

# **JEOTERMAL SİSTEMLERİN OLUŞUMUNDA JEOLJİK PARAMETRELERİN ROLÜ**

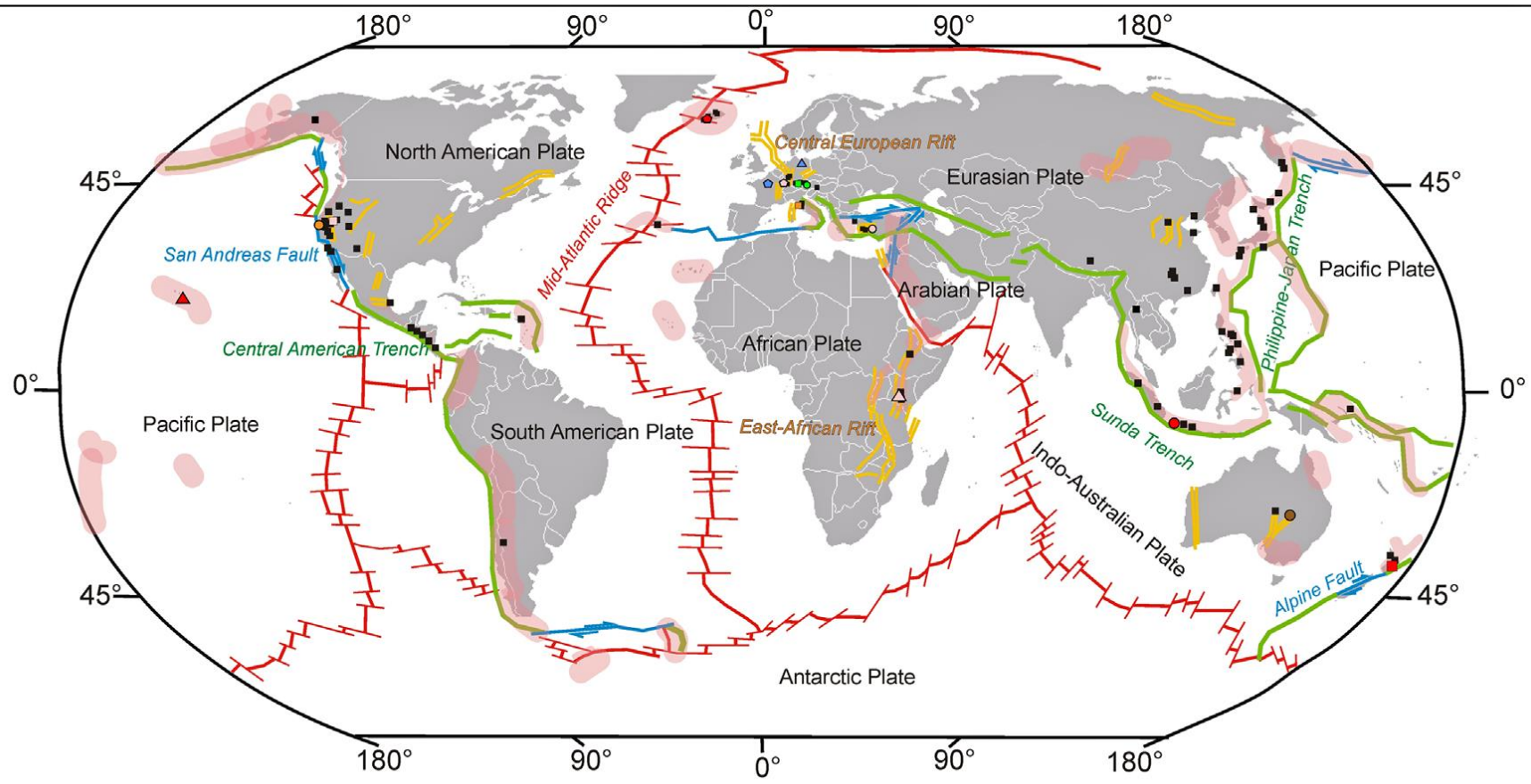
Hidrokarbon yataklarını oluşturan öğeler (kaynak kaya, rezervuar ve kapan gibi) doğrudan tanımlanmasına karşın, jeotermal sistemler için bu tür jeolojik ölçütler mevcut değildir. Bununla birlikte, jeotermal sistemler çok farklı jeolojik ortamlarda oluşmaktadır. Jeotermal kaynak kullanımı için bilinmesi gerekli olan parametreler:

- ✓ Sondaj ile ulaşılabilen bir derinlikte ne kadar ısı biriktiği
- ✓ Bu ısı belirli bir proje ile ekonomik olarak üretilebilir mi?

Amerikan Yerbilimleri Enstitüsü jeotermal sistemi 'yerkürenin doğal yolla oluşan ısı akışının yeryüzüne buhar veya sıcak su sirkülasyonu vasıtasıyla taşındığı ve kullanıma alınacağı bölgesel veya yerel jeolojik ortamlar' şeklinde tanımlamıştır. Bu tanım sadece **konvektif** jeotermal kaynaklara işaret ettiğinden, **kondüktif** jeotermal kaynakları da kapsayacak şekilde genişletilmiştir: 'jeotermal sistem, yerküredeki termal enerjinin akışkan sirkülasyonu vasıtasıyla elde edildiği ve kullanıma sunulduğu herhangi bir yerel jeolojik ortam'. Bu tanım ise hala başlangıçtaki ekonomik olmayan jeotermal koşulları ekonomik koşullara dönüştüren **Geliştirilmiş Jeotermal Sistem** (EGS; Enhanced Geothermal System) kavramını içermemektedir. EGS için en önemli husus, ekonomik bir kullanım için sıcaklığın debi değerine (üretim veya enjeksiyon hızı) oranının belirli olmasıdır. Ekonomikliğin sayısal anlamı zaman içinde değişse bile, akış hızı, sıcaklık ve ekonomiklik gibi kavramlar modern bir jeotermal sistem tanımına dahil edilmelidir. Bundan dolayı, söz konusu tanım şu şekilde revize edilebilir 'jeotermal sistem, yerküredeki termal enerjinin doğal veya yapay yolla oluşturulmuş akışkan sirkülasyonu vasıtasıyla elde edildiği ve kullanıma sunulduğu herhangi bir yerel jeolojik ortam'. Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler, akışkan debisinin akışkan sıcaklığına oranının ekonomik kullanım için çok düşük olduğu jeolojik ortamdır ve bu nedenle, doğal permeabilitenin teknolojik çözümlerle geliştirilerek akış hızının yeterli bir akışkan debisi/sıcaklık oranı elde edilene kadar artırılması gerekir.

## Plaka tektoniği ortamlarında jeotermal ölçütler (koşullar)

Plaka tektoniği ile ilişkili ortamların jeotermal ölçütlere büyük etkileri vardır. Termal rejim ve ısı akışı, hidrojeolojik rejim, akışkan dinamiği, akışkan kimyası, faylar ve kırıklar, stres rejimi ve litolojik sekans jeotermal ölçütlerin anlaşılmasında hayati bir öneme sahip olup tamamıyla plaka tektoniği dinamikleri tarafından kontrol edilir. Aktif kıta kenarlarındaki kabuğun termal durumu diğer jeolojik provenşlerden (tektonik açıdan suskun bölgeler-kratonlar, aktif veya pasif ana fay zonları, kıta içi veya orojenik zonların önündeki derin sedimanter havzalar) oldukça farklıdır. Jeotermal ölçütler çoğunlukla konveksiyon veya kondüksiyon ısı transfer rejimleri tarafından etkilenir. Akışkan dinamikleri nedeniyle uygulanabilir veya aktif jeotermal ölçütler olarak tanımlanan konveksiyon ağırlıklı jeotermal ölçütler yüksek-entalpi sahalarını barındırırlar ve plaka sınırlarında veya aktif tektonizma veya volkanizma ortamlarında görülürler. Bir ısı kaynağı veya geliştirilmiş ısı akışı ile tetiklenen termal akışkan konveksiyonu ısıyı derinlerden yeryüzüne iletir. Konveksiyon ağırlıklı sistemlerde, yapısal kontrollerin akışkanların hareket ettiği kanallar üzerinde büyük etkileri vardır. Yüksek-sıcaklıklı ölçüt sistemlerinde, akışkan akma hızları düşük sıcaklık kaynaklarına göre daha yüksektir. Bir jeotermal ölçütteki konveksiyonu çok sayıda faktör ve süreç etkiler. Uygun bir konveksiyon için yüksek sıcaklık gradyanı ve yüksek geçirgenlik ( $>10^{14}$  m<sup>2</sup>; 10 mD) gereklidir. Buna karşın, düşük geçirgenlikli katmanlarda ( $<10^{15}$  m<sup>2</sup>; 1 mD) düşük veya hiç konveksiyon oluşmaz. Genellikle, yüksek sıcaklık gradyanı, doğal akışkan hareketi ve akışkan dinamikleri konveksiyon ağırlıklı jeotermal ölçütleri temsil eder.



Plaka tektoniği ortamında işletilmekte olan jeotermal sahalar.

Jeotermal ölçüt tipleri:  
 CV – Konveksiyon ağırlıklı ısı transferi  
 CD – Kondüksiyon ağırlıklı ısı transferi.

Plate boundary types

- Divergent type: Mid-oceanic ridges transected by transform faults
- Convergent type: Subduction zone
- Transform type: Strike-slip zone
- Major zones of active volcanism
- Intracontinental rifts
- Installed geothermal fields (pilots + commercial)

Examples of geothermal play types with current production

- CV1 - Magmatic - Volcanic field type:** Taupo (New Zealand), Kamojang (Indonesia), Reykjanes (Iceland), Puna (Hawaii/USA)
- CV1 - Magmatic - Plutonic type:** Larderello (Italy), The Geysers (USA)
- CV3 - Extensional domain type:** Bradys (Nevada/USA), Kizildere (Turkey), Soulz-sous-Forets (France), Olkaria (Kenya)
- CD1 - Intracratonic basin type:** Neustadt-Glewe [heat] (Germany), Paris Basin [heat] (France)
- CD2 - Orogenic belt/foreland basin type:** Unterhaching (Germany), Altheim (Austria)
- CD3 - Basement (hot dry rock) type:** Habanero (Australia)

Buna karşın, **kondüksiyon baskın** jeotermal unsurlar **düşük-orta entalpi** rezervuarları temsil eder. Bu tür ortamlar, hızlı bir konvektif akışkan hareketinin bulunmaması ve düşük kısa-sürelili akışkan dinamiği nedeniyle pasif jeotermal sistemler olarak tanımlanabilir. Bu sistemler esas olarak güncel tektonizma veya volkanizma faaliyetlerinin belirgin şekilde görülmediği pasif tektonik plaka sınırlarında yer alır. Bu bölgelerde kaydedilen jeotermal gradyan ortalama ya yakın olduğundan bu tür jeotermal unsurlar konveksiyon baskın jeotermal sistemlere göre daha derinde yerleşmiştir. Tıkız kumtaşı, karbonatlar veya kristalen kayalar gibi düşük geçirgenlikli litolojilerdeki kondüksiyon baskın jeotermal unsurlar ekonomik anlamda kullanımı için EGS teknolojisi gerekir. Akışkanlar için kanal görevi görmesi veya üretim sırasında bariyer olarak davranması nedeniyle bu sistemlerdeki faylar önemli rol oynarlar.

