

# JEOTERMAL SAHALARDA JEOLJİK VE JEOFİZİK ARAMA İLKE VE STRATEJİLERİ

Tahir ÖNGÜR

## ÖZET

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından zengin ve buna elverişli jeoloji ortamlarına sahiptir. Jeotermal sistemler dinamik, açık ve değişken sistemlerdir. Bileşenleri, ısı, akışkan, basınç ve kimyasal bileşenlerdir. Bu nedenle, yer kabuğunun üst kesimlerinde ısı akısının yüksek, yeraltısuyunun derinlere süzülüp ısındıktan sonra yeniden yükselbileceği geçirimli zonların bulunduğu ve jeotermal akışkanların konveksiyon hücreleri oluşturacak şekilde dolaşım ısı biriktirebileceği kapanların oluşabileceği kesimlerinde gelişmektedir. Ülkemizin jeoloji çatısı içinde buna elverişli farklı kuşaklar bulunmaktadır. Batı Anadolu'nun Ege kıyılarındaki yaygın faylanma, ısı akısının görece olarak yüksek olduğu bu bölgede, çoğu denizden beslenen bazı sahaların gelişmesine yataklık yapmıştır.

Menderes Masifi, özgün jeoloji geçmişi ile ülkemizin en yüksek ısı akısına sahip yöresini oluşturmaktadır. Üstelik bu Masif, yakın zamanda D-B uzanımlı grabenleri oluşturan derin yapısal süreksizliklerle kesilmiştir. Bu bölgede, bir yandan metamorfite etkilemiş olan sıyrılmaya fayları ve bir yandan da üst Miyosen'de oluşmuş, bugünlükere verev uzanan bir başka fay sistemi ile yaygın ve etkili bir kırıklanma ve kaya ortamlarının geçirimsizlik kazanması olanaklı olmuştur. Bütün bunlar, bu bölgede çok sayıda ve yüksekçe ısı yüklü jeotermal sistemin gelişmesini sağlamıştır.

Orta Anadolu'nun batısı Menderes Masifi bölgesine benzer biçimde graben yapıları içinde ya da kenarında oluşmuş jeotermal alanlara sahiptir. Orta Anadolu'nun doğusu ve Doğu Anadolu'da yaygın olarak bulunan genç volkanik ortamlarda tipik jeotermal alanların bulunmaması dikkati çekmektedir. Buralarda, bölgesel bir yüksek ısı akısı bulunmadığı ve jeotermal kaynakların ancak sığ volkanik merkezlere yakın yerlerde aranabileceği anlaşılmaktadır. Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Zonları çok sayıda, ancak düşük sıcaklıklı sahalarla özgündür. Bu kuşaklarda da kabukta olağandışı bir ısı akısı bulunmadığı anlaşılmaktadır.

Jeotermal alanların incelenmesinde yer bilimcilerin önemli sorumlulukları vardır. Temel jeoloji çalışmalarının yanında hidrojeoloji, petroloji ve petrografi, jeokimya ve hidrotermal alterasyon incelemeleri de bu görevler içinde öncelikli ve önemli olanlardır. JEOFİZİK çalışmalar ise son yıllarda çeşitlenen ve gelişen farklı jEOFİZİK ölçü ve veri işleme teknik ve yöntemleri ile jeotermal kaynak arama-geliştirme-işletmelerinin her aşamasında çok başarılı sonuçlar verebilmektedir. Üç boyutlu sismik modelleme, mikrodeprem izleme ve değerlendirme, mikrogravite, manyeto tellürik, vb teknikler jeotermal çalışmalarının vazgeçilmez araçları olmuştur.

Ülkemizde bu güne değin bilinçsiz olarak kendiliğinden gelişen bir strateji uygulanmıştır: Her sıcak su kaynağının çevresinde bir kaç gez jeoloji haritalaması yapılmış, buralarda jEOFİZİK özdirenç ölçümleri yapılmış, su kimyası verilerinden olası rezervuar sıcaklığı hesaplanmış, başarılı ya da başarısız bir iki sondaj yapılmış ve saha on yıllarca terk edilmiş, bir yatırım yapılmamıştır. Ya da yeterli arama çalışmaları yapılmadan ısıtma projeleri hazırlanıp uygulanmış ve aşırı çekimle sahalar zarar verilmiştir.

Şimdi, jeotermal kaynaklara olan ilgi de, tehlikeler de artmıştır. Bu nedenle, doğru ve verimli bir stratejinin tasarlanması ilgili bütün taraflara benimsetilmesinin zamanıdır. Bu stratejinin ilk adımı, öncelik ve kullanım alanlarına verilecek ağırlıkların seçilmesi olmalıdır. Menderes Masifi, elektrik üretimini hedef alan projeler için ayrılmalı ve sahalar çağdaş teknik ve yöntemlerle aranıp geliştirilmeli ve

kaynak güvenliğini, sürdürülebilirliğini gözeterak işletilmelidir. Orta ve Doğu Anadolu'daki en genç volkanları besleyen magma odaları da kızgın kuru kaya hedef alınarak yine çağdaş teknik ve yöntemlerle aranıp geliştirilmelidir. Ülkenin öteki jeotermal alanları, Orta ve Doğu Anadolu'daki yerleşimlere yönelik olanları kamu eli ile özendirilerek doğrudan kullanım projelerine açılmalıdır.

Bu çalışmalar, kurulacak yeni ve her dalda uzmanlarla güçlendirilmiş yeni bir kurumu, bir Jeotermal Kaynakları Enstitüsü tarafından yönlendirilmeli, desteklenmeli ve denetlenmelidir.

## 1. GİRİŞ

Jeotermal kaynak kavramının "nesne"si, ISI'dır. Yeraltında varlığı belirlenen ve yeryüzüne çıkarılarak dönüştürülen varlık, "ısı"dır. Bu ısı su, buhar, gaz ya da kızgın kuru kayada yüklenmiş, dolaşıyor, birikmiş ve yeryüzüne çıkıyor olabilir. Çıkarılan ürün bu akışkanlardan biri imiş gibi görünse de, aslında ürün bu akışkanın içinde yüklü olan "ısı"dır. Yani, öncelikle "ısı"nın kaynağının, yayılım ve taşınım yol ve süreçlerinin ve niceliğinin bilinmesi önem taşır. Bu ise, büyük ölçüde yer kabuğunda ve kısmen de kabuk altında gerçekleşir ve doğrudan jeoloji bilgisine ilişkin, yerbilimleri yorumunu gerektirir bir olgu demettir.

Jeotermal kaynağı asıl olarak niteleyen "ısı"nın yanında, ikinci önemli bileşen ısı taşıyan akışkanda yüklü "basınç"tır. Isı yüklü akışkan çoğu durumda bu basınç sayesinde yeryüzüne ulaşabilmektedir. Basınç, sistemin dengesinin; rezervuarın ne düzeyde beslenebildiğinin; sistemin tükenme sürecine girip girmediğinin göstergesidir. Basınç, jeotermal akışkanın kimyasal dengesinin, geri dönüşmez tepkimelerin ve çökme ya da çözünmelerin olup olmayacağına da yöneticisidir. Jeotermal sistemlerde basıncı oluşturan da, değişimini yöneten de öncelikle hidrolik, sonra termodinamik ve ikincil olarak ta gaz kimyasına ilişkin kurallardır.

Jeotermal kaynağın üçüncü önemli niteliği de kimyasal bileşimi ve bunun denge koşullarıdır. Jeotermal ısıyı yüklenmiş olan akışkan hem çözünmüş katılar ve hem de gazlar açısından zengin ve kararsız dengeler altındadır. Bu bileşenlerin türleri ve akışkanın değişken ısı ve basınç koşullarına bağlı olduğu kadar, yan kayanın türüne, geçirimsizliğine ve alterasyon durumuna da bağlıdır; bunlar değiştiğçe bileşim de değişir. Bu bileşim, jeotermal sahalarda birkaç bakımdan önem taşır. Öncelikle, üretim sürecinde yapılacak yapılar buna göre tasarlanmak zorundadır. Üretim ile değiştirilen ısı-basınç koşullarında çökme/kabuklaşma, korozyon, vb süreçler, bu tasarımlarda göz önüne alınmayı gerektirir ve bunun ne kadar doğru yapıldığı da işletmenin sürdürülebilirliği ve ekonomikliğini etkiler. Yine, ısının jeotermal akışkandan alınması ve dönüştürülmesi sırasında da, gerek gaz ve gerekse çözünmüş katı bileşenleri işletmenin sürekliliği ve ekonomikliğini etkiler. Bu nedenle de, tesisat ve donanımın tasarım ve yapımında göz önünde bulundurulmayı gerektirir. Isı yükü kısmen ya da bütünü ile alınmış olan akışkanın jeotermal rezervuara geri basılması, dışarı atılması ya da başka amaçla kullanılması durumunda da, gerek gaz ve gerekse çözünmüş katı bileşenler işletmenin süreklilik ve ekonomikliğini etkiler. Bu nedenle, belli bir bileşime göre tasarlanıp yapılmış donanım ve işletme süreci, çıkarılacak akışkandaki kimyasal bileşim değişimlerine karşı çok duyarlıdır. Bu değişikliklerin öngörülmesi ve doğru yönetilmesi gereklidir.

Jeotermal ısının bir kaynağa dönüşebilmesi için bir aracı gereklidir. Çoğu durumda bu, doğal akışkandır: yeraltısuyu ve gazdır. Ancak, bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için bu akışkanların yer kabuğunun içinde dolaşabilmesi gerekir. Dolaşabilsin ki kabuğu oluşturan kayalardaki ısıyı kendi üzerine alsın ve kaya ortamında iletilebildiğinden daha hızlı ve fazlasını yeryüzüne taşıyabilsin. Bu dolaşım, kaya ortamında akışkan dolaşımına elveren bir geçirimsizliğin varlığını gerektirir. Bu ise, hemen her durumda ikincil, çatlak geçirimsizliği ile sağlanır. Yerkabuğunun uzak ya da yakın geçmişinde etkisi altında kaldığı tektonik gerilmelerle oluşan her türlü yapısal süreksizlik, eklem, dilinim, yapraklanma, tabaka, makaslama, fay, sürüklenme ve paralanma, düzlem ve zonlarının oluşturduğu birbiri ile ilintili ağlar bu geçirimsizliğe olanak sağlar. Bunların tanınması, rezervuarın bilinmesi, üretken zonların yer ve özelliklerinin doğru biçimde belirlenebilmesi ve kaynağın doğru

modellenebilmesi açısından yaşamsal önem taşır.

Jeotermalden söz edildiğinde farklı bileşenleri olan ve her bir bileşenin değişkenlik içinde bulunduğu, kararsız dengeye sahip bir sistemden söz edilmiş olur.

## 2. JEOTERMAL SİSTEMLER, JEOLOJİ ORTAMI VE JEOFİZİK BELİRTİLERİ

Yerbilimlerinin nesnesi yer kabuğu, bunu oluşturan kaya birimleri, bunların bileşimi, duruşu; yapısı, değişim süreçleri, geçmişleri ve ayrışmalarıdır. Yerbilimleri ve mühendisliğinin çalışma teknikleri ise, gözlem, ölçüm, örnekleme, yerinde deney, laboratuvar deneyi ve ölçümlerdir. Yer bilimcilerin ve mühendislerinin kullandığı yöntemler ise usa vurum, kıyaslama, veri işleme, çıkarsama, istatistik, izleme ve tahmindir. Bunların tümü jeotermal mühendisliğindeki yer bilim çalışmaları için de geçerlidir.

