

**J E O T E R M A L**

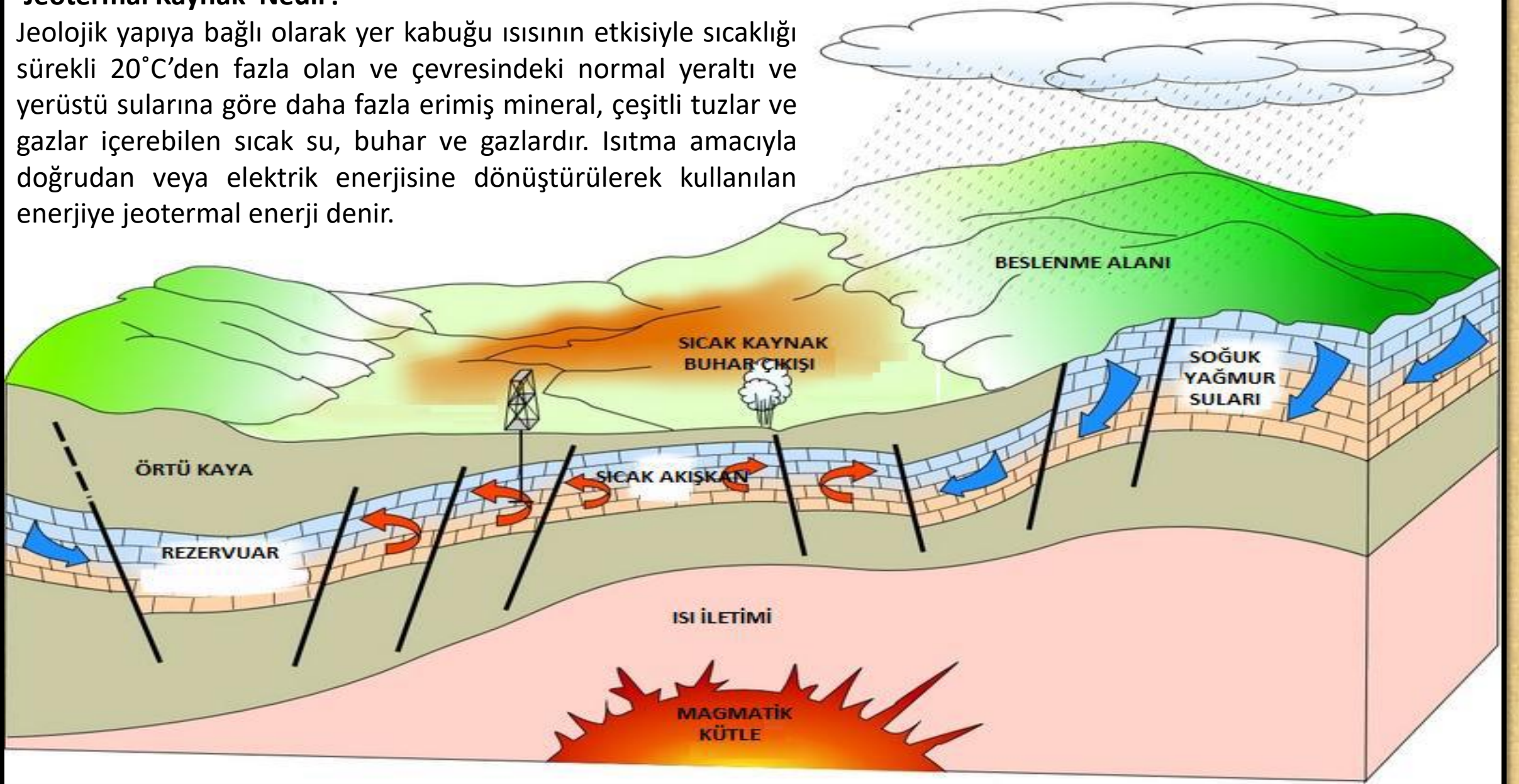
***Kaynak Araştırmalarında  
Yerbilimleri alışmalarının  
Önemi***