Konveksiyon ve kondüksiyon ağırlıklı ölçütlerin oluşumunu anlamada önemli faktörlerden biri de magmatik ve magmatik olmayan jeotermal unsurların arasındaki farkın ayırt edilmesidir. Bu terimler sırasıyla ısı kaynağı ve tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir. Magmatik unsurlar hem kondüksiyon hem de konveksiyon ağırlıklı jeotermal ölçütleri devreye sokar. Aradaki fark kondüksiyon baskın sistemler magmatik kayalar içinde veya yakınında görülmekle birlikte yüksek radyojenik ısı üretimi (granitlerde bolca bulunan yüksek ısı üreten radyoaktif elementler) ile ilişkili olup aktif bir volkanizma söz konusu değildir, ancak aktif tektonizmanın çok sınırlı etkisi olabilir. Konveksiyon ağırlıklı magmatik unsurlar ise volkanikler ve tektonik olarak aktif bölgelerde ısı kaynağı olarak magmatizma gerektirir. Kondüksiyon baskın magmatik unsurlarda büyük ölçekli doğal akışkan hareketi görülmez.

Bu tür 'kuru' sistemler, yeraltından yüzeye ısı transferi sağlamak üzere hidrolik çatlaklandırma (hydraulic fracturing) ve akışkan enjeksiyonu yoluyla sirkülasyon (injection induced circulation of fluids) için EGS teknolojisini kullanmasını gerektirir. Rezervuardan yeryüzüne ısı iletimi için yegane mekanizma olmalarından sebebiyle akışkanlar jeotermal sistemlerin işletilmesinde büyük rol oynamaktadır. Üretilen akışkan hacmi bir jeotermal sistemin ekonomikliğini belirler. Termal akışkanların üretim ve enjeksiyonu arasındaki denge bir jeotermal rezervuarın ekonomik ömrünü etkiler. Bununla birlikte, akışkan kimyası bir rezervuarın etkinliği ve kullanım ömrüne büyük etkisi vardır. Ayrıca, korozyon ve mineral çökmesi (kabuklaşma) gibi sorunları en aza indirmek için gerekli tesisat ve malzeme seçimi gibi hususlar da akışkan kimyası ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, rezervuardaki akışkanın kökeni, kimyasal bileşimi, beslenme karakteristikleri ve meteorik su girdisi hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir.

Bazı araştırmacılar dik (sarp) topoğrafyanın jeotermal unsurlara etkisini ele almışlardır. Bu tür ortamlarda, yüksek süzülme hızı ile birlikte büyük miktarda meteorik su konvektif jeotermal sistemlere aktarılır. Dik morfolojinin hidrolik yüke etkisi sadece volkanik alanlarda değil dağ kuşaklarına bitişik sedimanter havzalarda da görülür. Örnek olarak, tıkız (düşük geçirgenlik) kumtaşları ve çeşitli karbonat birimlerinde gelişmiş düşük-entalpili kondüksiyon baskın sistemleri barındıran Alberta havzasına incelenmiştir. Bu havzaya yönelik tasarlanan hidrojeolojik modelin topografik rölyefin havzaya akışkan süzülmesi üzerindeki etkileri sarp topoğrafyanın hem düşük hem de yüksek entalpili sistemlerde süzülme açısından önemli olduğunu göstermiştir. Dünyada elektrik üreten jeotermal santrallerin büyük çoğunluğu fayların litosfere kadar uzandığı veya magma sokulumlarının olduğu bölgelerdedir.

Derinlere uzanan faylar ve aktif volkanizma aktif plaka sınırlarında yaygındır. Farklı jeolojik ortamlarda hüküm süren tektonik süreçlerin anlaşılması konveksiyon baskın, yüksek-entalpili jeotermal rezervuarların karakterizasyonu için büyük önem taşır. Kondüksiyon baskın, düşük entalpili jeotermal sistemlerde, bölgenin jeodinamik eriminin özellikle modern stres alanındaki fay ve kırıkların önemini belirlemek büyük önem taşır. Bundan dolayı, jeotermal sistemler buldukları tektonik ortamlar, ısı kaynağı (magmatik/intrüzif veya magmatik olmayan) ve ısı taşınma mekanizması, depolama sistemi ve geçirgenlik yapısını denetleyen jeolojik faktörler bakımından gruplandırılabilir.

## **JEOTERMAL SİSTEMLERDE JEOLJİK KONTROLLER**

### **1. KONVEKSİYON BASKIN JEOTERMAL PARAMETRELER**

Aktif plaka sınırlarındaki tektonik süreçler manto konveksiyonu tarafından denetlenen litosfer ve astenosfer arasındaki dinamik etkileşimlerle ilişkilidir. Esas olarak aktif plaka kenarlarında görülen aktif tektonizma ve volkanizma yüksek-entalpili, konveksiyon baskın jeotermal sistemler için oldukça uygun oluşum şartları sağlar.

Uygun tektonik ortamlar:

- ✓ Yaklaşan levha sınırlarında yitim zonları üzerindeki magmatik yaylar (Sunda yayı veya Filipin-Japon yayı)
- ✓ Okyanus kabuğu üzerindeki uzaklaşan levha sınırları (Atlantik ortası sırtı) veya kıta içi ortamlar (doğu Afrika rifti)
- ✓ Doğrultu-atımlı faylar barındıran transform plaka sınırları (San Andreas fayı veya Alplerdeki faylar)
- ✓ Sıcak nokta magmatizması ile oluşan plaka içi okyanus adaları (Hawaii)

Litosferin büyük bir kısmını kat eden ana fay zonları, astenosferin yükselmesi (yitim zonlarında astenosferik kamalanma ve riftlerin altındaki astenosferik sorguçlar) ve tektonik aşınma ile ortaya çıkan yüksek ısı akışına sahip kabuksal bölgelerin alt kabukla (açılma alanlarındaki metamorfik çekirdek kompleksleri) irtibatını sağlayan akışkan kanalları şeklinde düşünülebilir.

Konveksiyon baskın jeotermal sistemlerde, akışkanların yukarı doğru sirkülasyonu ısı derinlerden sığ rezervuarlar veya yeryüzüne doğru taşınır. Bu tür sistemler aktif tektonizma, aktif volkanizma, genç plütonizma (<3 Ma) ve açılma tektoniğinin neden olduğu yüksek ısı akışının bulunduğu yerlerde görülür. Konveksiyon baskın jeotermal unsurlar, volkanik alanlarda magma odası gibi bir plütonik aktivite veya açılma rejimlerinde gelişen faylar veya fay zonlarındaki intrüzif kütleler tarafından denetlenir. Akışkanlar esas olarak yüksek rakımlı alanlardan süzülerek sisteme katılan meteorik sular olmakla birlikte magmatik sularla kısmi karışım da söz konusu olabilir.

### **1.1. Magmatik jeotermal unsurlar**

Magmatik sistemlerin görüldüğü bölgeler:

- Ayrılan levha sınırlarındaki aktif bazaltik volkanizmanın görüldüğü alanlarda (İzlanda)
- Ada yaylarındaki bazaltik-andezitik volkanizma bölgelerinde (Java)
- Güncel andezitik-dasidik volkanizma bölgelerinde (Güney Amerika veya Tayvan)
- Güncel magmatizmanın eşlik ettiği kıta-kıta çarpışma bölgelerinde (Alp dağ kuşağının güney kısımları)

Volkanik bölgelerdeki magmatik sistemler yukarı akış zonu (upflow zone) ve dış akış zonu (outflow zone) olmak üzere iki kısma ayrılır. Buna karşın, magmadan kristallenen ve yüzey altında yavaşça soğumakta olan bir plütonun boyutu yüzlerce metre ile birkaç kilometre arasında varabilir. Bu plütonlar batolit, stok, dayk, sil, lakolit ve lapolit şeklinde olabilir. Bu sistemlerde ısı kaynağının ölçeği magmatizmanın yaşı ile doğrudan ilişkilidir: aktif ve güncel magmatizma genellikle yeraltında uygun bir ısı kaynağının göstergesidir.