Jeotermal sistemler, ısı yayılım ve zenginleşmesine elveren kaya türleri ve yapısal ortamların varlığını gerektirir. Bu sistemlerin, ille de ısı kaynağının bulunduğu yerde oluşmadığı bilinir. Bu nedenle, ısı kaynağı ile bu sistemlerin bulunduğu yer arasında dolaysız bir ilişki ve yakınlık olması zorunlu değildir. Önemli olan bölgesel ısı akısının yüksek olduğu, kütleli ısı taşınımının görüldüğü, ya da ısı çevrimine elverişli jeolojik yapılarının, katmanlanma ya da zonların olduğu yerlerin bulunmasıdır.

### 2.1. Jeotermal Ortamlar, Kaya Türleri ve Jeotermal Sistemler

Volkanitler, her şeyden önce oluşumları sırasında kabuğun üst düzeylerine kütleli ısı taşıdıkları için jeotermal olanaklar sağlar. Bunun yanında, özellikle strato volkanlar, farklı geçirimsizliğe sahip ürünlerinin ardalanması ve karmaşık iç yapıları ile jeotermal sistemlerin yerleşimine elverişli ortamlar sağlar. Patlama indisi yüksek olan asit bileşimli magmatik etkinliklerde karşılaşılan parçalı volkanik kayalar, breş ve tüfler, hele ignimbrit akıntılarının yayıldığı yöreler, hem görece olarak sığ magma odalarından türemeleri, hem bu magmanın bazik olanlara göre çok daha sıcak, daha çok ısı yüklü oluşları ve hem de farklı ilksel geçirimsizliği olan katmanların ardalanması istiflerinden kurulu olduğu için jeotermal sistemlerin oluşmasına elverişli yöreleri sağlar. Buna karşılık, kaya ortamlarının önce volkan etkinliği sırasında uçucu bileşenlerin etkisi ile gelişen pnömatolitik; daha sonra da, sıcak akışkanların etkisi ile gelişen hidrotermal alterasyonları kaya birimlerinin geçirimsizliklerinin azalmasına neden olarak, bu ortamları akışkan dolaşımına, dolayısıyla jeotermal sistemlerin yerleşmesine elverişsiz de kılabilir. Bu nedenlerle, özellikle genç volkanik etkinliğin görüldüğü bölgeler jeotermal aramalar için de ilginçtir.

Tortul birimler, çökdikleri havzaların niteliğine bağlı olarak farklı geçirimsizliğe sahip ortamların ardalanmasından kurulu ise, jeotermal sistemlerin oluşumu açısından ilginç olabilmektedir. Kuşkusuz bu kaya türleri ısı açıdan anlamlı bir hedef değillerdir. Üstelik biriktikleri havzalar, çoğu zaman yer kabuğunun çöküntü kuşaklarında olduğu için eşsıcaklık yüzeylerinin derine doğru büküldüğü, kabuğun üst kesimlerinin görece olarak soğuduğu, düşük sıcaklık anomalilerine konudur. Bu açıdan tortul birimlerden kurulu yöreler aslında jeotermal sistemlerin oluşumu açısından olumsuzdur. Ne var ki, yapısal jeoloji nedeniyle, yapısal süreksizlikler boyunca derinlerden hızla yükselen akışkanlar varsa bunların geçirimsiz katmanlarda yayılabilmesine ve iki geçirimsiz katmanın arasında kalan bir geçirimsiz katmanın içinde ısı çevrimi hücrelerinin oluşumuyla da, jeotermal sistemlerin oluşumu için çok elverişli ortamlar sağlayabilirler. Tortul birimlerin, jeotermal sistemlerde yüklendikleri en tipik işlev bir örtü katmanı oluşturarak ısı kapanmasına yardımcı olmalarıdır.

Metamorfitle, jeotermal sistemlerin oluşumları açısından, hele ülkemizde önemli bir yere sahiptir. Metamorfik kuşakların, başka yerlere göre iki kata kadar daha yüksek ısı akısına sahip olduğu bilinmektedir[1]. Özellikle, görece olarak genç, örneğin Tersiyer'de oluşan metamorfizma ortamları, yüksek ısı akısı ile özgündür. Dahası, metamorfizma sonrasında bu masifler hızla yükseldikleri ve aşınma ve sıyrılmaya faylarıyla tüketildikleri için daha derinlerdeki daha sıcak kesimleri yeterince soğuyamadan yüzeye yaklaşmakta ve ısı gradyanı yükselmektedir. Bu nedenle, bu tür masiflerde

görel olarak sığ derinliklerde yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Bu tür kaya ortamları ilksel olarak yeterince geçirimli olmamakla birlikte, masifin yükselmesine eşlik eden sıyrılma fay zonları ve oluşan graben fayları boyunca oldukça yüksek ikincil geçirimsizlik kazanarak ta jeotermal sistemlerin gelişmesine olanak sağlarlar. Üstelik metamorfik kayaların çoğu, hidrotermal alterasyonlarla geçirimsizleşmekten çok, geçirimsizlik kazanacak şekilde etkilenir. Bu da, metamorfik masiflerde jeotermal sistemlerle daha sık karşılaşılmasının nedenlerinden olmaktadır.

Yeşil kayalar, okyanus sırtlarında oluşmuş ve dalma batma zonlarında değişmiş ve karılmış olmaları nedeni ile ısı kaynakları ile bağı kopmuş, çoğu durumda geçirimsiz ve giderek geçirimsizleşen, tektonik süreçlerden jeotermal sistemlerin oluşmasına hiç te yatkın olmayan yapısal öğeler edinmiş olma özellikleri ile buldukları yerlerde jeotermal sistemlerle pek karşılaşılmayan kaya türleridir.

## 2.2. Magmatik Etkinlik ve Jeotermal Sistemler

Bir jeotermal sistem tanımlanırken genellikle yakınında bir ısıtıcının, magmatik ya da volkanik ısı kaynağının varlığı düşünülür. Bunun için, bazen bölgesel jeoloji bilgileri de zorlanarak, yüzeyde bir belirtisi olmasa da, derinde bir magma odağı varsayılır.

Kuşkusuz magmatik etkinlik, ister derin sokulumlar, isterse yüzeydeki volkanik etkinlikler olsun, yerkabuğunun sığ kesimlerine kütsel olarak olağanın üzerinde ısı taşır. Bu nedenle, birçok jeotermal sistem genç plütonların yakınında, ya da genç volkanların çevresinde oluşmuştur. Kabuğun sığ kesimlerine sokulan magma ile kütsel olarak taşınan bu ısı, o derinlikler için bir sıcaklık anomalisi oluşturmakta, eşsıcaklık eğrileri yukarı doğru bükülmekte ve buralarda sıcaklık gradyeni yükselmektedir. Bu sıcaklık anomalisinin olduğu bölgelerde yeraltısuyunun derince dolaşımına elverişli yapısal süreksizlikler de varsa, yerel ısı taşınması ve çevrimleri ile jeotermal sistemlerin oluşmasına da neden olurlar. Ancak, unutulmaması gereken şey, bu ısı anomalilerinin de tarihsel bir olgu oluşu, söz konusu magma sokulumlarının da soğuma sürecine uyruk olduğu ve belli bir süre sonra kabuğun bu kesiminin bir örnek bir sıcaklık dokusuna kavuştuğudur. Bu nedenle, bir yörede görülen volkanik ya da magmatik ürünler, yaşları sorgulanmadan ısı kaynağı olarak algılanamaz. 15 milyon yıl önce olmuş bir Miyosen volkanik etkinliğinin bugün de ısı kaynağı olması olasılığı azdır. Bunun gibi, berk kabuğun dar yarıkları boyunca derinlerinden yükselebilen ve görel olarak daha düşük sıcaklıklı olan bazaltik bileşimli magma boşalmalarının değil, kabuğun sığ derinliklerindeki magma odalarına yerleşmiş, uçucuları zengin ve görel olarak daha yüksek sıcaklıklı asit bileşimli magmatik etkinliklerin ısı kaynağı olabileceği unutulmamalıdır.

## 2.3. Yapısal Jeoloji ve Jeotermal Sistemler

Yerkabuğunda bir jeotermal sistemin oluşmasını en dolaysız etkileyen ve yönlendiren olgular yapısal jeoloji olgularıdır. Isı akısının yüksekçe olduğu bir bölgede de bulunulsa, ancak yüksek geçirimsizlik varsa, yani kırıklı ve kırıkları sistemli olarak birbirleri ile bağlantılı zonlar varsa, derinlerdeki yüksek sıcaklıklı zonlardan ısı yüklenip hızla sığlara taşıyan ve bir katman ya da cepteki çevrim hücrelerinde yüksek sıcaklıkların birikmesini sağlayan akışkanlar, gereğince dolaşıp bu işlevlerini yerine getirebilir.

Öncelikle bu akışkanların derinlere inip hızla yükselebilecekleri büyük fayların varlığı önemlidir. Hele farklı dönemlerde oluşmuş, farklı yönelmeli fayların kesiştiği zonlar, birkaç aşamadaki kırılanma üst üste bindiği için, bu dolaşıma büyük kolaylık sağlar. Bazen bu farklı kırık sistemlerinden biri yüzeyde izlenemeyebilir, gizli de kalabilir. Ancak, bölgesel jeoloji bilgileri ve özellikle de jeofizik ölçülerle bunların varlık, duruş ve yerleri öngörülebilir.

Bunun yanında, sıcak akışkanların içlerinde dolaşıp birikebilecekleri ortamların oluşması açısından uygun kaya birimlerinin yaygın bir çatlak geçirimsizliği edinebilecekleri şekilde gerilmeye uğramış olmaları da jeotermal rezervuarların yerleşmesi için büyük olanaklar sağlar. Örneğin, büyük metamorfik masiflerin yükselişlerine eşlik eden sıyrılma fayları, yüz metre mertebesinde kalınlığa sahip yataya yakın duruşlu geçirimli paralanma zonlarını; çekme gerilmesi ortamında oluşmuş olan graben

fayları, düşeye yakın duruşlu, aşırı geçirimli breşleşme zonlarını; büyük yanal atımlı faylar, düşey duruşlu önemli breşleşme zonlarını; makaslama gerilmesi altında oluşmuş zonlar ise, içinde oluştukları kayanın özelliklerine göre geçirimsiz yanal süreksizlikler ya da geçirimli zonları oluşturabilmektedir. Bu açıdan yapısal süreksizlikler, eski mi yeni mi güncel mi oldukları, uzanımları, derinlikleri, paralanma zonu kalınlığı, bu zonda geçirimlilik ya da geçirimsizleşme oluşup oluşmadığı, başka zonlarla kesişip kesişmediği, vb açılardan ayrıntılı olarak incelenmeyi gerektirir. Bu yapısal süreksizliklerle oluşan horst, graben, antiklinal, monoklinal, vb yapıların tanınması ve uygun bir biçimde modellenmesi de, sıcaklık yoğunlaşmasını sağlayan ısı çevrimlerini kestirmek, rezervuar geometrisini anlamak ve saha sınırlarını öngörmek açısından önemlidir.