***Prof. Dr. Mustafa AKGÜN***

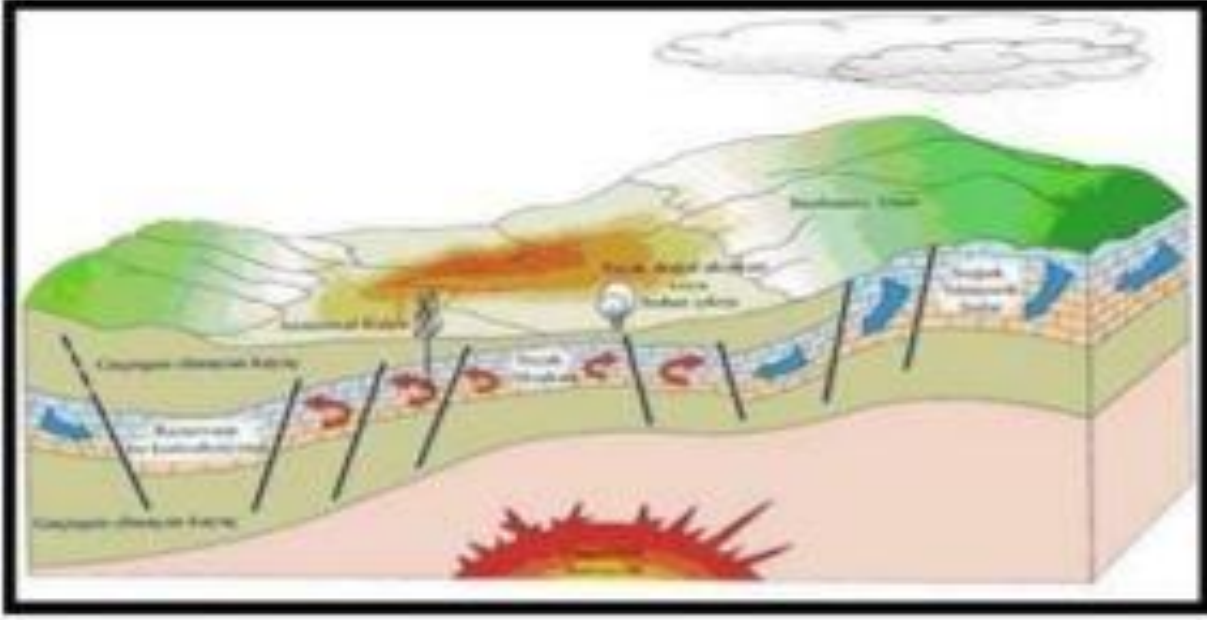
## Soru : Jeotermal Çalışmalarda Aranması Gereken Nedir?

### Jeotermal Kaynak Nedir?

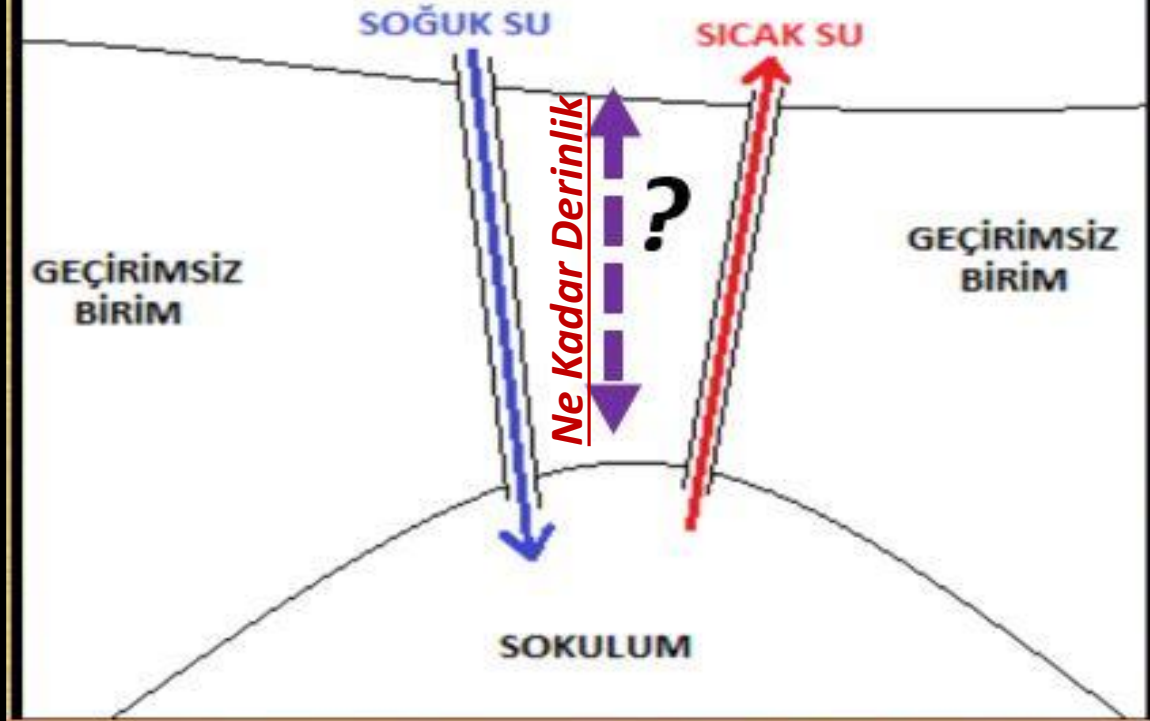
Jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı sürekli 20°C'den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlardır. Isıtma amacıyla doğrudan veya elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılan enerjiye jeotermal enerji denir.