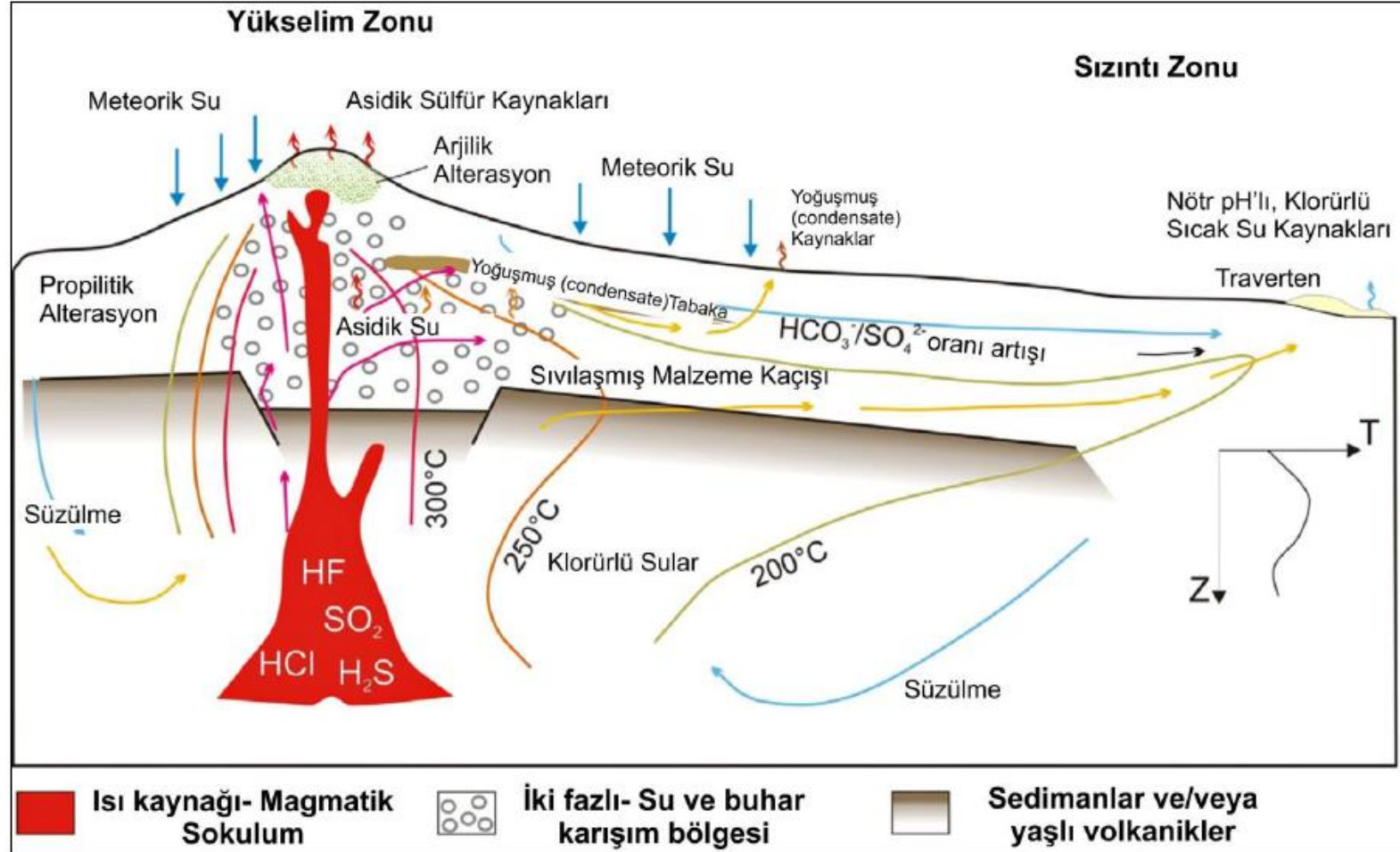
1	Volkanik arazi tipi	Plütonik tip	Açılma rejimi tipi
2	<i>Java-Kamojang</i>	<i>Larderello</i>	<i>Bradys (Basin and Range)</i>
3	Magmatik yaylar Okyanus ortası sırtları Sıcak noktalar	Genç dağlar Orojenez sonrası fazlar	Metamorfik çekirdek kompleksleri Yay ardı genişleme Çek-ayır havzaları Kıta içi riftleri
4	Magma odası, sokulum Aktif magmatizma (volkanizma)	Genç sokulum+genişleme Güncel plütonizma	İncelmiş kabuk → artan ısı akışı Aktif açılma bölgesi
5	← Konveksiyon baskın sistemler →		
6	-	Fay kontrollü Magmatik	+

Konveksiyon baskın jeotermal ölçüt sistemleri için katalog şeması.

Esas alınan jeolojik kontroller: magmatik aktivite (volkanik tip – Java, Endonezya tip lokalitesi), güncel plütonizma (intrüzyon tip – Alp orojenezi örneği, Larderello, İtalya tip lokalitesi), magmatik aktivitenin olmadığı ancak aktif açılmanın görüldüğü (Basin and Range bölgesi, ABD). 1 – Sistem tipi, 2 – Tipik lokalite, 3 – Plaka tektoniği ortamı, 4 – Potensiyel jeotermal rezervuarların jeolojik ortamı, 5 – Isı transfer tipi, 6 – Jeolojik kontroller.

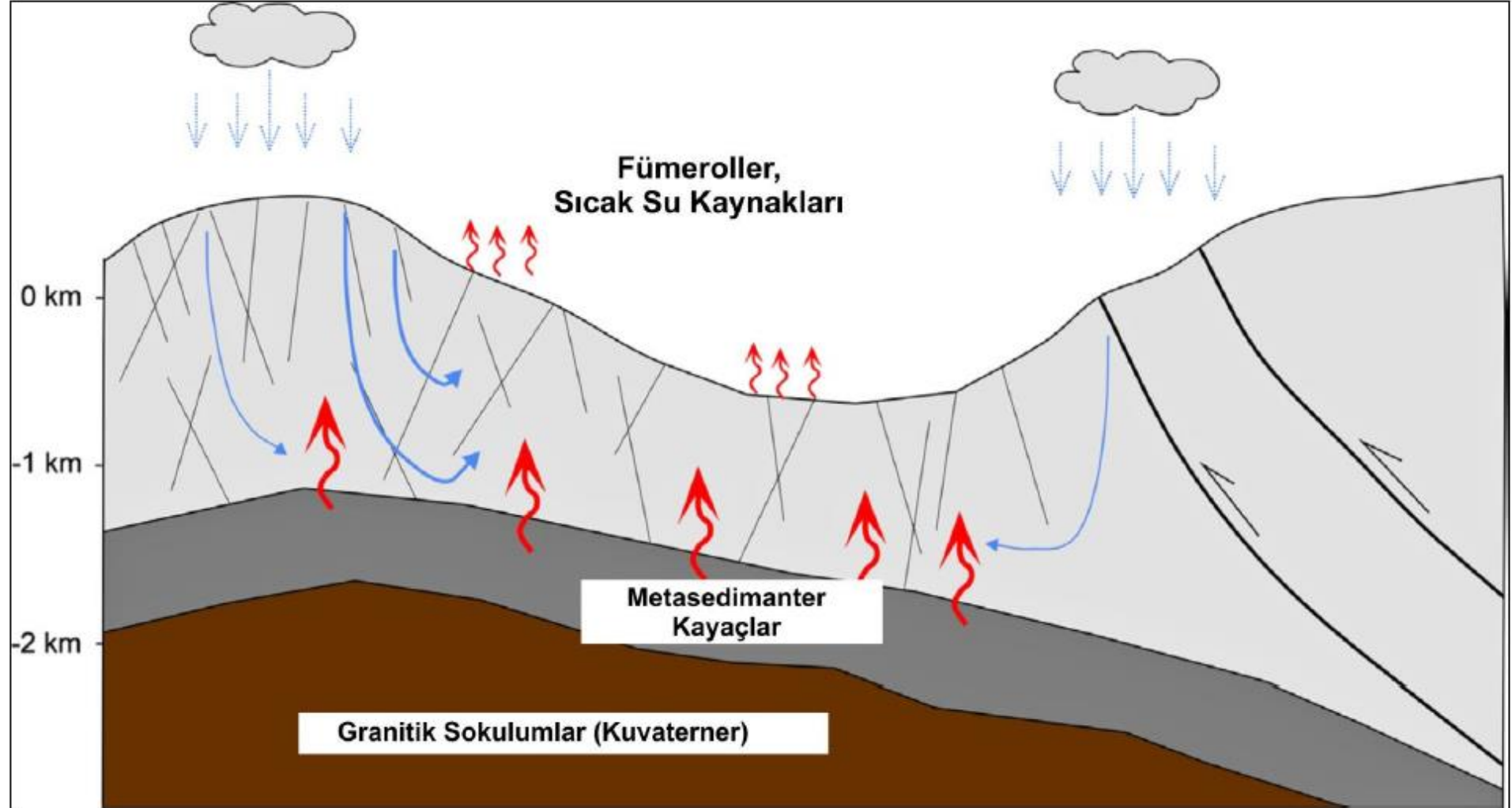
# Yitim zonu üzerindeki magmatik yay ortamlarında görülen aktif volkanik saha ile ilişkili jeotermal sistem

## AKTİF MAGMATİZMA -SİĞ MAGMA ODALARI- VOLKANİZMA



Moeck, 2014'ten uyarlanmıştır

**Kıta-kıta veya kıta-okyanus veya transform levha sınırları boyunca görülen intrüzyonlar için tipik güncel plütonik sahalar ile ilişkili jeotermal sistem**



*Moeck, 2014'ten uyarlanmıştır*

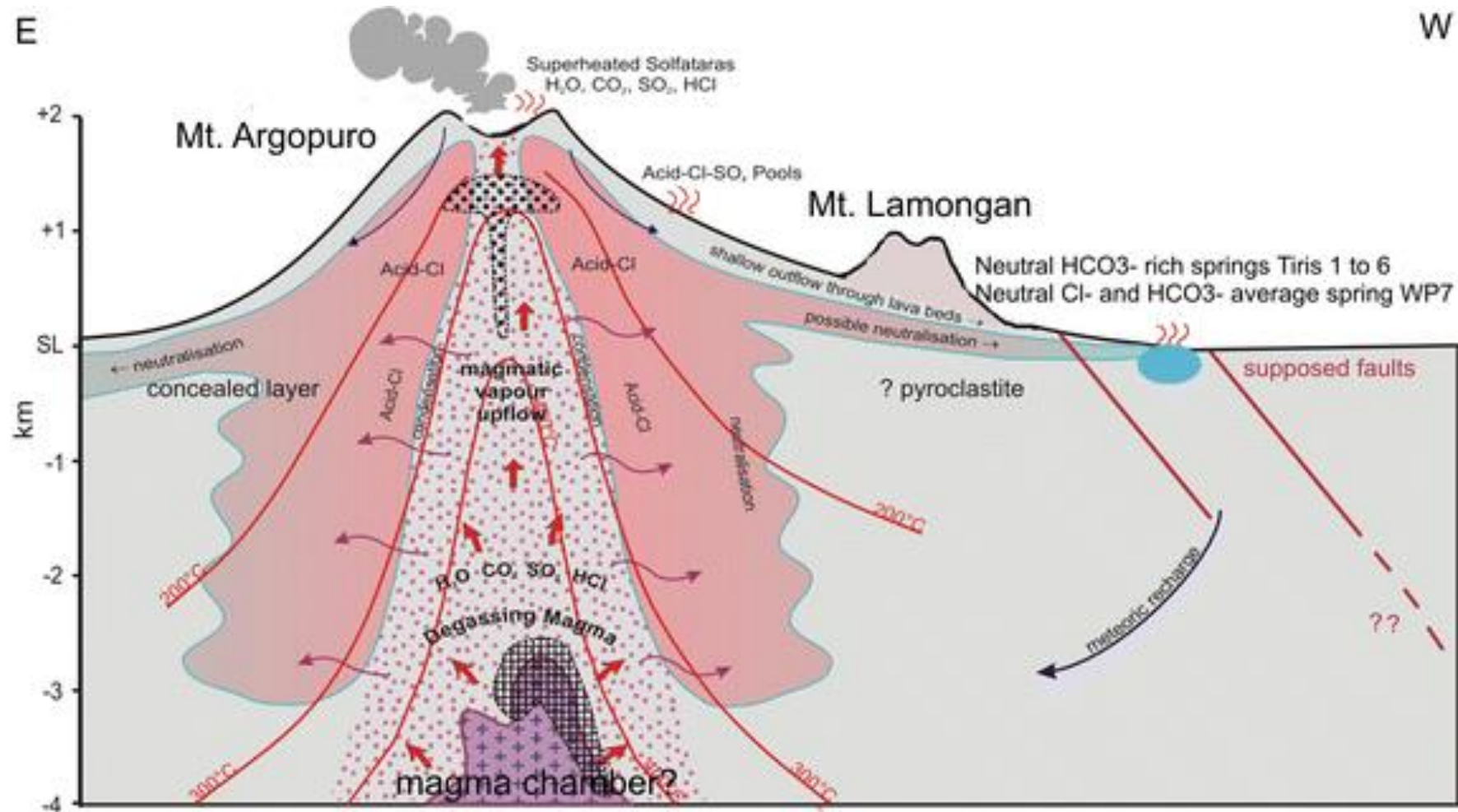
Aktif olmayan magmatizma ise çok derinlerde (~45 km) büyük-ölçekli magmatik intrüzyonlar ile temsil edilir, bu sistemlerde ısı granitik kayalardaki radyoaktif bozunma ile ortaya çıkar.