### 3. ÜLKEMİZDEKİ JEOTERMAL ALANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Ülkemizdeki jeotermal sahaların dağılımı, önceki bölümde söylenenleri doğrulamaktadır. Bu dağılımın öncelikle genç ve bölgesel ölçekli yapısal çizgilerin üzerinde sıklaştığı, hele genç tektonik ile Tersiyer Volkanikliği ya da Metamorfizması'nın üst üste bindiği bölgelerde iyice yoğunlaşmakta olduğu dikkati çekmektedir. Yine de, ülkenin değişik bölgelerinde karşılaşılan jeotermal sistemlerin birbirlerinden kökten ayrılıkları olduğu; bir başka deyişle de, belli bölgelerde karşılaşılan alanların kendi aralarında ortak özelliklerinin olduğu açıktır. Ülkemizdeki jeotermal alanları bölgesel öbekler içinde gözden geçirmek yerinde olacaktır.

#### 3.1. Ege Kıyı Kuşağı

Ege kıyı kuşağı, iç bölgelerdekilerden farklı özelliklere sahip, Seferihisar, Çeşme, Balçova, Aliağa, Dikili, Bergama, Edremit, Tuzla ve Kestanbol gibi bir dizi jeotermal alan içerir. Bunlar, genellikle düşük-orta ısı yüklü (entalpili) sahalardır[2].

Seferihisar Jeotermal Alanı, Seferihisar Horstunun GD kenarında çekme gerilmesi ortamında oluşmuş olan graben ve horstları sınırlayan normal faylarda gelişmiştir[3]. Akışkanın bileşimini deniz suyuna yaklaştıracak oranda sıg su katkısı bulunduğu anlaşılmaktadır.

Balçova Jeotermal Alanı, Seferihisar Horstu'nun kuzey kenarındaki Agamemnon Fayı olarak anılan D-B gidişli ve diri bir fay zonunda yer almaktadır. Bölgenin tektonik gelişiminin günümüze kadar sürdüğü, Neojen çökelleri ile birlikte bütün eski temelin yakın zamanda da yükselmiş oluşu ve Batı Anadolu'daki graben sistemi ile birlikte İzmir Fayı'nın da oluşumu ve İzmir Körfezi çöküntü havzasının oluşumundan anlaşılmaktadır. Sondaj verileri yorumlanarak alüvyon kalınlığının yanal değişimi incelendiğinde sahanın Kuvaterner boyunca diri tektonik süreçlerden etkilendiği ve ana fayın önünde yükselen ve alçalan bazı blokların oluştuğu anlaşılmıştır[4]. Jeotermal sistem, Flişin faylarla paralandığı dar ve düşeye yakın zonlarına kısıtlıdır. Özel bir kaya türü ya da bir katmanda birikimi söz konusu değildir. Çeşme Jeotermal Alanı, Çeşme Yarımadası'nın kuzey kıyısında deniz kıyısında bulunmaktadır. Yine normal faylarla sınırlanmış horstlarda yüzeyleyen Triyas yaşlı kireçtaşlarından boşalan[2] sıcak sular, deniz suyu bileşimine yakın kimyasal bileşimlidir. Kireçtaşının karstik ve bu sistemin denizden beslenmekte olduğu anlaşılmaktadır.

Aliağa Jeotermal Alanı, Tersiyer yaşlı Soma Formasyonunun volkanit, volkanotortul ve tortul as birimlerinden oluşan bir çökel istifi ve bunu kesen genç ve güncel normal faylarla biçimlenen graben ve horstlardan oluşan bir yapısal çatı içinde yer almaktadır[2]. Su, bu genç faylarla derine süzülen deniz suyunun ısınarak yükselmesi ürünü olduğu anlaşılmaktadır.

Edremit Çevresi Termal alanları, genç faylarla biçimlenen genç bir çöküntü havzası olan Körfez'in yapısal süreksizliklerle derinlere ulaşabilen sularının ısınarak yükselmesi ile oluşmaktadır[2].

Tuzla Jeotermal Alanı, Çanakkale Yarımadası'nın GB ucunda Miyosen volkanik etkinliği ile biçimlenmiş bir yörede, Kazdağ Masifinin bu GB kenarında, kabaca K-G ve KB-GD uzanımlı iki kırık sisteminin kesiştiği yerde bulunmaktadır. Volkanik etkinlik Miyosen'de çalışmış olan 3 strato volkanı merkez alarak boşalan lav ve lav breşleri ile bunlardan bugün Assos-Midilli arasında kalan kesimdekenden boşalan büyük hacimdeki kül akıntısı ürünleri, ignimbritler üretmiştir. Bu püskürmeler sonunda sözü edilen yerde büyük bir kaldera çöküntüsü, Behram Kalderası oluşmuştur. Jeotermal alan ve bunun kuzeyinde, kabaca K-G doğrultusunda da, daha genç bir dönemde, Pliyosen'de dasit-riyolit bileşimli ağdalı lavların oluşturduğu bir dom dizisi yerleşmiştir. Isı taşınımının bu domların yerleştiği yapısal süreksizlik boyunca ve yüzeye taşınan magmanın da yardımı ile kütleli yolla olmuş ve olmakta olduğu düşünülmektedir. Suyun kimyasal bileşimi Na-Cl egemenliğinde ve öteki bileşenler ve atomik oranları açısından son derece alışılmışın dışındadır. Yarımada'nın batı kıyısı açığındaki bir çöküntü havzasında biriken kalın çökel istifinin diyajenezisi sırasında tutulan ve killerin seçilmiş zenginleşmeye uğrattığı bir formasyon suyundan geliyor olması çok olasıdır[5].

Özetlenecek olursa, Ege kıyı kuşağında karşılaşılan jeotermal alanlar yapısal açıdan sistemli bir biçimde kırılanmış olmanın ve çoğundaki akışkanın değişkenmiş te olsa deniz suyu kökenli olmasının dışında birbirinden farklı özellikler göstermektedir.

### 3.2. Menderes Masifi ve Batı Anadolu Grabenleri

Menderes Masifi özgün jeoloji yapısı ve evriminin yanında, çok sayıda genç grabenle kesilmiş oluşu ile de ülkemizde en yaygın ve yüksek akılı ısı anomalisini temsil etmektedir. Sahaların tümü orta-yüksek entalpili, 120-240°C sıcaklıklı rezervuarlarda gelişmiştir. Rezervuarlar genellikle metamorfik temel farklı litolojilere sahip kaya birimlerinde yerleşmiştir. Temel'in tipik bir özelliği, aslında alt katmanlarda yer alan gnaysların, bir sürüklenme zonunun üzerinde aktararak kesitin üst düzeylerine yerleşmiş olmasıdır. Çok incelenen sahalarda görüldüğü kadarı ile grabenin içinde, bu Temel'in üzerinde değişik litolojilere sahip Miyosen yaşlı tortullardan oluşan bir kesit bulunmaktadır ve bu istifin içinde de sıg jeotermal rezervuarlar gelişebilmiştir. Yine, yaygın bir başka özellik, bu Miyosen çökellerinin, bugünküne göre vevre duran ve genellikle KD-GB ve KB-GD uzanımlı çekim faylarıyla sınırlanmış olan eski grabenleri dolduracak şekilde birikmiş olmasıdır. Yaygın ve ortak bir başka özellik te, gerek Miyosen dönemi ve gerekse bugünkü graben yapılarının yalın olmayışı, düşey yer değiştirmenin basamaklı uzanan bir demet fayla paylaşılmasının yanında, grabenlerin içinde antitetik fayların da gelişmiş olması ve horst-graben-horst-graben dizileri ile karşılaşılabilmektedir. Üstelik, eski ve yeni grabenlerin üst üste binmesi ve bunlara ilişkin yapısal öğelerin genç çökellerle örtülmüş olması da, yapıyı daha karmaşıklaştırmaktadır.

Bu geniş bölgedeki yüksek ısı akısının kökeni ve yerel jeotermal sistemlerin oluşma ve birikme mekanizmaları, öncelikle Menderes Masifi'nin evrimi aydınlatılarak anlaşılabilir.

Menderes Masifi Metamorfikleri, iki ana birime ayrılmaktadır: "Çekirdek" ve "Örtü". Çekirdek, ileri derecede başkalaşmış şistler, leptit gnayslar, gözlü gnayslar, metagranitler, migmatitler ve metagabrolardan kuruludur. Örtü ise, mikaşist, fillit, metakuarsit, metabazit, metakoyugranit, kloritoyit-kiyanit şist, metakarbonat ve metaolistostromdan oluşmaktadır.

Masif çok aşamada başkalaşmıştır. Önce, Masifi'nin yaşları 585-1870 milyon yıl arasında değişen en yaşlı kayaları Prekambriyen-Kambriyen sınırında Pan Afrika kıta-kıta çarpışmasının yarattığı koşullarda üst amfibolit-granülit fasiyesinde başkalaşmıştır. Bu başkalaşıma daha sonra eş zamanlı ya da artçı başkalaşmış granitoyitlerin 550 milyon yıl önce yerleşmesi eşlik etmiştir. Daha sonra örtü dizisinin Paleozoyik birimleri birikmiş, Varisk başkalaşımı olmuş ve Triyas yaşlı koyugranitler yerleşmiştir. Bu kaya birimlerinin yaşı 240-230 milyon yıl olarak saptanmıştır. Örtü istifi olarak Mesozoyik-Tersiyer(?) yaşlı birimler birikmiş ve çifte "Tersiyer Başkalaşımı" oluşmuştur. Paleozoyik ve Mesozoyik dizilerinin arasında bir uyumsuzluk bulunmaktadır. Menderes Masifi'nin hem çekirdeği ve hem de örtüsündeki diziler, Neotetis Okyanusu'nun kapanışı ve Anatolid-Torid platformunun İzmir-Ankara Zonu'nun altına, kuzeye doğru dalmasıyla ilintilendirilen iki yanlı bir Tersiyer başkalaşımına uğramıştır. Yüksek Basınç Başkalaşımı epidot-mavi şistten eklojite kadar yayılan koşullarda geçmiş ve

ardından üst Eosen'de "Ana Menderes Başkalaşımı" denilen Barrovien türü başkalaşım gelmiştir. Bu orta basınçlı son başkalaşımın son aşamalarındaki sıkışma gerilmesi ortamı, içsel katlanmaya ve çekirdek dizilerinin örtü dizilerinin üst düzeylerinin üzerine bindirmesine neden olmuştur. Daha sonra yayılma tektoniği ortamı, eş zamanlı granitlerin yerleşimi, sıyrılma faylarının gelişmesi, yükselme ve Menderes Masifi'nin tüketilmesi süreçleri yaşanmıştır. Alt Miyosen'de Batı Anadolu'da yerleşen yayılma tektoniği ortamı Menderes Masifi'nin yükselme ve tüketilmesine neden olmuş ve buna dev sıyrılma fayları ve paralanma zonlarının oluşumu eşlik etmiştir. Yaşı 19,5 milyon yıl olarak belirlenen eş dönem granitleri örtü dizisinin içine bu dönemde yerleşmiş ve ana kayada dokanak başkalaşımına neden olmuştur. Yükselme ve orta masifin (Kiraz-Ödemiş As Masifi) tüketilmesi sırasında dev sıyrılma fayları ve gevrek ve kırılğan ortamda 100 m'ye varan paralanmış zonlar oluşmuştur. Bu olayların ardından, gerçekten gevrek koşullar altında, genel olarak D-B uzanan ve hem aralanma zonlarını ve hem de bu kristalen temeli örten Neojen çökellerini kesen normal graben fayları oluşmuştur.