## Soru : Jeotermal Çalışmalarda Aranması Gereken Nedir?



- Jeotermal sahalarda sıcak kaya ve yüksek yeraltısuyu sıcaklığı jeotermal olmayan sahalarla kıyaslandığında; daha sığ yerlerde bulunur çünkü; magmanın kabuğa doğru yükselmesi nedeniyle ısıyı da taşımaya, kabuğun incelmesi yerlerde yüksek sıcaklık farkından oluşan ısı akışı, yer altı suyunun birkaç kilometre derine inip ısındıktan sonra yüzeye doğru yükselmesidir.



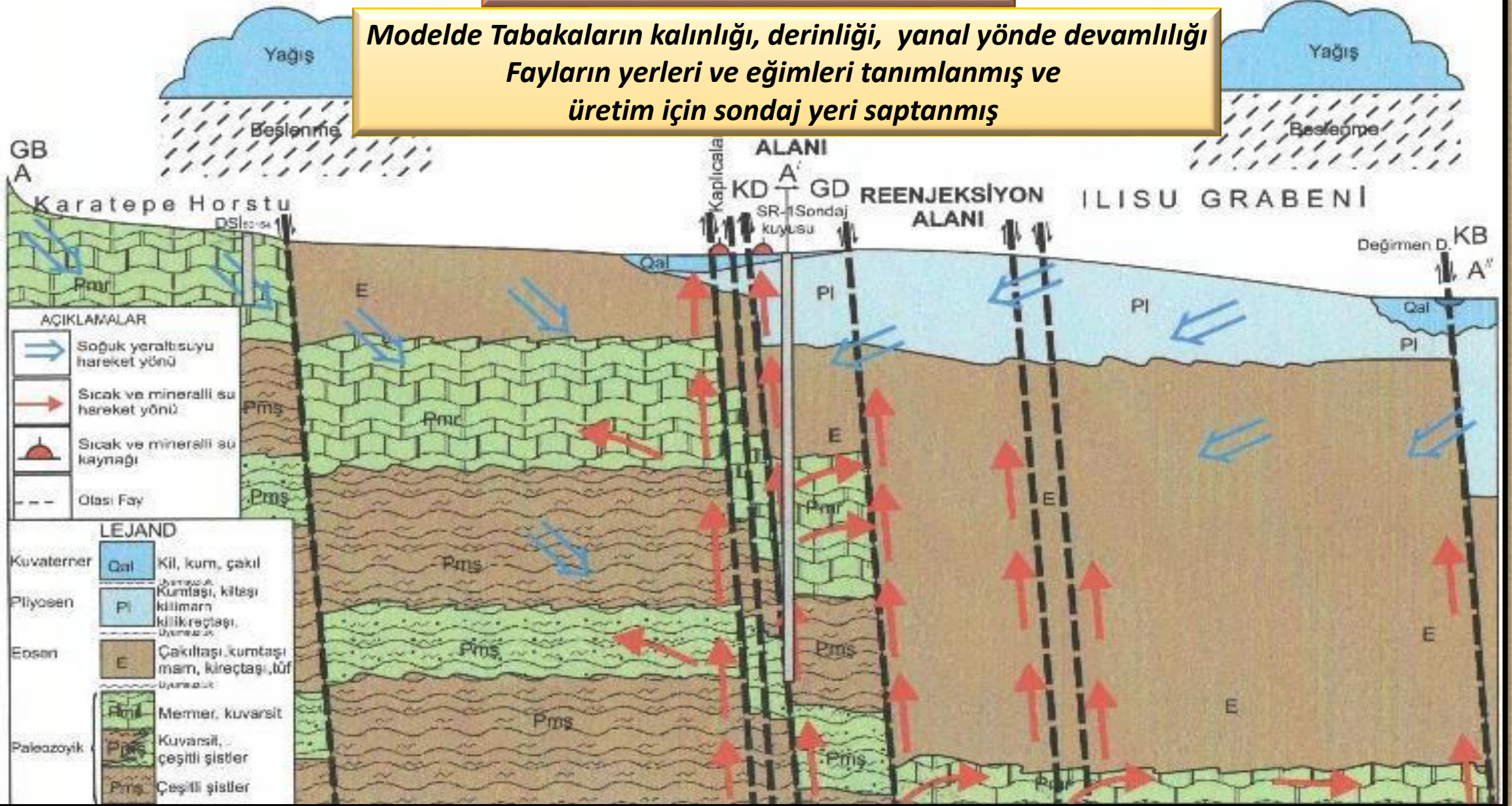
*Bu bilgiye ulaşmak için kabuk kalınlığı araştırmalarının yapılması gerekir.*