- ✓ Aktif magmatizma: volkanizma yaşı <500 yıl
- ✓ Güncel magmatizma: volkanizma yaşı 500–50,000 yıl arası
- ✓ Aktif olmayan magmatizma: volkanizma yaşı >50,000 yıl

Ada yayları boyunca gelişen bir magmatik jeotermal sistemde büyük-ölçekli enerji üretiminde esas rezervuar ve hedef yüksek sıcaklıklı yukarı akış zonedur. Buna karşın, dış akış zonu genellikle ikincil rezervuar (orta-düşük sıcaklık) olarak düşünülür, akış hızı uygunsa küçük enerji santrallerinde kullanılabilir. Dış akış zonedaki sıcaklık gradyanı sığ derinlikte artar ve dış akış katmanı altında azalma gösterir. Dış akışın ucunda yaylan dış akış su kaynaklarının sıcaklıkları 40–100°C olup traverten çökelleri eşlik eder. Ancak dış akış su kaynakları altlarında yüksek sıcaklıklı bir jeotermal sisteme işaret etmez. Yukarı akış zonedaki jeotermal belirteçler alterasyon killerini oluşturan termo-kimyasal olarak bozunmuş kayalar ile ilişkili asidik kaynaklardır. Bu killer su kaynakları altında yüksek sıcaklıklı bir sistemi gösterir. Yukarı akış zonu, genellikle sıvı-baskın kısmın üzerinde yer alan buhar-baskın alandan meydana gelir. Yanardağlar gibi sarp morfolojilerdeki yoğun katmanlar yüksek sıcaklıklı sistemleri örterler. Yoğun katmanlar, belirli bir derinlikteki ısı kaynağı üzerinde yoğunlaşmış yukarı akan akışkanlar tarafından oluşturulur. Bu tür katmanlar başlangıçta asit karakterli olan akışkanları nötrleştirirler. Bu katmanlardan gerçekleşen dış akış yoğun katmanın katyon içeriğini değişikliğe uğratar ve bu akışın jeokimyası jeotermal sistemdeki orijinal buhar tarafından değiştirilir. Yoğun katmanların oluşumundaki başlıca koşul düşük geçirimsiliktir (<0.04 mD). Yoğun katmanların bulunduğu en bilinen jeotermal sistem Larderello'dadır (İtalya), diğer örnekler Kamojang sıcak su kaynaklar ile Tangkuban Perahu ılık su kaynaklarıdır (her ikisi de Batı Java/Endonezya'da).

Bazaltik-andezitik püskürmelerle karakteristik ada yayı volkanizması dış akış ve yukarı akış zonlarını oluştururken kıtasal yay volkanizması andezitik-dasidik magma ile ilişkilidir. Magma odasının bazaltik ergiyiklerle beslenmediği durumlarda, kıtasal yay ile ilişkili jeotermal sistemler dış akış zon özelliği gösterir. Kıtasal yay ortamlarındaki jeotermal sistemlerin sıcaklığı (<240°C) yay ortamlarında oluşan jeotermal sistemlerin sıcaklığından daha düşüktür (>300°C).

# Lamongan jeotermal sahası, doğu Java, Endonezya



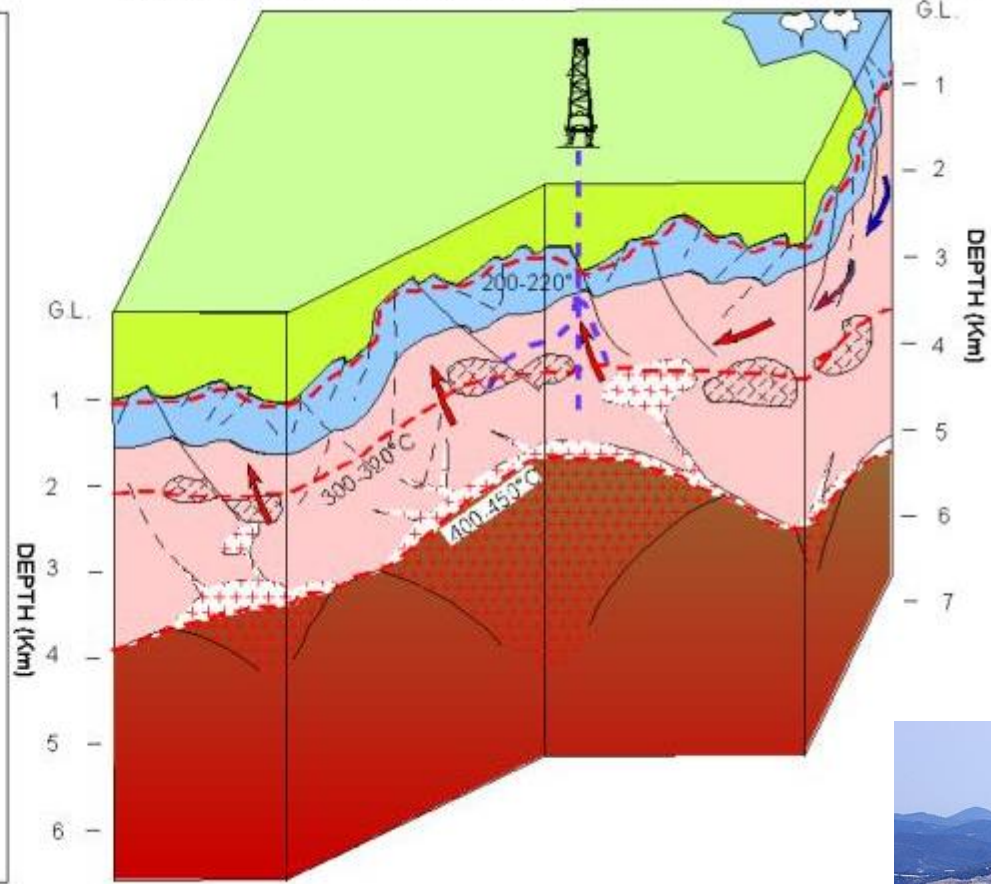
Zone of possible hydrothermal alteration and formation of clay minerals.



Zone of interaction magma-water

modified after Bogie et al (2005).

### SKETCH OF THE LARDERELLO-TRAVALE GEOTHERMAL SYSTEM



**Larderello (İtalya) jeotermal sahasının kavramsal modeli (770 Mw)**

Laderello (plütonik tip) ve Java (volkanik saha) tipleri arasındaki fark Laderello'nun güncel plütonizma ve açılma ile ilişkili olması, Java'nın ise yaklaşan levha sınırları boyunca magmatik yaylar veya okyanus-ortası sırtı ortamlar için karakteristik olan aktif volkanizmanın görüldüğü bir sistemde oluşmasıdır. Uzaklaşan plaka sınırında okyanus-ortası sırtı ortamda oluşan İzlanda Java tipi için verilebilecek bir diğer örnektir. Plütonizmanın denetlediği jeotermal sistemler yaklaşan kıta-kıta veya güncel magmatizmanın olduğu transform kenarlarında görülür ve bu bölgelerde güncel meteorik su girişi görülür (Laderello) veya görülmez (Gayzerler). Laderello'da 1.3–3.8 Ma yaşlı granitik intrüzyonlar genç magmatizma (0.3–0.2 Ma) ile ilişkilidir. Bu magmatizma granit üzerinde akışkan-baskın bir katman ve bu katmanın üzerinde de buhar-baskın bir diğer katman oluşturur. Magmatik kayaların yerleşimi ile ilişkili Pliyosen yaşlı açılma yüksek-sıcaklıklı sisteme meteorik su girişini denetleyen düşük-açılı normal faylar oluşturur. Büyük bir felsik plütonun, düşük geçirgenlikli serpantinit, melanj ve meta-grovak ile örtülmüş poroz bir meta-sedimanter rezervuar içindeki buhar-baskın akışkan için ısı sağladığı Gayzer sahası bu tür sistemler için iyi bir örnek teşkil eder. Doğal bir beslenmenin bulunmaması akışkanın yüksek düzeyde kazanımı için işlenmiş pıssuyun yeraltına enjeksiyonunu gerektirir. Magmatik (hem volkanik hem de plütonik) jeotermal sistemlerin belirteçleri ve arama yöntemleri aşağıda özetlenmiştir:

### **1.1.1. Tipik rezervuar kaya tipleri:**

Çeşitli türde volkanik (bazalt, nötr-felsik lav akışları, kül-akma tüfleri) ve sedimanter kayalar. Dış akış zonlarındaki traverten çökelleri belirteç kayalardır.

### **1.1.2. Tipik akışkan tipleri:**

Yukarı akış zonu: asit-sülfat suları, magma kaynaklı gazlar; SO<sub>2</sub>, HCl, HF, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 0-3 arasında olan düşük pH.

Dış akış zonu: Na-Cl, nötr-alkalin pH, meteorik su ile karışım, Ca'ca zengin, düşük-Mg, gaz: CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S.