Kabuğun böyle hızla yükselip tüketilmesi, yüksek ısı akısının yanında metamorfik kayaların bazı zonlarda, şiddetle paralanması ve yaygın bir geçirimlilik kazanmasına neden olması ile de jeotermal sistemlerin oluşumunu olumlu etkilemiştir.

Batı Anadolu'da uzunlukları 100-150 km ve genişlikleri 5-15 km arasında değişen on kadar D-B uzanımlı graben bulunmaktadır. Bunların incelenmesi, alt-orta Miyosen'de, D-B çekme gerilmesi altında oluşan K-G uzanımlı faylarla sınırlanmış karasal havzaların içinde kalın volkano-tortul kayaların biriktiğini ortaya koymaktadır. Bu dönemde bütün Batı Anadolu, birbiriyle bağlantılı göllerle kaplanmıştır. Bu ilk aşamada yerleşen magmatik ve volkanik kayalar yüksek potasyumlu, kalkalkalin ve melez bileşimlidir. Üst Miyosen sırasında K-G açılma başlamıştır. Bu sırada merkezdeki Bozdağ'da dağılma fayları oluşmaya başlamış ve Bozdağ yükselmiştir. Üst Miyosen-Alt Pliyosen sırasında sıçramalı gelişen alkali bazalt boşalmaları olmuştur. Alt Pliyosen'in sonlarında kısa bir süre K-G açılma yavaşlamış ve bölgesel bir aşınma yüzeyi gelişmiştir. K-G açılma yeniden başladığında şimdiki graben sistemi oluşmaya başlamıştır.

Grabenleri sınırlayan D-B uzanımlı faylar daha önceden oluşmuş olan K-G grabenlerin sürekliliğini kesmiş onları askıda bırakmıştır. Başkalaşım ve granit yerleşimi için örneğin Kazdağ'da hesaplanan basınç, metamorfik kayaların 24 My önce makaslama zonu boyunca hızla 14 km'den 7 km'ye yükselip tüketildiğini göstermektedir. Birgi ve Tire yöresinde karşılaşılan eklojitlerin en az 40 km derine gömüldüklerini gösterecek şekilde ortalama 13 kb'lık basınç ve 650°C sıcaklığa ulaşmış oldukları belirlenmiştir. Bu ise, kabuğun tektonik yolla kalınlaşması, kendi üzerinde katlanmayla oluşabilir. Kabuğun o zamandan beri 40 km yükselmiş ve değişik yollarla tüketilmiş olduğu açıktır. Trakya'dan Kuzey Akdeniz'e kadar olan kesimde yaşanan kabuk kısalmasının 200 km'den az olmadığı ve kuzeyde üst Eosen-Oligosen'e, güneyde ise üst Miyosen'e kadar sürdüğü sonucuna varılmaktadır.

Menderes Masifi'nin temsil ettiği kıtasal kabuk bu zaman aralığında kalınlaşarak 200 km kadar kısalmış ve o günden bu güne kadar geçen sürede de, bu sürecin sonunda 40 km derine dalmış olan kabuk kesimleri bugün yüzeye ulaşacak şekilde yükselmiştir. Bu yükselme sırasında Masif'in önemli bir bölümü, bir yolla tüketilmiştir. Bu tüketimde en etkin süreçlerden biri masiflerin yükselmeleri sırasında kaya kesitinin üstteki kalınca bir diliminin duraylılığını yitirip, altındaki küteden sıyrılarak yer değiştirmesi ve bu yolla oluşan makaslama gerilmesi kaynaklı yapısal sistemler, "sıyrılma kuşağı" (detachment zone) olmuştur. Aşırı derecede kırılanmış, kalın paralanma zonlarının oluşmasına neden olabildiği için, jeotermal sistemlerin incelenmesinde böylesi çok kırıklı zonların da iyi tanınmasının yararı açıktır.

Benzerleri arasında üzerinde daha çok çalışılan ve karşılıklı kıyaslamalarla daha iyi anlaşılmasına çalışılan böylesi iki metamorfik masif : ülkemizdeki "Menderes Masifi" ve ABD'ndeki "Basins and Range"dir[7]. Menderes Masifi Metamorfitlelerdeki grönaların büyüme aylarında Th-Pb iyon mikroprob ölçümlerine göre[8] sıyrılma zonunun kabuğun derinliklerindeki kaya kesitlerini Pliyosen'den beri etkin biçimde tükettiği belirlenmiştir. Buna göre, çok geniş bir alanda kabarıp yükselen kristalen masifin çekirdeği duraysızlaşıp yataya yakın, en çok 20° kadar eğimli büyük faylar boyunca, örtü birimlerinin üzerinde kaymaktadır. Menderes Masifi'nde gözlemlenen bu tür başka yapılar bulunduğu ilişkin çalışma sonuçları da yayınlanmıştır[9]. Metamorfik kayaların kalın zonlar durumunda paralanmış oluşu

ve bu zonların jeotermal akışkanların dolaşımı için uygun ortamlar oluşturduğu kuşkusuzdur.

Gerek Miyosen dönemindeki çökelleri yönlendiren, Masif'in dışlarında K-G ve içlerinde de KB-GD/KD-GB doğrultulu faylarla sınırlanan eski grabenler; ve gerekse, Pliyosen sonrası D-B faylarla sınırlanan şimdiki grabenlerin de, Menderes Masifi'nin kabarması, domlaşması sonucunda dış çeperinde ortaya çıkan çekme gerilmeleri ile oluşmuş olduğu da açıktır. Belli ki, eski ve yeni grabenlerin oluşumu, kabarma yakın zamana değin sürmüştür. Şimdi ise, grabenleri sınırlayan fayların üzerinde süregelen deprem etkinliği bu fay mekanizması içindeki gerilmelerin etkinliğinin sürdüğünün en açık belirtisidir [10].

Ancak, bu sürecin günümüzdeki etkinliğine en görünür kanıtlar yörenin yer biçimi özelliklerinden çıkarılabilir. Bilindiği gibi Bozdağ Yükselimi'nin her iki yanındaki grabenler asimetriktir. Gediz Grabeni'nin güney kenarı daha sarp, Büyük Menderes Grabeni'nin ise kuzey kenarı. Menderes Irmağı, sürekli olarak Graben'in güney kenarına göçmektedir. Irmak ile Graben'in kuzey kenarı arasındaki alüvyon yüzeyi yatay değil, güneye eğimlidir. Vadi'nin bu yanında Masif'te açılmış yan vadilerden boşalan çayların ağızlarında hep birikinti konileri oluşmuş ve oluşumunu sürdürmektedir. Graben'in kuzey kenarındaki faylar, sarp yamaçlar ve üçgen biçimli yüzeylerle tazeliğini ve belki de diriliğini göstermektedir. Açıkçası, Menderes Masifi'nin kabarması ve bunun sonucunda oluşmuş gerilmesi sürmektedir.

Menderes Masifi'nin yakın dönem ısı(termal) geçmişi yeterince bilinmemektedir. Menderes Masifi yükseldikçe ve daha önce daha derinde iken belli bir ısı dengeye ulaşmış, o derinlik için uygun sıcaklığa kavuşmuş olan katmanları yüzeye yaklaştıkça, aynı hızla soğuyup ısı dengesini koruyabildiği kuşkuludur. Kıtasal kabuğun ısı dengesini ancak  $10^8$  yılda sağlayabileceği yargısının[11] ışığında bakıldığında Menderes Masifi'nin ısı dengesini sağlamak üzere yeterli zamanı bulmuş olamayacağı anlaşılmaktadır.

Menderes Masifi'nin içinde, gerçek anlamda genç ya da güncel bir volkanik etkinlik yoktur. Bu anlamda en tipik volkanik etkinlik Masif'in KD kenarı yakınındaki Miyosen K-G grabenleri ve çevresindeki eski volkanik etkinliktir. Bu yaştaki bir volkanikliğin bugünün ısı anomalilerini açıklayıcı bir yanı, buldukları yöre için bile olamaz. Masifin iç kesimlerinde, örneğin Büyük Menderes Grabeni çevresinde ise zaten eski ya da yeni herhangi bir volkanik etkinlik ürünü ile karşılaşmamaktadır. En genç magmatik sokulum fazının yaşı da yine 19,5 milyon yıl ölçülmüştür[12].

Bu jeoloji çatısı içinde, Büyük Menderes Grabeni'nde Germencik, Aydın, Salavatlı, Kızıldere ve Denizli jeotermal alanları; Gediz Grabeni'nde Salihli Kurşunlu ve Sart, Turgutlu Urganlı ve Alaşehir Kavaklıdere jeotermal alanları; Dikili-Bergama Grabeni'nde Kaynarca ve Dikili jeotermal alanları; ve Gediz-Simav Grabeni'nde de, Simav jeotermal alanı bulunmaktadır.

Her şeyden önce söylenebilecek olan, ayrıca bir ısıtıcı kütle, bir magmatik sokulum ya da genç ya da güncel bir volkanik etkinlik kaynağı olmaksızın da, bu bölgenin her yerinde yüksek bir ısı akısının bulunduğu. Bu yüksek ısı akısının yer aldığı bu bölgede uygun koşullar, akışkanların kolaylıkla dolaşabileceği kırık sistemleri varsa, sıcak su sistemlerinin de oluşabildiği görülmektedir. Gereksinilen bu kırık sistemleri, bir yandan eski ve yeni graben sistemlerinin farklı yönlerdeki normal fayları; bir yandan da, kalın ve bölgesel büyüklükte metamorfit dilimlerinin Masifin hızlı yükseldiği orta kesiminden dışa doğru sıyrılmaya faylarıyla temsil edilmektedir. Ancak, Küçük Menderes Grabeni'nde olduğu gibi ne böylesi sıyrılmaya zonlarının ne de derin graben faylarının gelişemediği kesimlerde yüzeysel suyun derinlere sızamaması ve uzun süre ve derinlerde dolaşamaması nedeni ile olsa gerek, jeotermal sistemler pek görülmemektedir.

Özellikle Büyük Menderes Grabeni'nde jeotermal sistemlerin yerleştiği zonlar güncel D-B Grabenlerinin K yarılarında, Miyosen grabenlerinin gömülü verev fay zonları olmaktadır. Bu bölgedeki sular, çok az ayrıcısı dışında alkali bikarbonat bileşimli, çokça CO<sub>2</sub> içerikli, meteorik kökenli suların yan kaya ile etkileşimi sonunda olgunlaşmış, yükselirken sığ sularla değişik oranlarda karışmış, orta (entalpili) ısı yüklü, 120-240°C arasında değişen rezervuar sıcaklıklarına sahip akışkanlardır.



### 3.3. Orta Anadolu Jeotermal Alanları

Doğu Anadolu'nun güneyden gelen Arap Plakası'nın itkisi ile parçalanıp Anadolu Plakacığını batıya ötelemesi Orta Anadolu'nun yılda 2 cm ortalama hızla batıya hareketine neden olmaktadır. Geç Tersiyer boyunca değişen ötelenme hızları ve Batı Anadolu'daki farklı hareketler, Anadolu Plakacığını Orta Anadolu'da kendine özgü yapılar edinmesine neden olmuştur. Plakayı verev olarak kesen bölgesel boyutta faylar, KB-GD ve KD-GB uzanımlı grabenler, kül akıntısı alanlarından oluşan volkanik platolar ve tipik strato volkanlar bu bölgeyi nitelemektedir. İşte bu çatı içinde dağınık konumda ve farklı özelliklerde sıcak su kaynakları ve jeotermal alanlar gelişmiştir. Afyon, Kapadokya, Kırşehir, Kozaklı, Kızılcahamam, vö as alanlarda böylesi bir dizi jeotermal alan bulunmaktadır.