*Bu araştırmalarda da araştırma derinliği km bazında olmak zorunda.*

*Bu aşamada kendimize sormamız gereken soru en ekonomik şekilde km bazında derinlikte bilgi nasıl alınabilir?*

**Sonuçlanmış Jeotermal Kaynak Modeli**

**Modelde Tabakaların kalınlığı, derinliği, yanal yönde devamlılığı  
Fayların yerleri ve eğimleri tanımlanmış ve  
üretim için sondaj yeri saptanmıştır**



## ***Soru : Bu Durumda Jeotermal Kaynak Aranmasında Gereken Nedir?***

1. Önce jeotermal kaynak içerebilecek alanların varlığı araştırılır.

- Bu araştırmalarda hedef en verimli ve ekonomik yöntemler ile bu çalışmaların yapılması olmalıdır.
- Bunun için önce en düşük maliyeti olan yöntemlerle araştırılması gereken konular;
  - Soğuk su kaynakları için hidrojeolojik koşullar ve beslenme alanları
  - Hazne kaya,
  - Örtü kaya,
  - Hazne kayanın gözenekliliği, geçirimliliği

2. Ön çalışmalar sonucunda çalışılacak alanın jeotermal alan olma olasılığı yatırım yapmaya değecek kadar yüksek olursa maliyeti daha yüksek olan yöntemler kullanılarak;

- Termal alanların yerinin, yayılımının,
- Hazne kaya derinliği,
- Sıcaklığı
- Verimi ile
- Açılacak kuyuların yerlerinin belirlenmesi çalışmaları ve
- Ayrıca jeokimyasal özellikleri, kabuklaşma, çevre kirlenmesi ve ekonomik tuz çökeller gibi özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmalıdır.

3. Yatırıma karar verirken mühendislik konusu olarak yanıtlanması gereken temel soru;

- Başarılı veya başarısızlık durumlarında araştırma ve açılacak kuyuların masrafları ne olacak?
- Bu durumda mali Risk ne olacak?
- Bu riski azaltmak için neler yapılabilir?