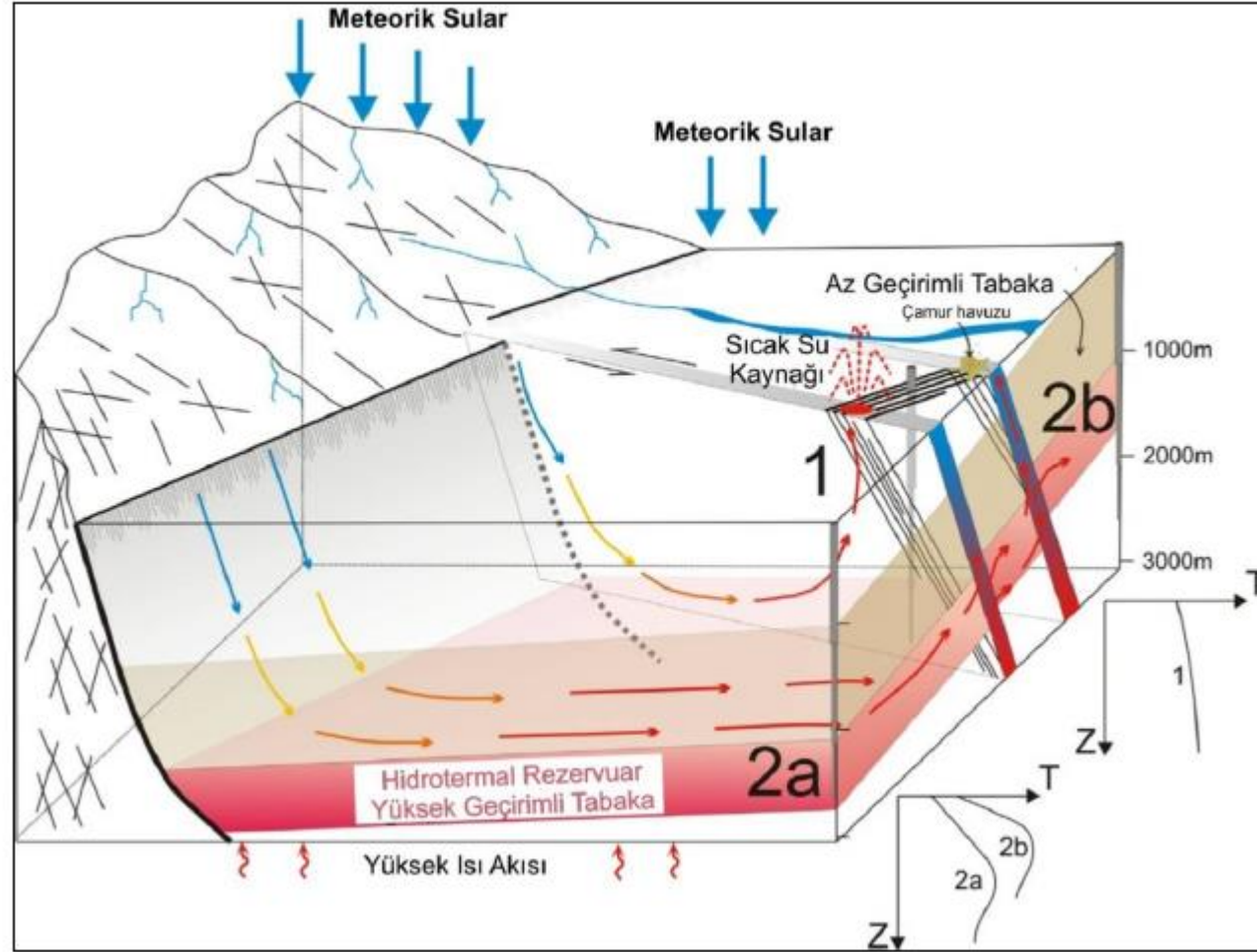
### 1.1.3. Tipik arama yöntemleri

- ✓ Jeotermal yüzey belirteçlerinin, hidrojeolojik rejimin ve jeolojik ortamın detaylı araştırılması ile dere, seyreltik sıcak suların, kaynakların ve yeraltı suyu kuyularındaki suların jeokimyasal analizlerini kapsar.
- ✓ Yukarı akış zonuna yönelik yüksek rezistiviteli anomalilerin belirlenmesi için rezistivite etütleri (manyetotellürik) yürütülür.
- ✓ Minimum güç potansiyeli bir termal rezervuardan gerçekleşen doğal ısı kaybına dayalıdır. Bu rezervuardan ayrılan ve yüzeyde pozitif anomaliler oluşturan akışkanların belirsiz sayıda kuyu tarafından üretildiği varsayılır. Bu yöntem geniş kapsamlı olarak sığ sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesini gerektirir. Bu sistemlerdeki ısı kaybı çoğunlukla eksik olarak değerlendirildiğinden gerçeği yansıtmamaktadır. Bu yöntem 30 yıl önce geliştirilmiş olup söz konusu dönemde bilgisayar gücü ve software belirli derinliklerdeki 3B jeolojik modellerden akışkan hacmini hesaplamada yetersiz kalmaktaydı. Ancak günümüzde, uzaktan algılama ve software çözümleri çok daha ayrıntılı sonuçlar vermektedir.
- ✓ Sadece yukarı akış zonlarında: ampirik jeotermometreler (Na–K–Ca).
- ✓ Yukarı ve dışa akış zonlarında: Mg-içeren yüzey suları ile karışmadığı sürece, termodinamik jeotermometreler.

**1.1.4. Tipik hedefler:** Yaklaşan levha sınırlarındaki volkanik yay bölgeleri gibi magmatik ortamlarda, yüksek sıcaklık nedeniyle dışa akış zonundan ziyade yukarı akış zonu hedeftir.

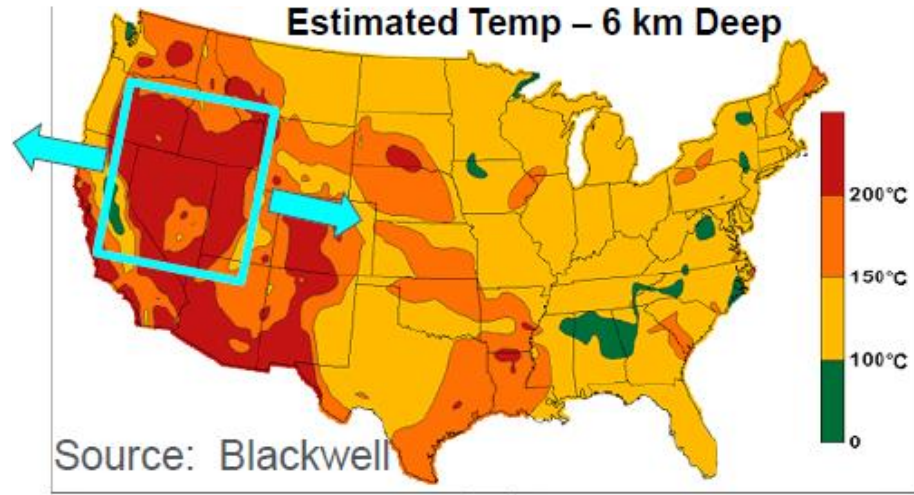
**1.2. Magmatik olmayan jeotermal sistemler-açılma bölgeleri:** Magmatik olmayan konveksiyon baskın jeotermal sistemler ya fay ya da fay-sızıntısı kontrollüdür. Sadece fayın denetlediği sistemlerde, konveksiyon faz boyunca gerçekleşir ve meteorik su fay zonu boyunca filtre olur. Fay-sızıntısının kontrol ettiği sistemlerde, akışkan faydan geçirgen örtü katmanına doğru süzülür. Bu şekilde, akışkanlar geçirgen bir katmandan fay zonuna doğru oradan da yüzeye hareket eder. Termal akışkanlar fay zonu boyunca yukarı zondan uzaklaştıkça, soğuk yeraltı suyu veya meteorik su ile karışırlar. Bunu gösteren en önemli bulgular bikarbonat ve magnezyum konsantrasyonlarının artışı ve bor, sülfat ve klorür içeriklerinin azalmasıdır.



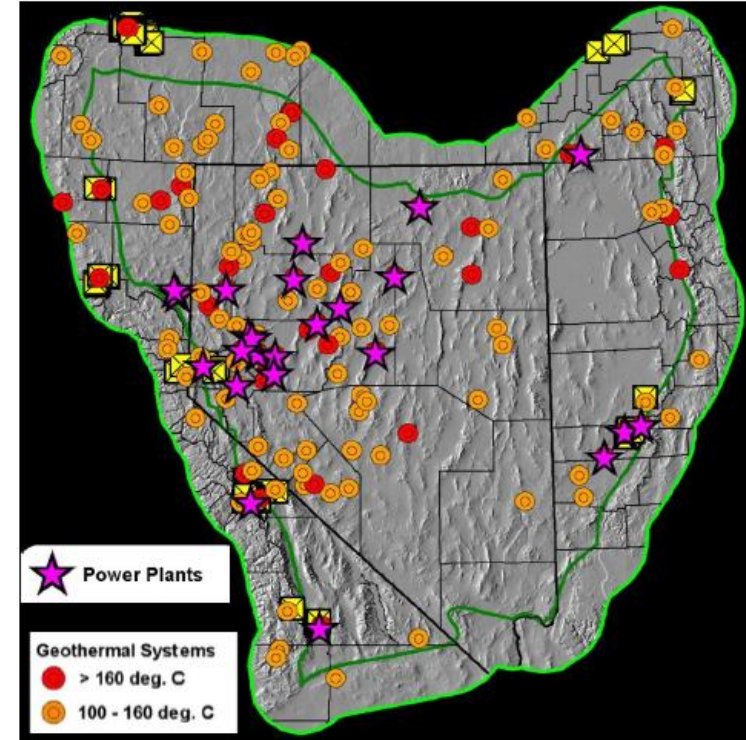
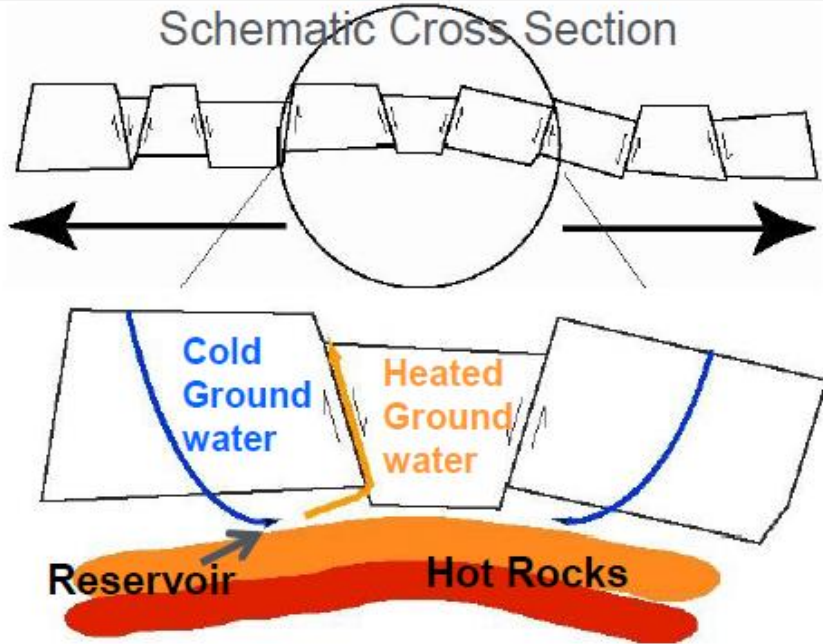


Farklı türde rezervuarlar ile aktif açılma bölgelerinde magmatik-olmayan jeotermal sistemler (1,2a ve 2b). Tip 1, bir fay zonu boyunca süzülmeden itibaren yüzeyden kaynak şeklinde çıkana kadar tüm süreci kapsayan konveksiyon hücresi. Sıcaklık gradyanı genellikle 1 nolu kuyuda artar. Tip 2a ve 2b fay sızıntısının kontrol ettiği sistemler. Böyle bir alanda açılacak kuyudaki sıcaklık gradyanı geçirgen katmana kadar artar ve bu katmanın altında azalır (2a ve 2b nolu kuyular).