Afyon çevresindeki jeotermal alanlar Batı Anadolu'dakilere benzer biçimde genç grabenlerde gelişmiştir[13]. Volkanik etkinlik yaşlıdır ve ısının kökeninin bunlara bağlanması pek ussal görünmemektedir. Genç çökellerin altında hep metamorfik Temel yer almaktadır. Sistemler genellikle düşük ısı yüklüdür.

### 3.4. Doğu Anadolu Jeotermal Alanları

Doğu Anadolu bölgesi, jeotermal sistemler açısından, genç ve yaygın volkanik etkinliğe bakılarak beklenebilecek ölçüde, zengin değildir. Nemrut Kalderası, Erciş-Zilan ve Diyardin sahası kayda değer jeotermal alanlar olarak sözü edilebilecek sahalardır.

Üzerinde durulabilecek az sayıda jeotermal alana sahip olan Doğu Anadolu'nun bu durumu jeolojik açıdan yorumu gerektirmektedir. Bölge, Arap Plakası'nın kuzeye hareketi ile zorlanan Anadolu Plakacığını parçalanıp doğuya ve batıya yayılmaya çalıştığı bir kabuk dokusuna sahiptir. Bundan ötürü, KAFZ ve DAFZ'nun doğusundaki alanda kabuğun derince yarıldığı ve magma yükseltilerine olanak sağladığı görülmektedir. Bu, yaygın bir volkanik etkinliğe, Ağrı, Tendürek, Aladağlar, Süphan, Nemrut gibi büyükçe volkanların oluşumuna yol açmıştır. Volkanik etkinlik türleri ve ürünleri de çeşitlidir. Asidik bileşimli magmanın patlamalı etkinliği ve ignimbritik ürünlerin karşısında, Ağrı ve Süphan'da olduğu gibi ara bileşimli lav boşalmaları ve strato volkanlar da, Tendürek'te olduğu gibi akışkan bazik magmanın Havai türü kalkan volkanları da oluşabilmiştir. Kuşkusuz besleyici kanallar ve domların yakın çevresinde kütleli ısı taşınımı ve yerel anomaliler oluşmuştur. Ancak, bütün bu yaygınlık ve çeşitliliğe karşın bölgesel olarak yaygın bir yüksek ısı akısı ortamı gelişmediği anlaşılmaktadır. Isıtıcı(!) yakın çevresini ısıtılabilirken yaygın bir ısı anomalisi oluşmamaktadır. Aynı şekilde, suların derinlere inip ısıdıktan sonra yükselebilmeye elverecek boyutta bölgesel bir kırık sistemi de bulunmamaktadır. Bu nedenle de, ancak yerel kırıkların özellikleri çok elverişli olduğunda birkaç jeotermal alan oluşabilmiş görünmektedir. Bunların yaygın, büyük sistemler oluşturmuş oldukları kuşkuludur. Bütün bunlar, Doğu Anadolu'da jeotermal kaynakların geliştirilmesinin daha çok genç magma odalarını hedef alacak yapay, kışkırtılmış sistemler üzerinde denenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

### 3.5. Kuzey Anadolu Fayı Boyunca Karşılaşılan Jeotermal Alanlar

Kuzey Anadolu Fay Zonu, KAFZ da, bir dizi sıcak su kaynağının bulunduğu dikkat çekici bir kuşak oluşturmaktadır. Doğudan batıya, Erzincan, Çerkeş, Bolu, Düzce, Bursa, Gonen, vb sahalarda bu açıdan tipiktir.

Bu sıcak su kaynakları ile belirlenen termal alanlar hep düşük ısı yüklü sistemlere sahiptir. KAFZ kabuğu boydan boya kesen büyük bir fay sistemidir. Kestiği tüm kaya birimlerini geniş zonlarda paralamaya uğratmıştır. Bu gerilme ortamlarında her türden kaya ile karşılaşılabilir. Yeraltısularının derinlere süzülmesi için gerekli derin geçirimli zonlar bulunmaktadır. Ancak, bu zonlardan yer yer binlerce metre derinlere inebilen suların bile kabuğun bu kesimlerinde kayda değer yükseklikte bir ısı akısı bulunmadığından ulaşılabilen sıcaklıklar genellikle 30-40°C'yi aşmamaktadır. Ancak, bu zon batıya ilerledikçe durum yavaş yavaş değişmektedir.

KAFZ boyunca karşılaşılan sistemler düşük ısı yüküdür. Yerel jeoloji koşulları ne denli elverişli olursa olsun durumun değişmediği görülmektedir. Aynı kuşakta ve aynı koşullarda batıya gidildikçe sıcaklıkların artmakta oluşu dikkati çekmektedir[14].

### 3.5. Doğu Anadolu Fay Kuşağı Jeotermal Alanları

Beklenebileceği gibi benzer koşullara sahip DAFZ'nda karşılaşılan termal sahalarda önceki kuşaktakilerle aynı resim geçerlidir. Bu kuşakta da, hep düşük ısı yüklü alanlar yer almaktadır.

## 4. HİDROTERMAL ALTERASYONLAR

Yerkabuğunun görelî olarak sığ kesimlerindeki kayaların, içlerinde dolaşan ısı yüklü akışkanlarla etkileşmesi sonucu bu kayalarda oluşan kimyasal ve mineralojik faz değişimleri topluca hidrotermal alterasyon olarak adlandırılmaktadır. Feldspatların kaolenleşmesi bunun bir örneğidir. Ayrıca hidrotermal akışkanın kattığı ya da çektiği gereçlerle kayada oluşan değişimler de, örneğin silisleşme de, bu çerçevede düşünülebilir.

Hidrotermal alterasyon süreci yan kayanın kimyasal ve mineralojik faz değişimlerine neden olmanın yanında ortamın fiziksel özelliklerini de değiştirir. Hemen tüm alterasyon örneklerinde renk değişimi görülür. Bu yüzden alterasyonların ilk tanınmasında bu renk değişimi yardımcı olur. Genellikle serisit, kil mineralleri, alunit, kuvars ve karbonatlar gibi açık renkli minerallerin bolluğundan ötürü kayanın altere olmuş kesimleri olmamış kesimlerine oranla ağarmış olur. Alterasyon ürünlerinin oksitlenmesi ise tersi yönde bir renk değişimine neden olur. Klorit, epidot gibi minerallerin oluştuğu alterasyonlarda ise, kaya yeşilin tonlarında renkler kazanmaktadır. Alterasyon sonucunda farklı bileşimli, ilksel olarak farklı renkli olan kayalar aynı alterasyon kuşağında aynı rengi almaya yönelirken, farklı alterasyon kuşakları ise farklı renkleri ile ayırt edilebilmektedir. Altere olan kayaların sertliği genellikle azalır. Bu durum, daha ince bir doku kazanılması ve sertliği az olan mika ve kil minerallerinin çoğalması ile açıklanabilir. İlerlemiş durumlarda kayanın içsel bağları tümü ile yitilir ve gevşek, dağılgan bir kütle oluşur. Tersî durumlar da, söz konusu olabilir. Silisleşmiş kayalarda ise sertlik çok artar. Alterasyon sonucunda kayayı oluşturan dane boyu küçülür. İri kristallerin ya da kırıntıların yerlerini daha ufak alterasyon minerallerinden oluşan bir mozaik alır. Feldspatların yerini kil, alunit, serisit ve benzerlerine bırakması dane boyunu çok küçültür. 1/400 oranında dane boyu küçülmeleri ölçülmüştür. Ancak, dane boyu ne denli küçülürse küçülsün ilksel doku bütünüyle kaybolmaz, izleri seçilebilir. Karbonatlı kayalar genellikle alterasyonla yeniden kristalleşir. Bu durumda, dane boyu artıp ilkel doku kaybolur.

Hidrotermal akışkanlarla yan kayanın etkileşimi, kayaların gözeneklilik ve geçirimsizliklerinde farklı yönlerde değişiklikler oluşturur. Bilinen birçok jeotermal alanda geçirimsizleşmenin geliştiği görülmüştür. Rezervuarda ya da yüzeye yakın yerlerde çökelen kuvars ya da opal, geçirimsizleşmeye neden olmaktadır. Kuvars ve killerin dışında zeolitler ve kalsit altere olmuş olan kayayı daha yoğun ve sert kılan alterasyonla kırılma dayanımını azaltıp ikincil geçirimsizliğin oluşumunu da kolaylaştırabilmektedir. Bunların yanında feldspatların ya da yüksek sıcaklıklarda silisin kemirildiği durumlarda yine kayanın gözenekliliği artmaktadır.

Hidrotermal alterasyon sırasında sıcak akışkanla yan kaya arasında gelişen kimyasal süreçler sonunda yan kayada mineralojik faz değişimleri olmaktadır. Oluşan yeni minerallerin sayısı çoktur. Fakat kil mineralleri, serisit, klorit, kuvars ve feldspatlar en bol bulunanlardır.

Feldspatlar genellikle serisit, kil mineralleri, alunit, vb'ne dönüşürken; kendileri de, albit, ortoklaz, adularya gibi alterasyon ürünü olabilir. Piroksen, amfibol ve biyotit çoğu zaman klorite dönüşür. Epidot, karbonat, pirit, serpantin ve lökoksen de sık karşılaşılan ürünlerdir.

Bazı alterasyon mineralleri her alterasyon ortamında bulunabilirken, bazıları sınırlı koşullarda

oluşabilir; bu nedenle de, alterasyon koşullarının belirlenmesinde kullanılırlar.

Alterasyon sürecinin türü ve şiddeti ile, oluşacak yeni mineral fazları ve bunların dağılımı bir dizi etken ile belirlenir: a) alterasyonun olduğu sıcaklık ve basınç; b) akışkanın bileşimi; c) yan kayanın bileşimi; d) tepkime süresi; e) akışkanın akış hızı; f) geçirimsizliğin çatlaklılığa mı, gözenekliliğe mi bağlı olduğu. Ayrıca sudaki CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S derişimi de ikincil minerallerin türünü belirler.

Yoğun ve geçirimsiz kayalar, yüksek sıcaklıklarda bile çok az altere olur. Çünkü kayaların yeni bileşenlerin eklenmesi ya da var olanların taşınmasına açık olması gerekir. Bu da geçirimsizliği, alterasyonun ön koşulu kılmaktadır.

İncelemeler, alterasyon sürecinde değişik türde kimyasal tepkimelerin olduğunu ortaya koymaktadır: hidrasyon (sululanma) ya da dehidrasyon (suyutirme), katyon ornatımı ve anyon ornatımı. Ornatma süreçlerinde kayaya bir iyon eklenir ya da sıvı fazla taşınır.

Yan kaya alterasyonlarının çoğundaki en önemli ornatma süreci hidroliz, ya da hidrojen ornatmasıdır. Bu süreçte kayaya hidrojen iyonları eklenmekte, buradan moleşdeğer bir baz metal katyonu salınmakta ve çözültideki hidroksil/hidrojen iyon oranı yükselmektedir. Hidrotermal alterasyon yalnız bir süreç değildir. Aynı anda birçok mineral çözülebilir ve hidrasyon ve hidroliz dışında başka tepkimeler de oluşabilir. Ancak, önemli alterasyon alanlarında silikatların hidrolizle çözümlenmesi en önemli süreç olarak belirmektedir.