# SONUÇ; JEOTERMAL KAYNAK ARAŞTIRMALARINDA EKONOMİK OLARAK İZLENMESİ GEREKEN YOL NE OLMALIDIR?

## Maliyeti Düşük Çalışmalar

1. Çalışma alanı ile ilgili olarak geçmişte yapılmış çalışma sonuçlarının derlenmesi.
2. Uzaktan algılama yöntemleri , hava fotoğrafları ve uydu verileri.

## Maliyet Gerektiren Çalışmalar (Yerinde yapılması gereken araştırmalar)

3. Jeoloji ile ilgili araştırmalar
4. Hidrojeoloji ve jeokimya yöntemleri ile yapılan çalışmalar
5. Önce yüzeyde ve sonrada kuyu içinde yapılabilecek Jeofizik çalışmalar;
  - 5.1. Ekonomik olarak doğal kaynaklı yöntemler
  - 5.2. Masrafı fazla olacak olan yapay kaynaklı yöntemler

## Maliyeti Daha da Arttıran Çalışmalar

6. Sonuçları tanımlı duruma getirmek için gradyan arama ve üretim kuyularının açılması
7. Sonuç olarak fizibilite raporu hazırlanır ve yatırımcı yönlendirilmiş olur.

## 1) Eski Çalışmaların İncelenmesi ve Değerlendirilmesi Ne Demek?

Çalışma maliyetlerinin azaltmak için önce daha önce çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılmış çalışma sonuçları kullanılır.

**Bu verilerle ne elde edilebilir?**

- Mevcut haritalar üzerinden çalışma alanının yeri, morfolojisi, jeolojik özellikleri ve benzeri konularda değerlendirilme çalışmaları yapılabilir.
- Ayrıca çalışma alanı ve yakın çevresi ile ilgili olarak geçmişte yapılmış
- jeoloji ve jeofizik çalışmalardan elde edilen arazi verilerinden yararlanılır.
- Varsa daha önce açılmış sondaj logları incelenebilir.
- Geçmişe ait hidrojeolojik ve iklim özellikleri değerlendirilir.
- Bölgenin geçmiş depremselliği araştırılır.

## 2) Uzaktan Algılama (hava ve uydu verileri) ile İlgili Araştırmalar

**Bu çalışmalarda amaç**

- Hem çalışma alanının jeotermal kaynak olma olasılığının araştırılması
- Hem de arazinin mevcut özelliklerinin yapılması gereken Jeolojik ve jeofizik çalışma koşullarını nasıl etkileyebileceği konusunda saptanmasıdır.

**Bunun için çalışma alanı ile ilgili olarak daha önce hazırlanmış olan hangi kaynaklara ulaşmak gerekir?**

- ☞ Arazinin tektonik ve litolojik haritasına bakılabilir.
- ☞ Akarsular ve bitki örtüsü hakkında bilgiler derlenir (Morfolojisi, topoğrafyası).
- ☞ Gelecekte yapılacak arazi çalışmalarının sürdürülebilmesi yönünden, mevsimsel etkilerin belirlenmesi konusunda örneğin çalışma kışın yapılacaksa çalışma alanında kar tutmayan yerlerin araştırılması yapılır.



### 3) Bu Aşamaya Kadar Maliyeti Düşük Olan Ön Araştırmalar Yapıldı.

- Elde Edilen Sonuçlar nasıl kullanılabilir?
- Hem Çalışma Alanının Jeolojik Özelliklerini Tanımlanması Hem De Jeofizik Çalışmalara Ön Bilgi Sağlama Yönünden Olası Yer Altı Modelinin Oluşturulmasıdır.

**Not: Yerbilimleri ile ilgili çalışmalarda Stokastik Kavramlarla yeraltı modelleri yapılır.**

- Modelleme Kavram Olarak 3 Başlık Altında İrdelenir.
  1. Stokastik Modelleme; rastgele değişebilen parametreler kullanılarak yapılır. Kesin sonuç yoktur olasılık ve istatistik kavramlara göre sonuç verilir (ortalama değer ve standart sapma kullanılması gerekir)
  2. Deterministik Modellemede ise sistemin gelecek durumlarının belirlenmesinde hiçbir rastgelelik olmayan sistemlerdir.
    - Yani iyi modellenmiş bir deterministik sistem için, aynı şartlar altında ve aynı başlangıç durumları için sistem her zaman aynı sonucu verecektir.
  3. Üçüncü bir model yapısı olarak literatürde Hibrit Model ile karşılaşılabilir. Hibrit Model, Deterministik ve Stokastik sistemlerin birleşimini ifade ediyor. Ancak sistemin barındırdığı en ufak bir stokastik unsur sistemi de stokastik yapacağından bu tanımlamayı kullanmayan da ciddi bir çevre söz konusu.