# ABD'DEKİ BÜYÜK HAVZA (GREAT BASIN) -1.520 Mw kapasite



Schematic Cross Section



*Great Basin Geothermal Systems: Distribution of known systems long established, but structural settings of systems not systematically defined*

ABD'deki Great Basin fay denetimli jeotermal sistemlerden biridir. Basin ve Range provensinin bir parçası olarak, Great basinde Senozoik boyunca büyük-ölçekli açılmalı kabuksal incelme meydana gelmiş ve metamorfik çekirdek kompleksleri yerleşmiştir. Tüm bu faktörler bölgede yüksek ısı akışına neden olmuştur. Geç Senozoik intrüzyonlar ve volkanizma açılma ile eş zamanlı gerçekleşmiş ancak Miyosen sonu itibariyle sönümlenmiştir. Bölgede küçük çaplı Senozoik volkanik çıkış merkezleri olsa da jeotermal sistemlerin çoğunluğu Kuvaterner normal faylanma ile ilişkilidir (magmatik olmayan).

Sismik veriler kabuk kalınlığının 24–44 km arasında olduğunu göstermiştir. Bu ince kabuk astenosferin yükselmesi ve yüksek ısı akışının olduğu bölgelerde (Moho'nun yüzeye yaklaştığı sahalar) görülür. Termal akışkanların köken ve yaşı hala tartışmalı olmasına rağmen Pleistosen (10–30 ka) yaşlı olduğu düşünülmektedir. Dixie Vadisinden elde edilen veriler termal akışkanların 12–14 ka yaşlı olduğunu beslenme yaşının ise 0.9-5 ka arasında olduğuna işaret etmiştir. Bu jeotermal sistemlerin sadece az bir kısmı yüzeyde belirti verirler (çoğu örtülüdür). Batı Anadolu'daki açılma rejimi ile ilişkili jeotermal sistemler veya tektonik olarak aktif kıta içi rift grabenleri (doğu Afrika rifti veya orta Avrupa'daki üst Rhine grabeni) diğer örnekler arasındadır. Faylar boyunca gerçekleşen akışkan hareketi kabuktaki stres tarafından denetlenir. Fay stres modeli kompleks fay sisteminden jeotermal enerji üretimi için uygun fayların belirlenmesinde oldukça faydalıdır. Bu kapsamda, genişmeli veya makaslamalı-genişlemeli faylar en uygun yapılardır. Fosil jeotermal akışkanların varlığı nedeniyle, uygun reenjeksiyon ve rezervuar basınçlarının korunması Great Basin'deki rezervuarların işletilmesi için oldukça önemli hale gelmiştir. Fay kontrollü jeotermal sistemlere reenjeksiyon yapılması kuyu yerlerinin dikkatli şekilde seçilmesini şart koşar. Aksi takdirde, yeraltına enjekte edilen soğuk akışkan geçirgen faylar boyunca üretim kuyularındaki termal akışkana girişim yapabilir. Enjeksiyon ve üretim kuyuları aynı fay bloğundaki aynı fay zonu boyunca yerleştirilmemelidir.

Magmatik olmayan konveksiyon baskın jeotermal sistemlerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

**1.2.1. Tipik rezervuar kaya tipleri:** Volkanik, plütonik veya sedimanter kayaç, sıcak su kaynakları civarındaki traverten ve silika çökelleri yeraltında rezervuar göstergesidir.

**1.2.2. Tipik akışkan tipleri.** Yüksek-Cl ve yüksek-HCO<sub>3</sub>, düşük-(Ca,Mg).

**1.2.3. Tipik arama yöntemleri**

- ✓ MT (Manyetotellürik) yüzeyde haritalama ve sığ sıcaklık sondajları ile desteklendiğinde 4500 m derinlikteki rezervuarlar için standart bir yöntemdir.
- ✓ Olay/vaka bazında <500 m derinlikteki sığ rezervuarlar için AMT (Audio-Manyetotellürik) ve CSAMT (Yapay Kaynaklı Audio-Manyetotellürik) gibi yöntemler diğer rezistivite teknikleridir.
- ✓ Gravite veya mikrogravite gibi yoğunluk yöntemleri litoloji, yoğun alterasyon (silisleşme) ve volkanlar veya havza geometrisinin belirlenmesinde kullanılır. Aktif sismikler sismik hız modellerinin geliştirilmesinde kullanılır.
- ✓ Volkanik alanlarda yansımali sismik genellikle zayıf sonuçlar verir ve sıcak akışkanları belirleyemez, ancak bir graben ve havza ortamında yapısal unsurların belirlenmesinde oldukça faydalıdır.
- ✓ (Uçaktan yapılan) manyetit etütler yüzey yakınındaki alterasyon zonlarının ve demirce zengin volkanik kayaçların haritalanmasında kullanılır.
- ✓ Jeolojik haritalama ve rezistivite etütleri ile birlikte jeokimyasal çalışmalar alterasyon kil örtüsünün ve sızma noktalarının haritalanmasında oldukça faydalıdır.
- ✓ Doğal polarizasyon (Self-potential) yöntemleri (doğal yüzey gerilim) düşük rölyefli alanlarda hidrojeolojik unsurların haritalanmasında kullanılır.
- ✓ Küresel konum belirleme sistemi ile birlikte kullanılarak (Global Positioning System) tüm yöntemler jeotermal potansiyel haritaların oluşturulmasında ve bölgesel jeotermal Coğrafik Bilgi Sistemi geliştirilmesinde kullanılır.
- ✓ İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) içinde termal akışkanların yatay şekilde dış akış yaptığı yapıların görüntülenmesinde kullanılır. Bu görüntülerde, akışkan üretimi ile ortaya çıkan çökmeler ve enjeksiyonun neden olduğu yükselmeler incelenir.
- ✓ Yüksek kırık yoğunluğuna sahip fay bloklarının ve ortamların belirlenmesi için fay oluşum mekanizmalarının analizi.

#### **1.2.4. Tipik hedefler**

Genişlemeli veya makaslamalı-genişlemeli fay rejimleri; fay kesişmeleri ve özellikle yüksek topoğrafik rölyef ile ilişkili yaklaşan levha sınırlarındaki açılma bölgeleri. Meteorik suların derin-sıcak bölgelere süzüldüğü sıra dağlar fay kontrollü, magmatik olmayan jeotermal sistemler için uygun hedeflerdir. Yaklaşan levha sınırları yay-gerisi havzalar, çek-ayır havzalar veya graben yapıları gibi çeşitli açılma ortamları içerir. Hidrolik gradyan ve faylarda potansiyel akışkan kanalları bu alanların jeotermal potansiyelinin kullanıma sunulması için belirlenmelidir. Yeni jeotermal santral teknolojileri ile bu fay kontrollü orta-entalpili ( $150\pm 30^{\circ}\text{C}$ ) jeotermal sistemler küçük yerleşimlerin olduğu alanlara enerji sağlamak üzere geliştirilebilir.

## **2. KONDÜKSİYON BASKIN JEOTERMAL PARAMETRELER**

Astenosferik anomalilerin olmadığı pasif plaka ortamlarındaki jeotermal unsurlar esas olarak kondüksiyon ağırlıklıdır. Kondüksiyon baskın hidrotermal sistemlerde, derin akiferler normal bir ısı akışıyla ısıtılır. Temel veya kristalen magmatik kayalarda (petrotermal sistem olarak da bilinir), yerel olarak granitlerden kaynaklanan artan ısı üretimi belirgin bir pozitif sıcaklık anomalisine neden olur (Soultz-sous-Forêt, Fransa, bölgesindeki granitlerde EGS rezervuarı). Petrotermal EGS kaynakları üretilebilecek akışkan barındırmazlar, bu nedenle, akışkan yapay bir yapısal ağ kullanılarak yeraltına enjekte edilir.

Kondüksiyon baskın jeotermal sistemler EGS teknolojisinin gelişmesiyle önem kazanmıştır. Böylece sıkı veya düşük geçirgenlikli akifer kayaları gibi kristalen kayalarda rezervuar oluşturulmasıyla kondüksiyon baskın jeotermal sistemler doğal koşullar geliştirilebilir. Bu sistemler, geçirgenliğin esas olarak faylar ve/veya litho- veya biyofasiyes tarafından denetlendiği hidrotermal ve hidrotermal olmayan (veya petrotermal, örneğin sıcak kuru kaya sistemi) şeklinde gruplandırılır.

1	Kraton-içi Havza Tipi	Orojenik Kuşak Tipi	Temel Tipi
2	<i>Fransa-Paris Havzası</i>	<i>Almanya-Unterhaching</i>	<i>Avustralya-Habanero</i>
3	Kraton-içi/Rift havzalar Pasif sınır havzaları	Kıvrım ve bindirme kuşakları Ön havzalar	Düz arazilerdeki sokulumlar Isı üreten kayalar
4	Sedimanter akiferler Derinlikle birlikte geçirgenlik/gözeneklilik	Sedimanter akiferler Derinlikle birlikte geçirgenlik/gözeneklilik Fay ve kırık zonları	Sıcak sokulum kayaları (granit) Düşük porozite/düşük gözeneklilik Fay ve kırık zonları
5	<b>Hidrotermal</b>	<b>Hidrotermal</b>	<b>Petrotermal</b>
6	<b>+</b>	<b>Kondüksiyon baskın sistemler</b> <b>Fay/kırık kontrollü</b> <b>Lito-biyofasiyes kontrollü</b>	<b>-</b>

Kondüksiyon baskın sistemlerin sınıflandırılma diyagramı (1-Sistem tipi, 2-Örnek lokasyon, 3-Plaka tektoniği açısından alanın özelliği, 4-Potansiyel jeotermal rezervuarın bulunduğu jeolojik ortam, 5- Isı transfer tipi, 6- Jeolojik kontrollere; *Moock, 2014'ten uyarlanmıştır*).

