöntemi iletken zonları ve yanal süreksizlikleri belirlemek amacıyla kullanılabilir [7].

Tellürik Çalışmalar

Vektör-tellürik ve tellürik profillemeye yöntemleri 20 Hz'ten düşük frekansları ölçme üzerine kurulmuştur. Bu yöntem rezistivitenin yanal değişimlerine hassas olduğu için, jeotermal aramada kullanılabilir. Özellikle jeolojik kontakların yönü biliniyorsa, ölçüm hatları bu yöne dik olarak yerleştirilerek aramada çok faydalı olur.

Manyetotellürik çalışmalar, olası jeotermal alanların altındaki ısıtıcı görevi gören derin iletken yarı erimiş zonları belirlemek amacıyla uygulanırlar. AMT yöntemi 2 km'ye kadar olan derinliklerde sığ iletken zonların belirlenmesi amacıyla (8-18000 Hz frekans aralığında) gerçekleştirilebilir [7].

CSAMT yöntemi, olası jeotermal alanın büyüklüğünü ve yanal süreksizlikleri belirlemek amacı ile özellikle derin araştırmalarda, rezistivite yöntemini desteklemek için kullanılabilir.

Rezistivite Yöntemleri

Özdirenç (Rezistivite) yöntemi gömülü hidrotermal yapının boyutlarını belirlemek ve onları jeotermal rezervuarlarla ilgili termal ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirmek için, Schlumberger veya Wenner elektrot dizilimi kullanılarak, gerçekleştirilebilir. Tüm ölçümlerin tek tek değerlendirilmesiyle iki boyutlu olarak hazırlanan elektrik yapı kesitlerinin saha bazında 3 boyutlu değerlendirilerek, alanın gerçek özdirenç yapısı yorumlanabilir.

Çevrele Elektrik Özdirenç, üzeri izotropik kalın bir katman ile kapalı rezervuar kayacındaki anizotropiyi (olası çatlaklı bir bölge) belirlemek amacıyla uygulanabilir.

Dipole-dipole yöntemi, üzeri düşük özdirençli bir formasyonla örtülü yapıların varlığı halinde, yanal özdirenç süreksizliklerin doğru olarak tespiti ve karmaşık jeolojik sorunların çözümü için kullanılabilir.

Sismik Çalışmalar

Sismik yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde uygulanabilecektir. Jeotermal aramada hem pahalı olması, hem de yararı açısından aktif sismik az kullanılan bir yöntemdir. Aktif sismik yöntemler temel kayacın durumu ile akifer yapısını algılayabilme amacıyla kullanılabilir. Aktif fayları belirleme amacıyla pasif sismik yöntemlerden biri olan mikro deprem yöntemini de uygulanabilir. Pasif yöntemler jeotermal aramada daha yaygın olarak kullanılırlar.

8.2.3. Araştırma Sondajları

Arama sondajı yüzey aramasının sonu ve derin arama aşamasının başlangıcı demektir. Bundan sonra yapılacak sondajlar, derin arama aşamasının bir parçası olurlar. Arama sondaj yerleri aşağıdaki jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal kriterler dikkate alınarak yapılmalıdır:

- Jeolojik açıdan, derinlerde geçirgenlik ve gözenekliliğin olması konusunda jeolojik kanıtlar aranmalı ve güvenli rezervuar işletmesinin yapılabileceği derinlikte düşeye yakın fayların kesilmesi öngörülmelidir.
- Jeofiziksel açıdan, önemli süreksizlik ve fay zonlarının tahmin edildiği ve araştırılan derinlikte en düşük özdirenç değerlerinin olduğu yerler seçilmelidir.
- Jeokimyasal açıdan, yüzey aktivite tipine göre seçim yapılmalıdır. Sıcak su sistemlerinde yüksek sıcaklıklı ve yeraltı su karışımının az olduğu yerler seçilmelidir. Fumarollerde ise geldiği kaynak araştırılmalıdır.

İlk kuyu yeri; derin sistem hakkında olası en çok bilgi ve veriyi sağlama veya aynı zamanda akışkan üretmesi bekleme gibi, koşulların sağlanacağı yer olmalıdır.

Daha sonraki "Derin Arama" aşamasında kuyuların seçiminde aşağıdaki stratejilerden biri Aramacı tarafından seçilmelidir:

- Birinci kuyu başarılı ise aynı jeolojik özellikleri taşıyan zonda diğer kuyuları delmek ve o zonu geliştirmek.
- Başarılı 1. Kuyudan sonra olası jeotermal alanın farklı kısımlarını araştırmak.

KAYNAKLAR

- [1] Christopher, H., Armstead, H., 1989. *Energia Geotermica*, Noriega Editores, Mexico.
- [2] Peters, W.C., 1978. *Exploration and Mining Geology*, John Wiley and Sons, New York, pp. 696.
- [3] McNitt, J.R., 1973. The Role of geology and Hydrogeology in Geothermal Exploration, *Geothermal Energy, a review of research and development*. Earth Sciences **12**, UNESCO, Paris.
- [4] Wright P.M., 1998. Exploration for Direct Heat Resources. Ed.: Lund, J.W., in: Geothermal Direct-Use Engineering and Design Guidebook. Geoheat Center, Oregon Institute of Technology, Oregon.
- [5] Sigvaldson, G.E., 1973. Geochemical Methods in Geothermal Exploration, *Geothermal Energy, a review of research and development*. Earth Sciences **12**, UNESCO, Paris.
- [6] Toksoy M., Günaydın, M., Serpen, U., 2001. Jeotermal Proje Geliştirme, V. Ulusal Tesisat Müh. Kongre ve Sergisi, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı Semineri Kitabı, 3-6 Ekim, İzmir, s. 306-328.
- [7] Laughlin, A.W., 1982. Exploration for Geothermal Energy, Eds.: Edwards, L.M., Chilingar, G.V., Rieke III, H.H., Fertl, W.H., in Handbook of Geothermal Energy, Gulf Pub. Co., Houston.

ÖZGEÇMİŞ

Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarında çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.