Alterasyon süreci sırasında çözülti, yan kayada oluşan faz değişimleri ile birlikte yan kayaya bazı öğeleri eklerken, bazılarını da çözüp taşımaktadır. Kimyasal değişimlerdeki karmaşıklık genelleme yapmayı güçleştirirse de, bazı genel olgulara değinilebilir.

Hidrotermal çözültüler kayaya su, silis, kükürt, karbondioksit, potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum, bor, flor, klor, fosfor ve sülfür ve oksit biçiminde çökelen metalleri katar. Altere kayalar, fümeroller ve sıcaqsu kaynaklarından elde edilen kanıtlar, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl ve HF'ün hidrotermal çözültülerde etkin olan önemli bileşenler olduğunu göstermektedir.

Potasyum alterasyonda magmatik ve metamorfik kayalara eklenirken, killeşen alterasyonlarda kayadan eksilir. Serisitleşmede, özellikle serisit, K-feldspatları bozmadan plajyoklazın yerinde oluşması durumunda potasyum eklenmektedir. Sodyum, albitleşme dışında şiddetle azalmaktadır. Kalsiyum da, karbonatlaşma dışında benzer bir eğilim göstermektedir.

Magmatik kayaların alterasyonunda genellikle magnezyum eksilir. Kloritleşmede ise artar.

Demir, değışkendir. Karbondioksit, önemli oranda artmaktadır. Silis, killeşmede yitirilirken; serisitlik kesimlerde kazanılmaktadır.

Altere kuşaklardan propilitik ve K-silikat alterasyonlarında çok az olan baz eşdeğerlerindeki net kayıp; serisitlik ve ileri killi alterasyon kuşaklarında ve silisleşmede büyük değerlere varır.

Hidrotermal alterasyonlara ilişkin verileri sistemleştirmek ve süreçleri daha anlaşılır kılmak için çeşitli sınıflama denemeleri yapılmıştır. Bunlarda ya türümsel, oluşum koşulları ve süreçlerine göre; ya da, betimsel, ürünlerin tanımlanmasına göre sınıflama yapılır. En yaygın nolarak başvuru sınıflamada alterasyon türleri azalan hidrojen ornatımının şiddetine göre sıralanmış ve mineral topluluklarına göre sınırladıkları beş gruba ayrılmıştır: a) ileri killi topluluklar; b) serisitli topluluklar; c) ara killi topluluklar; d) propilitik topluluklar; ve e) potasyum silikat toplulukları.

Bazı alterasyon mineralleri ile birden çok fasiyeste karşılaşılabiliyor olsa da, bazıları yalnızca bir fasiyese özgüdür ve ancak belli bir fizikokimyasal ortamda oluşabilmektedir. Bunlardan yararlanılarak seçilen bazı kılavuz mineral ya da mineral topluluklarının yardımı ile, oluşum koşulları öngörülebilmektedir. Belli bir alterasyon kuşağında montmorillonit varsa ve tipik ise bu kuşaktaki sıcaklığın 150°C'tan az olduğu güvenle söylenebilir; illit ile biraz daha yüksek sıcaklıklarda

karşılaşılabilir; buna karşılık, aktinolit ile karşılaşmış ise bilinmelidir ki sıcaklık 300°C'ın üzerine çıkmıştır. Buradan yola çıkılarak jeotermal alan eldeki verilere göre haritalanabilmekte ve alterasyon zonlarının yeraltındaki yayılımı üç boyutlu olarak modellenilebilmektedir[15] ve bu modelden yola çıkılarak alterasyon sırasında sistemin sıcaklık-basınç-kimyasal denge koşulları öngörülelebilmektedir.

Bunun incelenmesi ile alterasyonun eski mi; yoksa, sahadaki güncel koşullarla uyumlu mu olduğu da belirlenebilmektedir. Hele, alterasyon güncel koşulları yansıtıyorsa bundan prospeksiyonda ve sondaj kuyuları delinirken rezervuarın erkenden tanınabilmesinde yararlanılabilmektedir.

## 5. JEOTERMAL SİSTEMLER VE ÇEVRE

Jeotermal sistemler üretime konu olsun ya da olmasın çevre ile olumlu ya da çoğun olumsuz bir etkileşim içindedir. Bu etkileşimin bir bölümü doğrudan jeolojik ortamı ile yaşanmaktadır.

Jeotermal alanlarda, rezervuardan üretim yapıldığında büyük hacimlerde akışkan yeraltından yüzeye çıkarılmış olmaktadır. Bunun aynı miktarda yenilenememesi durumunda rezervuar basınçlarında düşme yaşandığı pek çok jeotermal alanda yaşanan deneyimlerden bilinmektedir. Bu durum örtü katmanlarındaki gözenek basınçlarında bir fazla basınç ortaya çıkmasına ve gözenek suyu daha düşük basınçlı yerlere doğru uzaklaşırken zemin tabakalarının konsolidasyonuna neden olmaktadır. Yeni Zelanda'da Wairakei sahasında bu şekilde oluşan toplam oturma 15,00 m'ye ulaşmıştır. Oturmanın yaşandığı alan 1 km çapındadır[16].

Jeotermal sistemlerin yeryüzünde boşaldıkları yerlerden çevreye değişik nitelikte atıklar salınmaktadır. İşletme öncesinde doğal koşullarda da geçerli olan bu durum, işletme sırasında katlanarak artar. Bu çerçevede, atmosfere değişik gazlar salınır. Jeotermal alanlarda kokusundan ötürü H<sub>2</sub>S ve öteki kükürtlü gazların salındığı kolay fark edilmekle birlikte salınan en önemli ve bol gaz CO<sub>2</sub>'dir. Karbondioksit havadan ağır olduğu için yere çöker ve saçılıp seyrelmeyebilir. Bu durumda insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabileceği için sahadan uzaklaştırılabilmesi için önlemler alınır. Bunun için, yerel meteoroloji koşulları gözlemlenir ve gaz belirlenen uygun yükseklikli bacalardan havaya salınır.

Jeotermal sistemden çevreye salınan bir başka atık ta sıvıdır. Çeşitli kimyasal bileşenlerce zengin sıvı atıklar yüzey sularında bazı bileşenlerin kabul edilemeyecek denli zenginleşmesine neden olabilir. Alkaller, bor, arsenik, tuzluluk, vb bu çerçevede sıralanabilir. Böylesi durumlar iyi değerlendirilip olası risklere karşı akışkanın rezervuara geri basılması yoluna gidilmektedir.

Bir başka atık ta ısıdır. Yüzey suları ve yerel atmosferdeki ısı dengesi, atık akışkanların içerdiği ısıdan ötürü yükselen sıcaklıkla bozulabilir. Buna duyarlı çevreler iyi değerlendirilip gereken önlemlerin alınması yoluna gidilir.

Jeotermal sistemler özellikle doğal koşullarda yüzeyden ya da yeraltından boşalırken yerel yeraltısuyu Akiferlerinin su kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ülkemizde bunun çok sayıda örneği bulunmaktadır. Büyük Menderes alüvyonu'ndaki yeraltısuyu kuyularının su kalitesini sergileyen haritada Aydın ve Germencik Jeotermal Alanları'nın boşalma yönünde önemli ölçüde tuzlanma dilleri görülmektedir. Aynı şekilde Simav Ovası yeraltısuyu kalitesine ilişkin veriler de, Ova'nın KD kenarından boşalan sıcaksulardan kaynaklanan yaygın kirlenmeyi göstermektedir.

Faylarla böylesine yakın ilintili ve dinamik sistemler olan jeotermal sistemlerdeki değişikliklerin depremsellik de etkileşiyor olması şaşırtıcı değildir. Jeotermal rezervuarlardan üretim ve geri basma sonucunda genellikle M=2-3 büyüklüklü mikrodepremler oluşabilmektedir. Bunun nedeni, üst kabuktaki gerilme birikimlerinin, jeotermal üretim ya da geri basma sonunda değişen gözenek basıncı değişiminden ve bununla ilişkili elastik biçim değiştirmeden etkilenmesi olmalıdır. Menderes Masifi bölgesindeki M>3 deprem odaklarının dağılımına bakıldığında büyük depremler ana faylar boyunca,

küçük deprem odak yoğunlaşmaları Masif'in doğu ve batı kenarları çevresindeki saçılmış fayların üzerinde görülmesine karşılık, Masif'in her yerinde eş yoğunlukta dağılmış olan M=3 büyüklüklü depremlerin de bulunduğu görülmektedir. Belli ki, bölgesel fayların dışında da üst kabukta yaygın bir gerilme ortamı etkilidir. Bu durumda, jeotermal sistemlerdeki değişimlerin depremlerle etkileşmesinde de olağan dışı bir yan bulunmamaktadır.

## 6. JEOTERMAL SAHALARDA JEOLOJİ/JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE İLKELER

Buraya kadar yapılan açıklamaların da düşündüreceği gibi, jeotermal alanların aranması, geliştirilmesi ve işletilmesine ilişkin her aşamada yer bilimlerinin, jeoloji, jeofizik, jeokimya, vb bilim ve mühendislik disiplinlerinin katkısı kullanılır.

Aramada bölgesel jeoloji evrimine ilişkin modeller, bölgesel gravite ve manyetik verileri, bölgenin depremselliğine ilişkin veriler, bölgedeki sıcak ve soğuk suların hidrojeolojisi ve kimyasal verileri, uzaktan algılama bulguları, varsa ısı akısına ilişkin veriler, vb'ne başvurulması gerekmektedir. Bu bilgi altyapısı, aramacıları yüzey belirtilerinin görüldüğü yerler ve çevresinde belirlenen alanların ayrıntılı incelenmesine yöneltir. Böyle bir inceleme alanı belirlendiğinde burada ayrıntılı bir çalışma programının uygulanması söz konusu olur.

Bu çerçevede, ilk önce her türlü bulgunun belli bir modele yerleştirilebilmesi için bilgi alt yapısını oluşturacak olan jeoloji incelemesinin yapılması ve jeoloji haritasının hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışmanın alışlageldiği gibi, üstünkörü ve yalnızca şekilsel olarak yapılması, sonraki bütün değerlendirmeleri yanlış yönlendirebileceği için, oldukça sakıncalıdır. Bunun aşılması, jeoloji incelemesinde değişik uzmanlıkların katkısının alınması ile olabilir. Özellikle de, metamorfik kayaların petrografi ve petrolojisi, yapısal jeoloji ve tektonik evrim, volkanoloji, hidrojeoloji, jeokimya, izotop kimyası, sıvı kapanımlarının kimyası, jeomorfoloji, vb alanlarda edinilmiş bilgi ve deneyimin katkıları, yaşamsal önem taşıyacaktır. Bu durumda, arama ve sonraki geliştirme aşamasındaki jeoloji çalışmalarının, uzmanlık katkılarını sağlayan bir ekip eli ile yürütülmesinin gerektiği, bunun deneyimsiz bir jeoloji mühendisince yapılması ile yetinilemeyeceği çok açıktır. Bu uzmanlık alanlarından birden çok dala ilişkin birikim tek bir kişide bulunabilir. Ancak, gereksinilen bütün katkıları sağlayabilecek, her dalda uzman bir kişinin olması, düşünülemez bile. Bu nedenle, iyi bir jeotermal arama ve geliştirme çalışmasının ön koşullarından birini, jeolojinin farklı uzmanlık alanlarından katkıları sağlayacak bir ekibin oluşturulmasıdır. Kuşkusuz bu katkılara olacak gereksinimin ortaya konması, bu çalışmaların programlanması ve katkıların izlenip yorumlamaların yapılması için her projeye özel ve jeotermal kaynaklar konusunda uzman bir yer bilimcinin varlığı ve önderliği zorunludur. Bu durumda, proje süresince jeotermal kaynaklar konusunda uzmanlaşmış bir yer bilimcinin yönettiği ve çalışmalara zaman zaman katılacak değişik dallarda uzman yer bilimciler ve proje gereksinimlerine göre sayısı belirlenecek genç mühendislerden oluşan bir jeoloji mühendisleri kadrosunun çalıştırılması yerinde olacaktır.