### 2.2.1. Magmatik jeotermal sistemler

Magmatik provenslerde, temelde yer alan kristalen (granitik gibi) kayalar önemli ölçüde ısı enerjisi taşırlar. Bu tür düşük geçirgenlikli-düşük poroziteli kayalar enjeksiyon ve üretim kuyuları arasında akışkan dolaşımını sağlamak üzere uyarı teknikleri kullanılarak rezervuarın geliştirilmesini gerektirir. Bu süreçte, kaya kütlesi ısı değiştirici (heat exchanger) olarak rol üstlenir. Bu tasarım [Sıcak Kuru Kaya](#) (Hot Dry Rock) olarak adlandırılır. Kuyular arasındaki artan geçirgenlik yapısına yönelik mühendislik uygulamaları kristalen kayalarda EGS geliştirilmesi çalışmalarının başlıca ayağını oluşturur. Bu tür sistemlerde yürütülen rezervuar mühendisliği etütlerinin en önemli parametresi stres alanıdır. Belirli koşullar altında rezervuar kayasının jeomekanik parametreleri ve zayıflık modelleri göz önüne alınmalıdır. Elektrięin etkin şekilde üretilebilmesi için su sıcaklığının 180°C'nin üzerinde olması gerekir. Kuyu çifti için öngörülen üretim hızının 50 l/sn ve kayaç sıcaklığının ise en az 200°C olması gerekir. Ancak su sıcaklığının düşük olduğu bazı özel durumlarda, kristalen kayacın doğrudan ısı kaynağı olarak ve elektrik üretimi için kullanılması da söz konusudur. Örneğin, orta Avrupa'da jeotermal enerji ortam ısıtması için yaygın şekilde kullanılmaktadır.

HDR alanlarının en önemlileri aşığıdaki tabloda verilmiştir. Magmatik temel kayaların özellikleri:

**2.2.1.1. Tipik rezervuar kaya tipleri:** Yüksek ısı üretim kapasitesine sahip kayalar kristalen ve intrüzif kayalardır. Bu kayalardaki ısı radyojenik bozuşma sonucu ısı üreten toryum ve uranyum gibi elementlerden kaynaklanır.

**2.2.1.2. Tipik akışkan tipleri:** Enjeksiyon yapılmalıdır.

Proje	Faaliyet dönemi	Tektonik rejim	Derinlik (km)	Sıcaklık (°C)	Öğrenilen dersler
Fenton hill, New Mexico/USA	1972–1996 (araştırma)	Genç bir kaldera altında magma odası	2.8-4.2	320	11 aylık su döngüsü sonucunda sıcaklıkta belirgin bir düşme yok. Daha etkin işletme için 3'den fazla kuyu gerekiyor
Rosemanowes/BK	1978–1991	Batolit-normal fay	2.5	85	Eyletik ve propant teknikleri
Soultz/Fransa	1987-devam (araştırma)	Horst, normal-doğrultu atımlı fay	3.3-5.0	200	Uyarı teknikleri, eyletik depremsellik
Cooper havzası/Avustralya	2003-devam (ticari)	Devrik havza, ters faylanma	4.2	240	YB-YS koşulları altında sondaj ve rezervuar stabilitesi



### **2.2.1.3. Tipik arama yöntemleri**

Sıcaklık, derinlik ve litolojiye bağılı olarak çeşitli jeofizik yöntemleri uygulanmaktadır. Manyetotellürik ve gravite yöntemleri granitik gövdeleri, sismik yansıma metodu ise kırık zonlarının tespit edilmesinde faydalıdır. Stres alanı ve hidromekanik koşulları belirlemek için jeosistem analizleri gereklidir. İlk aşamada, arama kuyusu delinerek petro-fiziksel ve mineralojik özellikler saptanarak stres alanı ve uyarım konseptleri teyit edilir.

### **2.2.1.4. Tipik hedefler.** Kristalen kayalar ve bunlar içindeki kırık zonları

### **2.2.2. Magmatik olmayan jeotermal sistemler – Kratoniçi havzalar ve orojenik kuşaklar**

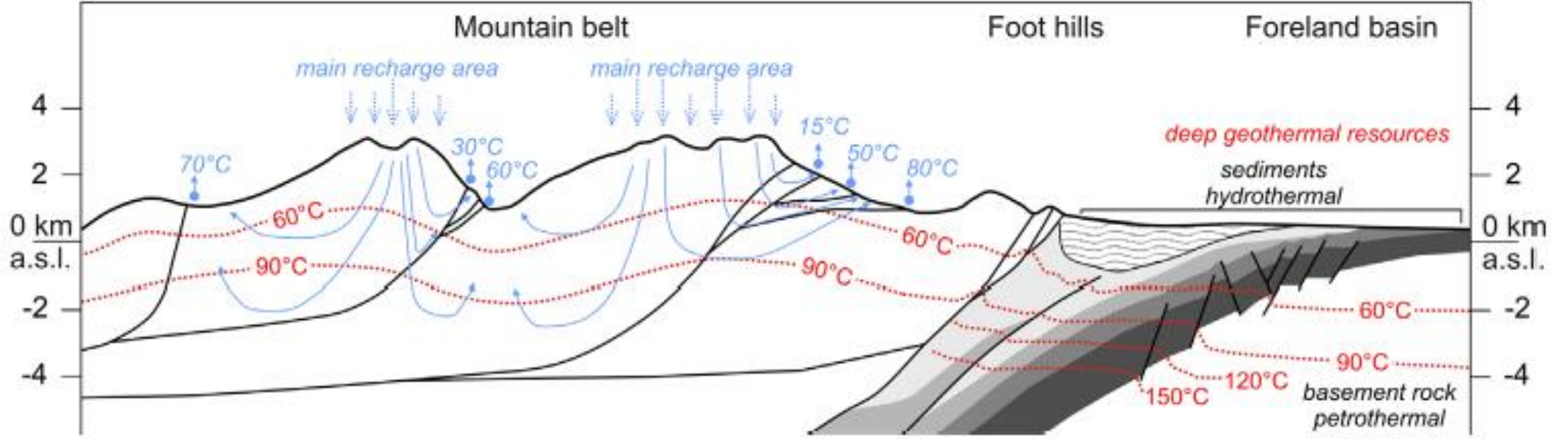
Magmatik aktivitenin bulunmadığı kondüksiyon baskın jeotermal sistemler, kratoniçi havzalar (kıtasal kabuğun duraylı kısımları) ve orojenik kuşaklar ve bunlarla ilişkili önülke havzalardaki (foreland basins) farklı jeolojik ortamlarda oluşurlar. Bu ortamlardaki tektonik aktivite yok veya çok azdır. Dağ kuşaklarındaki jeotermal sistemler nadiren hidrotermal rezervuarla ilişkili olup daha çok kabuksal ölçekteki faylar boyunca gerçekleşen derin sirkülasyon ilişkilidir. Bu alanlarda düşük-orta dereceli ısı akışı vardır. Sedimanter havzalarda, kondüksiyon baskın hidrotermal sistemler normale yakın bir ısı akışıyla ısıtılmış derin akiferlerde yer alırlar. Sedimanter havzalar termal suyun üretildiği ve kullanıldığı uygun akifer sistemlerine ev sahipliği yaparlar. Arama hedefi farklı sıcaklık seviyelerindeki yüksek poroziteli/yüksek geçirgenlikli veya yüksek poroziteli/düşük geçirgenlikli sahaların belirlenmesidir. Bu hidrotermal sistemler genellikle çok derinde oluşurlar (43 km). Sedimanter havzalardaki düşük geçirgenlikli sahalar geçirgenliğin (verimlilik) çeşitli rezervuar uyarım teknikleri ile geliştirilmesinin uygun olduğu EGS kaynaklarını temsil eder. EGS'nin tıkHz, sıcak sedimanter akiferlerdeki başarısı ana kayacın porozitesi ile temsil edilen depolama kapasitesinden etkilenir. Poroz tabakalardaki akışkanın ısı miktarı havza geometrisi ile yakından ilişkilidir.

Hidrotermal sedimanter enerji sistemleri için iki farklı havza türü mevcuttur: (I) açılma veya litosferik çökme havzaları (orta Avrupa havza sistemi) ve (II) orojenik kuşakların bulunduğu bölgelerde önülke havzaları (Alplerdeki Molasse havzası veya Rocky dağlarındaki batı Kanada sedimanter havzası). Önülke (Foreland) havzalarındaki sedimanter sekanslar orojen bölgesine doğru kalınlaşan kabuğun ağırlığı dolayısıyla kabuktaki çökmelerden (birkaç km) önemli derecede etkilenirler. Bu sürecin sonucu olarak litosfer bükülmeye başlar ve bu durum yerel açılma ve normal faylanmaya neden olur. Önülke havzalarının kama şekli ve rezervuar kayacının aşağıya doğru bükülmesi lokal pozitif jeotermal anomalilerin ortaya çıkmasına neden olur (özellikle faylar veya geçirgen katmanların önülke havzasının derin kısımlarından sığ kesimlere doğru ısı transferini sağladıkları zaman). Faylar ve resif kayaları Almanya'daki Bavarian Molasse Havzasındaki karbonatlardaki ana rezervuar hedefleridir. Saskatchewan'deki (Kanada) Williston Havzasındaki geçirgen ve poroz kumtaşları jeotermal kaynak barındırırlar. İlişikteki dağ kuşağında, yeraltı suyu akışı ve termal gradyan topoğrafik rölyeften kaynaklanan büyük hidrolik yükten geniş ölçüde etkilenirler. Dağ kuşaklarına ait vadilerin oldukça derin ve dar olmaları besleyen suyun sığ ölçekte süzülmesine neden olur ve bu sular daha sonra vadi tabanlarında veya sığ vadi eteklerinden tekrar yüzeye çıkarlar. Meteorik su sirkülasyonu nedeniyle lokal termal gradyanın meydana getirdiği yüksek termal anomaliler yüksek dağların altında (15–20°C) termal azalımlar da vadilerin altında (30–50°C) oluşur. Sığ kesimlerdeki jeotermal gradyan süzülen yağış suyunun kaya kütesini soğuttuğu beslenme alanlarında azalır. Dağ sıralarındaki jeotermal sistemlerin verimliliği ana kayacın geçirgenliği tarafından kontrol edilir. Geçirimlilik meteorik suyun özellikle yüksek rölyefli sahalarda süzülmesine olanak verir. Yüksek geçirgenlikli faylar akışkanların yüzeye kadar ulaşmalarını sağlayan kanal görevi üstlenirler. Sonuç olarak, yatay ısı transferi ile birlikte kırıklı kayacın yüksek geçirgenliği, yeraltı suyu akışı ve derin sirkülasyonda olan akışkanlar dağ kuşaklarındaki sıcak su kaynaklarının oluşmasındaki en önemli mekanizmalardır.