Aynı durum, jeofizik verilerin derlenmesi, uygulanacak teknik ve yöntemlerin seçilmesi, uygulanması, verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi için de söz konusu olacaktır. Bu katkının gerektirdiği kapsam da, salt bir jeofizik diplomasına sahip olunmakla sağlanamaz. Bu çalışmaların da, mutlaka proje yöneticisinin yanında jeotermal kaynaklar konusunda uzmanlığı olan bir jeofizik mühendisi tarafından yönetilmesi gereklidir. Onun gereksindiği dallar ve koşullarda farklı jeofizik teknik ve yöntemlerde deneyim kazanmış jeofizik mühendislerince yönetilen ekiplerin çalıştırılması zorunludur. Bu ekipler programlanmış çalışmaların yapılması ve derlenen verilerin değerlendirilmesi süresince proje ekibine katılabilir. Ancak, jeotermal kaynaklar konusunda uzmanlığı olan jeofizik mühendisinin proje boyunca ya sürekli ya da sık sık katkısı gerekir. Jeofizik dışındaki her türlü yeni bilgi ve verilerin daha önce oluşturulan jeofizik ve yeraltı jeolojisi modellerini pekiştirme, değiştirme ya da geliştirme yolunda kullanılabilmesi için görüşünün alınması zorunludur.

Jeotermal sistemler yer kabuğunun içinde geliştikleri kesimlerinin fiziksel koşullarında, çevreye göre çok ileri ve çarpıcı değişiklikler oluşturmaktadır. Bu yolla, sistemin sıcaklığı, yoğunluğu, elektrik iletkenliği, manyetik ve elastik özellikleri, vb çarpıcı biçimde değişir; bundan etkilenen yerler ile çevresinin arasında bu özellikler açısından belirgin karşıtlıklar ortaya çıkar. Bu nedenle, jeotermal sistemlerin ve rezervuarların varlık ve konumlarının belirlenmesi, özelliklerinin incelenmesi, geometrisinin tanımlanması, zaman içindeki değişkenliğinin izlenmesinde jeofizik teknikler tartışılmaz biçimde yararlı olmaktadır. Bu alanda kullanılan ölçüm ve veri işleme teknikleri, yazılım olanakları ve jeotermal sistemlerde biriken deneyim son birkaç on yılda çok hızlı gelişmiştir. Ülkemizde bugüne değin baskın olarak elektriksel öz direnç, kısıtlı olarak gravite ve sıcaklık ölçümleri ile yetinilmiştir. Buna son yıllarda manyeto tellürik (MT) ve denetimli kaynaklı odyo manyeto tellürik (CSAMT) teknikleri ile yürütülen çalışmalar da eklenmeye ve çok etkili sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Ülkemizde, jeotermal kaynak arama-geliştirme-işletme çalışmalarında yararlanılan jeofizik teknikler şimdilik bunlarla sınırlıdır. Ancak, günümüzde dünyada jeofizikten çok daha geniş bir yelpazede ve derinlemesine yararlanılmaktadır. MT ve CSAMT çalışmalarının yaygınlaştırılması ve hemen her proje alanında vazgeçilmez bir araç olarak kullanılması dikkat çekerken, sismik incelemelerde önemli gelişmeler sağlanmış olması da gözden kaçırılmaması gereken bir gelişmedir.

Bir o kadar yeni ve etkili bir jeofizik teknik te, geliştirilmiş üç boyutlu sismik ölçü ve veri işleme yöntemleriyle ortamların elastik özelliklerinin, geçirimsizlik dağılımının, sıcaklık ve akış dokusunun modellenmesidir[17]. İtalya Lardarelolo-Travale’de olduğu gibi üç boyutlu sismik refleksiyon ölçü modelleri ile derin rezervuarların kestirilmesi çabaları başarılı olabilmektedir[18].

Bunların yanında sismik gürültülerin, mikrodepremlerin izlenmesi ile sismik emisyon tomografisinin çıkarılması da denemektedir. Böylelikle, rezervuarlardaki çatlak gelişiminin neden olduğu sürekli gürültüler Kamçatka Mutnovski sahasında olduğu gibi yararlı bir araştırma aracına dönüştürülmektedir[19]. Ya da, Endonezya Darajat Jeotermal Alanı’nda olduğu gibi geri basma işlemlerinin, yeni üretim kuyularının ya da güç santralının devreden çıkarılmasının rezervuara nasıl etkidiğini izlemek ve rezervuarın yapısal jeolojisini daha doğru modelleyebilmek için mikrodeprem izlemelerinin ne denli yararlı olabildiği de örneklenmektedir[20]. Yine mikrodeprem kayıtlarının Wadati Diyagramıyla işlenmesi sonucu bulunan Poisson Oranları da, Endonezya Lahendong Jeotermal Alanı’nda yapıldığı gibi, kaya ortamının çatlaklılığı ve üretken bir rezervuar oluşturma olasılığının bir göstergesi olarak yorumlanabilmektedir[21].

Bunların yanında üretim süreci sırasında rezervuarın izlenmesinde mikrogavite tekniklerinden çok başarılı biçimde yararlanılmasının örnekleri ile karşılaşılmaktadır. Örneğin, Filipinlerde Leyte Jeotermal Alanı’nda zaman içinde yinelenerek uygulanan mikrogavite ve yüzeyde geodezik ölçümlerle rezervuardaki kütle eksilmesinin izlenmesi oldukça tipiktir[22]. Burada, rezervuar basınçlarındaki düşümler, yüzeydeki oturmalar ve gravite değişimleri şaşmaz biçimde çakışmaktadır. Kaynak güvenliği ve bir sahadaki üretimin sürdürülebilirliğine özen gösteren saha yönetimlerinin bu olanaktan yararlanması çok ussal görünmektedir.

Eskiden beri kullanılagelen gravite ölçü verileri şimdi rezidüel verilere Euler çözümlemesi uygulanarak sahanın yapısal çizgileri ve derinliklerini daha belirgin olarak görüntülemekte başarılı olunmaktadır[23].

Öte yandan, düşük geçirimsizlikli rezervuarlarda ya da daha çok kışkırtılan (enhanced) jeotermal alanlarda akışkan dolaştırmak üzere yapay yollarla oluşturulan çatlakların konum ve geometrisinin izlenmesinde mikrosismik izleme teknikleri vazgeçilmez bir yer edinmiş bulunmaktadır[24, 25]. Buna elektrik, kuyu içi SP ölçüleri ile de destek olunabilmektedir[26].

Bunlara çok daha özel inceleme teknik ve yöntemlerinin eklenmesi denenebilmektedir. Örneğin, Kızıldeniz kıyısında yapılan yüksek çözünürlüklü bir havadan ölçümle derlenen spektral gama ışını verileri işlenerek bölgedeki tortulların içindeki yüksek ısı akısının kökeni yorumlanabilmektedir[27]. Benzer biçimde belli kuşaklarda SP değerlerinin değişimi izlenip değerlendirilerek te, rezervuarın hidrolik özellikleri ve bunların değişimlerinin izlenebildiği ortaya konmuştur.

Örnekler görüldüğünde çok daha somut biçimde görülebildiği gibi doğru bir jeoloji modeli üzerine bu jeofizik inceleme tekniklerinden uygun bir ikisinin sonuçları da eklendiğinde jeotermal sistemi tanımlamak ve güvenli ve başarılı biçimde geliştirmenin olanakları çok artmaktadır. Bu nedenle, bir jeotermal sahayı bulup geliştirirken, giderek işletirken saha yönetiminin en güvenilir ve önemli araçları yerbilimleri incelemeleri olabilmektedir. Yeter ki, gereğince titiz ve çağdaş bir düzeyde gerçekleştirilsin.

## 7. JEOTERMAL SAHALARDA ARAMA STRATEJİLERİ

Kuşkusuz her ülkenin jeoloji yapısına, gelişme düzeyi ve aramalara ayrılabilir kaynak miktarına, yetişmiş insan gücü ve deneyim birikimine göre farklı arama stratejileri olabilir. Yine kuşkusuz ki, her ülkenin arama stratejisi bir birinden farklıdır.

Bugüne değin ülkemizde izlenen strateji esas olarak, sıcak su kaynaklarının yakın çevresinde jeoloji haritalaması yapmak, bunun çevresinde bir jeofizik öz direnç incelemesi yapmak ve jeofizik anomalilerle yöredeki ana faylara ilişkin bilgilere göre bir ya da iki sondaj yapmaktan ibaret kalmıştır. Aramanın nasıl bir kaynağı amaçladığı baştan belirlenmiş değildir. Ülkedeki bütün sıcak su sahaları sıra ile ve çoğu zaman birkaç kez incelenmiştir. Bu aramanın yapıldığı sahalarda yatırım yapmayı programlamış bir kurum da yoktur. Ön araştırma sayılabilecek böyle bir çalışmadan sonra birkaç on yıldır bekletilen birçok jeotermal alanımız vardır. Yenilenen çalışmalar da önceki bulgulara yeni ayrıntılar katma açısından başarılı sayılamaz.

Bu strateji (?) kamu eli ile (MTA); ancak, açıkçası kamu yararı gözetilmeden, kaynak sivrüklüğüne neden olacak şekilde yürütülmüştür. 1960'dan bu güne yürütülen bu strateji Kızıldere santralından başka bir ürün vermemiştir.

Kendiliğinden gelişen ikinci bir strateji ise, bazı küçük özel firmaların kamu ve yerel yönetimleri peşine takarak oluşturduğu örgütlenmelerle konut ısıtması projelerini uygulama yolunda ortaya çıkmıştır. Bu yolla, 8-9 proje hayata geçirilmiş; ancak, gerek sistemlerin verimliliği, gerek finans modeli ve gerekse kaynaklara verilen zararlar açısından önemli eleştiriler almıştır. Bizim açımızdan, kaynakların gereğince incelenip araştırılmaması, MTA'nın ön bulgularının dışında yalnızca ve rasgele sondajlar yapılması, rezervuar niteliklerinin belirlenmemesi nedenleri ile kaynak sivrüklüğünün ortaya çıkmış olması ve sürdürülebilir bir üretimin koşullarına uyulmaması nedeni ile jeotermal kaynaklarda görülmeye başlayan gerileme kabul edilebilir değildir.

Şimdi ise, yeni bir yasa tasarısı ile bu sektör yeniden düzenlenmeye hazırlanılmakta, bu kaynaklara yatırım yapma niyetindeki yerli ve yabancı girişimcilerin sayısı artmakta, yerel ısıtma sistemleri ile ilgili yeniden örgütlenme ve düzenlemelere gidilmektedir. Belli ki, jeotermal kaynaklar daha yaygın ve yoğun biçimde kullanılacaktır. Bir çok belirti, yatırım kaynaklarının israfının ve jeotermal kaynakların yenilenebilir yanı yıpratılıp, telef edilmesinin yaygınlaşarak süreceğini göstermektedir.

O zaman, jeotermal kaynakların aranması, geliştirilmesi ve işletilmesinde izlenecek, bugüne kadarkilerden farklı, ulusal bir stratejinin oluşturulması ve bütün aktörlere benimsetilmesi için bir şeyler yapılması gerekmektedir.

Böyle bir stratejinin temelleri neler olabilir?

Her şeyden önce, jeotermal kaynak kullanım yolları arasında ağırlıkların ve önceliklerin nasıl dağıtılacağı konusunda bir seçim yapılmalıdır. Ülkenin jeotermal jeolojisi resmi göz önüne alındığında, alışılmış yöntemlerle elektrik üretimi için Menderes Masifi ve çevresi; kıskırtılmış kızgın kuru kaya sahalarından elektrik üretimi için de yine Menderes Masifi ve Orta ve Doğu Anadolu'daki genç volkanları besleyen magma odalarının çevresi hedef alınmalıdır.

İlk türden sahalardan, eldeki verilere göre sıralanıp, bir yandan ayrıntılı(!) jeoloji incelemeleri tamamlanıp bir yandan da yakın zamanda geliştirilmiş jeofizik tekniklerle, özellikle de Sismik Tomografi ve MT

teknikleri ile incelenmeleri tamamlanmalıdır. Daha sonra bu sahalarda programlı bir biçimde sondajlı geliştirme yoluna gidilirken, alterasyon incelemeleri, kuyu içi jeofizik ölçümleri ve rezervuar modellemeleri de savsaklanmamalıdır. Bu sahalardaki çalışmalar özel girişime bırakılıp ticarileştirilebilir; ancak, kaynağın bir kamusal varlık olduğu unutulmayarak, yenilenebilirliğine zarar verebilecek ihmal ve girişimlere izin verilmemeli, uzmanlığı ve yetkinliği belgelendirilecek kişilerce denetlenmelidir.

İkinci tür sahalardaki projeler özel girişim tarafından denenemeyecek belirsizlikler taşımaktadır. Bu nedenle, kamu eli ile ve ülke içi ve dışından fonlar ve akademik katkılar da sağlanarak başlatılmalıdır. Geri kalan alanlar, düşük ısı yüklü alanlardır. Doğrudan kullanmada, konut ya da tarımsal ısıtmalarda çok daha verimli ve ekonomik projeler gerçekleştirilebilir. Bu uygulamalar bütün yurda yayılabilir. Daha yalın teknolojilerle, daha sınırlı uzmanlık gerektirerek, daha küçük yatırımlarla gerçekleştirilebilir. Ancak, bunlarda da gerekli arama çalışmalarının eksiksiz ve doğru yapılması ve işletme sırasında jeotermal kaynağa zarar verilmemesi için yeterli mühendislik yaklaşımı sağlanıp kamunun da bunu gereğince denetlemesi yaşımsaldır.

Bu konuda izlenebilecek önemli bir yol da, kamunun özellikle enerji gereksinimi ve gideri yüksek olup jeotermal kaynağı bulunan yörelerde, örneğin Orta ve Doğu Anadolu'da etkili bir özendirme programını uygulaması olmalıdır.

Değinen her konuda yetkin ve yeterli uzmanlarla güçlendirilmiş bir kamu kurumuna görev düşünülüyor dikkati çekmiş olmalıdır. Bugün, böyle bir kurumun olmadığı ise açıktır. Bugüne değin gerçekleştirdiği çalışmalarla yüz akı olduğu yadsınamayacak olan MTA'nın, onurlu geçmişi unutulmadan eleştirildiğinde, bu günkü durumu ile böyle bir işlevi gerçekleştiremeyecek denli zayıf olduğu rahatlıkla söylenebilir. MTA gerekli uzmanlık disiplinlerin bir bölümünde çalışmadığı gibi, yerbilimleri disiplinlerini farklı bürokratik yapılarda yöneterek proje yönetimini güçleştiren ve sürekli olarak kadro yenilemesi ile bilgi ve deneyim birikimini yitiren bir kurum niteliğindedir. Jeotermal kaynaklar konusunda bugüne kadar yürüttüğü çalışmalarda, bu tür çalışmalar için olumsuz sayılabilecek alışkanlıklar yerleşmiş görünmektedir. Bu koşullarda yine MTA içinde, ya da MTA'dan yararlanılarak dışarıda, ya da yen baştan bir kamu kurumu, bir Enstitü oluşturulması ülkenin jeotermal kaynaklarının gereğince ve yeterince geliştirilmesi için önemli bir adım olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] VERHHOGEN, J., *Energetics of the Earth*, National Academy of Sciences, Washington, 1980
- [2] ERİŞEN, B., AKKUŞ, İ., UYGUR, N. ve KOÇAK, A., *Türkiye Jeotermal Envanteri*, MTA Yayını, 1996
- [3] EŞDER, T. ve ŞİMŞEK, Ş., İzmir-Seferihisar alanı Çubukludağ Grabeni ile dolayının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA yayınlanmamış rapor 5842, Ankara, 1977
- [4] ÖNGÜR, T., Balçova Jeotermal Alanının Jeoloji Modeli, GEOSAN yayınlanmamış raporu, 2003
- [5] ÖNGÜR, T., Çanakkale Tuzla yöresinin volkanolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Rap. 5510, 1973
- [6] DORA, O.Ö., CANDAN, O., DÜRR, St. and OBERHANSKI, R., *New Evidence on the Geotectonic Evolution of the Mendere Masif*, Proc. of International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, pp. 53-72, İzmir, 1995
- [7] ÇEMEN, İ., *Extensional Tectonics in Southern Basins and Ranges, USA and in Western Turkey : A Review of Similarities, Differences and Problems*, [http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract\\_39303.htm](http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract_39303.htm) , 2002
- [8] CATLOS, E.J., *In Situ Timing Constraints from the Mendere Masif, Western Turkey*, [http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract\\_39303.htm](http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract_39303.htm) , 2002
- [9] EMRE, T. and SÖZBİLİR, H., *Field Evidence for Metamorphic Core Complex Detachment Faulting and Accommodation Faults in the Gediz and Büyük Mendere Grabens, Western Anatolia*, Proc. of International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, pp. 53-72, İzmir, 1995



- [10] EYİDOĞAN, H. and JACKSON, J.A., A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in Western Turkey : implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust, *Jour. Of Geophys. Res.*, v81, p 569-607, 1985
- [11] SCLATER, J.G., PARSONS, B. and JAPUART, C., Oceans and continents : similarities and differences in the mechanism of heat loss, *J. Geophys. Res.*, 86, B12, 11535-11552, 1981
- [12] HETZEL, R. and REISCHMAN, T., Intrusion age of Pan-African Augen Gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after alpine ductile extensional deformation. *Geol. Mag.* 133, 562 –572, 1996
- [13] CİHAN, M., SARAÇ, G. and GÖKÇE, O., Insights into biaxial extensional tectonics: an example from the Sandıklı Graben, West Anatolia, Turkey, *Geological Journal*, 38, pp. 47-66, 2003
- [14] IMBACH, T., Geology of Mount Uludağ with emphasis on the genesis of the Bursa thermal waters, Northwestern Anatolia, Turkey, in "Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Polyproject, v/df, 1997
- [15] UTAMI, P., Characteristics of the Kamojang Geothermal Reservoir (West Java) as Revealed by Its Hydrothermal Alteration Mineralogy, *Proc. of WGC 2000*, 2000
- [16] WHITE, P.J., LAWLESS, J.V., TERZAGHI, S., OKADO, W., 2005, Advances in Subsidence Modelling of Exploited Geothermal Fields, *Proc. of WGC 2005*
- [17] PETROPHYSICS CONSULTANTS, A New Concept for the Future of Geothermy, leaflet, 2005
- [18] GAPPETTİ, G., FIORELISI, A., CASINI, M., CIUFFI, S. and MAZZOTTI, A., A New Deep Exploration Program and Preliminary Results of a 3D Seismic Survey in the Larderello-Travale Geothermal Field, Italy, *WGC 2005*, 2005,
- [19] KUGAENKO, Y., SALTYSKOV, V., SINITSYN, V. and CHEBROV, V., Passive Seismic Monitoring in Hydrothermal Field: Seismic Emission Tomography, *WGC 2005*, 2005
- [20] PRAMONO, B. and COLOMBO, B., Microearthquake Characteristics in Darajat Geothermal Field, Indonesia, *WGC 2005*, 2005
- [21] SILITONGO, T.H., SIAHAAN, E. and SUROSO, E., A Poisson's Ratio Distribution from Wadati Diagram as Indicator of Fracturing of Lahendong geothermal Field, North Sulawesi, Indonesia, *WGC 2005*, 2005
- [22] APUADA, N.A. and OLIVAR, R.E.R., Repeat Microgravity and Levelling Surveys at Leyte Geothermal Production Field, North Central Leyte, Philippines, *WGC 2005*, 2005
- [23] SALEM, A., FURUYA, S., ABOUD, E., ELAWADI, E., JOTAKI, H. and USHIJIMA, K., Subsurface Structural Mapping Using Gravity Data of Hohi Geothermal Area, Central Kyushu, Japan, *WGC 2005*, 2005
- [24] PRITCHETT, J.W. and SHIDO, T., Hydrofracture Characterisation Using Downhole Electrical Monitoring, *WGC 2005*, 2005
- [25] HIROSHI, A., YUSUKE, K., TANETOMO, I., NOBUKAZU, S., HIROAKI, N. and ROY, B., Monitoring of Reservoir Behavior at Soultz HDR Field by Super-Resolution Microseismic Mapping, *WGC 2005*, 2005
- [26] YASUKAWA, K., SHIDO, T. and KAJIWARA, T., Geothermal Reservoir Characterisation by SP Monitoring, *WGC 2005*, 2005
- [27] SALEM, A., ELSIRAFY, A., AREF, S., ISMAIL, A., EHARA, S. and USHIJIMA, K., Mapping Radioactive Heat Production from Airborne Spectral Gamma Ray Data of Gebel Duwi Area, Egypt, *WGC 2005*, 2005

## ÖZGEÇMİŞ

Tahir ÖNGÜR

1944 İstanbul doğumlu olan Öngür, 1966 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi'ni Jeoloji Yüksek Mühendisi olarak bitirdi.

1966-80 yılları arasında, 14 yıl boyunca Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nde çok sayıda genel jeoloji ve jeotermal enerji araştırma çalışmasına katıldı ya da yürüttü. Özellikle volkanoloji, hidrojeokimya ve jeotermal mühendisliği konularında deneyim kazandı.

1978-79 yılları arasında Petrol ve Jeotermal Enerji Daire Başkanlığı yaptı.

Daha sonra MASU Sondajcılık Firmasına Proje Yöneticisi olarak katıldı.

1982-1984'te GEOTEKNİK AŞ'nde yeraltısuyu ve mühendislik jeolojisi konularında Proje Yöneticisi olarak çalıştı.

1984'te kurulan GEOSAN AŞ'nin kurucu ortaklarından biri ve Genel Müdürlük görevini yürütüyor.

Ana ilgi alanı geoteknik, yeraltısuyu hidrolojisi ve jeotermal kaynaklarda yoğunlaştı.

Değişik yayınlarda birçok araştırma yazısı, çok sayıda toplantıda bilimsel bildirileri yayınlandı. 1976-1979 yılları arasında Türkiye Jeoloji Kurumu Başkanlığı yaptı.