Termal suların sıcaklıkları süzülen suyun yeraltındaki konaklama süresine, akışkanın sirkülasyon derinliğine, kayaç geçirgenliğine, ana fayların geometrisine, fayların sıçramasına ve tabaka düzlemlerine bağlıdır. Üretim hızı zaman içindeki beslenme hacmine göre ayarlandığı sürece, bu tür jeotermal sistemler sıcak su üretimi için uygundur. Dağlık alanlarda meteorik suyun yeraltındaki **geçiş süresi** kayacın etkin geçirgenliğine bağlı olarak birkaç on yıl ile 5,000 yıl arasındadır. Geçiş süresi akışkanın beslenme bölgesinden yeraltına nüfuz ettiği andan itibaren tekrar yeryüzünde kaynak olarak çıkmasına kadar geçen zamana karşılık gelir. Dağları besleyen su ortalama önülke havza rakımı ile aynı olan vadi tabanlarında tahliye olduğundan dağ kuşakları ve ilişkili önülke havzaları hidrolik olarak bağlantılı değildir. Dağ kuşaklarında dolaşımda olan meteorik suyun süzülme derinliği oldukça sığdır ve bu nedenle, önülke havzasına doğru derin sirkülasyon için su yeterli değildir.

Önülke havzalarının aksine, litosferik çökme sonucu oluşan kratoniçi havzalar genellikle çeşitli alt gruplara ayrılır. Kratoniçi havzaların uzun gelişim süreci akarsu çökelleri, silisiklastikler, denizel karbonalar, çamur ve evaporitlerden meydana gelen birkaç km kalınlığında sediman dolguları oluşturmuştur. Havza evrimi ve çökme hızının faylanma ve fay oluşum karakteristikleri, diyajenetik süreçler ve böylece ortaya çıkan azalan veya artan porozite üzerinde büyük etkisi vardır. Yüksek ve düşük porozite alanları litoloji, faylanma ve diyajenez tarafından denetlenir. Geçirgenlikteki anizotropi ya litoloji ya da fay veya her ikisi tarafından kontrol edilir.

Uygulamalı havza analizi ve sekans stratigrafisi sedimanter havzalardaki kondüksiyon baskın jeotermal sistemlerin geliştirilmesindeki en önemli adımlardan biridir. Bir sonraki yansıda görüldüğü üzere, jeotermal rezervuarlar havzaların farklı kısımlarında yer alırlar. Tuz oluşumları üzerindeki kabuksal bölgeler, tuz kayasının yüksek termal iletkenliğinin lokal olarak tuzu üzerleyen litolojilerde pozitif termal anomali oluşturması nedeniyle konut ısıtması için uygun jeotermal rezervuarlar teşkil edebilir.



Orojenik kuşak ve önülke havzalarındaki jeotermal sistemler. Kırmızı kesik çizgi: isoterm dağılımı, beslenme lokasyonları, fay geometrisi ve havza. Mavi çizgiler – topoğrafya kontrollü hidrolik yük ve yatay ısı hareketi nedeniyle oluşan su akış hatları, mavi oklar - çıkış sıcaklıkları.

Havzanın derin kısımlarındaki (3 km derinlikte) jeotermal sistemler üretimi arttırmak için kullanılacak EGS teknolojisi için gerekli olan 50–70 l/sn akış hızının sağlanması koşuluyla enerji ve ısı üretimi için uygundur. Büyük-ölçekli enjeksiyon ve başarılı hidrolik uyarım stres yönü ve büyüklüğünün bilinmesini gerektirdiğinden, EGS teknolojisinin kullanılmasındaki kritik parametrelerden biri de in-situ stres alanıdır. Kayma yatkinlik yöntemi uyarım öncesinde fay reaktivasyonu potansiyelinin belirlenmesi için uygun bir metottur. Büyük-ölçekli enjeksiyon sırasında uyarılmış deprenselliği en aza indirmek için bu işlem gereklidir.

### **2.2.2.1. Tipik rezervuar kaya tipleri**

Rüzgar ve nehir çökellerine ait silisiklastik birimler gibi karasal sedimanter kayalar ile karbonat sekanslarına ait derin deniz sedimanları, şeyl ve pelajik killer, deltayik sedimanlar H<sub>2</sub>S için kaynak kayaç olabilir.

### **2.2.2.2. Tipik akışkan tipleri:**

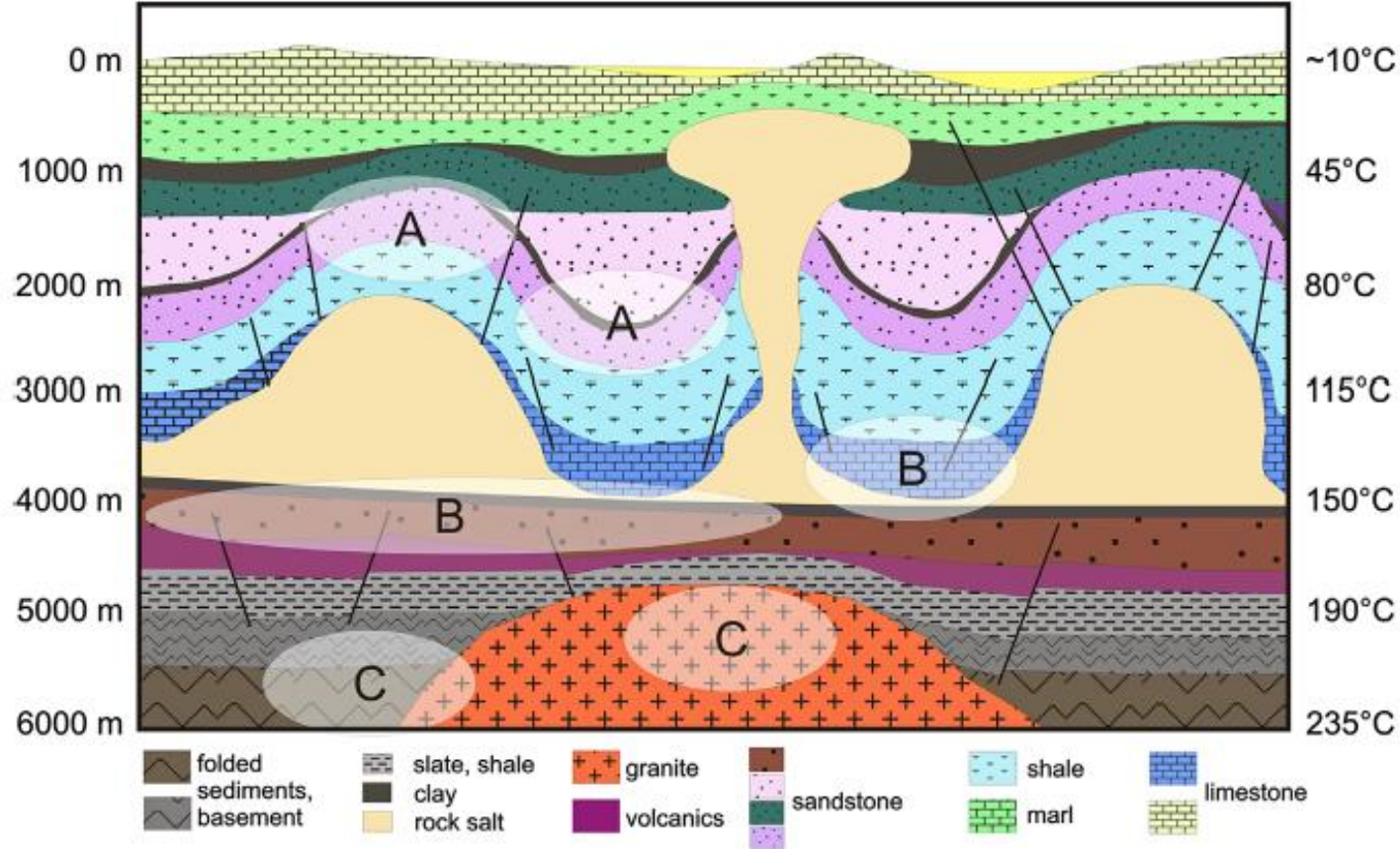
Tipik Cl salamuraları. HCO<sub>3</sub> bakımından zengin su infiltrasyonu.

### **2.2.2.3. Tipik arama yöntemleri**

- ✓ D/3D sismik etütler
- ✓ Mevcut ise hidrokarbon arama çalışmalarından elde edilen sismik yansıma verilerinin yeniden değerlendirilmesi.
- ✓ Mevcut kuyu ve sismik verilerin ön çalışması. Manyetotellürik ve yansıma sismik verilerinin birlikte değerlendirilmesi.
- ✓ Kuyu loğu ve karot verisi dahil arama kuyuları. Genellikle, arama kuyuları gelecekte üretim kuyusu olarak planlanırlar. Bundan dolayı bunların kuyu çapları gaz kuyularına göre daha geniştir.

### **2.2.2.4. Tipik hedefler:**

Sedimanter kayalardaki, fay ve kırık zonlarındaki, faylardaki bozunma zonları ve karbonatlı kayalardaki karst zonlarındaki yüksek poroziteli/yüksek geçirgenlikli veya yüksek poroziteli/düşük geçirgenlikli zonlar.



Farklı derinlik ve sıcaklık aralıklarında kraton içi sedimanter havza ve jeotermal sistemlerin şematik kesiti. Sıcaklık için ortalama jeotermal gradyan  $32^{\circ}\text{C}/\text{km}$  olarak alınmıştır. A – 3 km'den sığ jeotermal sistemler uygun sıcaklıkta ise konut ısıtması için uygundur, B – 3 km'den derin sığ jeotermal sistemler elektrik ve ısıtma için uygundur, C – çok derin jeotermal sistemler ( $> 4$  km) potansiyel HDR uygulaması için uygundur.