**Not: Yerbilimleri ile ilgili çalışmalarda Stokastik Kavramlarla yeraltı modelleri yapılır.**

**1. Stokastik Modelleme;**

- ❖ Yeraltı fiziksel özellikleri yönünden yatay, yarı sonsuz, homojen ve izotrop katmanlardan oluşmaz.
- ❖ Heterojen, eğimli ve anizotrop katmanlardan oluşur.
- ❖ Bu nedenle, rastgele değışebilen parametreler kullanılarak yapılır.
- ❖ Kesin sonuç yoktur olasılık ve istatistik kavramlara göre sonuç verilir.
- ❖ Bunun için temel olarak ortalama değeri ve standart sapma kullanılır.
- ❖ Stokastik modelin kalitesi arttırmak için hem çok sayıda hem de çok çeşitli verilerle çalışmak gerekir.
- ❖ Bu nedenle, yerbilimleri ile ilgili olarak teknolojik olanaklarla beraber bilgisayar olanaklarını da sonuna kadar kullanmalıyız.

**Hazırlanacak Stokastik Modellerle;**

**Termal alanın jeolojik sınırlarını belirleme, üç boyutlu yapısını ortaya çıkartılması hedeflenir.**

**Bu modeller kullanılarak;**

☞ **Jeotermal alanın yapısal ve tektonik haritalarının yapılması, bu haritalarda genç ve yaşlı fayların hatları, kesişme yöreleri, kırık ve çatlaklar, tabaka eğimleri, kıvrımlar, kıvrım eksenleri ve dalımları, gerilme ve sıkışma tektoniğine bağlı oluşan graben sistemleri, bindirmeler, tektonik basınç yönleri gibi genel çalışmalar yapılır.**

☞ **Jeolojik haritalarla farklı litolojik çökellerin veya volkanitlerin ayırtlanması ve yaşlarının belirlenmesi**

☞ **Genelleştirilmiş stratigrafi kesiti hazırlanarak örtü kaya ve hazne kayanın belirlenmesi ve ısı kaynağının araştırılması**

☞ **Örtü, hazne kayaların izopak haritaları ve jeotermal alanların blok ve panel diyagramlarının çizilmesi**

☞ **Arazide bozunmamış ve hidrotermal alterasyon zonlarından alınan örneklerin mineralojik ve petrografik incelenmesi gibi çalışmalar.**

#### 4) Hidrojeoloji ve Jeokimya Araştırmaları Yapılarak;

- ☞ *Jeotermal alanlarda, yağış ve sıcaklığın ölçülebileceği uygun yöntemleri belirlemek*
- ☞ *Örtü ve hazne kayaların gözenekliliği ve geçirgenliği hakkında bilgi edinmek*
- ☞ *Beslenme alanları ve yeraltı suları akım yönünü belirlemek*
- ☞ *Sıcak ve soğuk sular arasındaki ilişkileri belirlemek*
- ☞ *Sıcak suların yüzeye çıkış şekli ve çıkış yörelerini belirlemek*
- ☞ *Havzanın hidrojeolojik bütçesini hazırlamak*
- ☞ *İzotop yöntemleri ile sıcak suların kökenleri, yaşı ve sıcaklıkları hakkında bilgi edinmek*
- ☞ *Kimyasal jeotermometrelerle hazne kaya sıcaklıklarını tahmin etmek*
- ☞ *Yüzeye erişen sıcak suların kimyasal analizinde hazne kayadaki suların kimyasal yapıları hakkında ön bilgi sağlamak.*
- ☞ *Suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerini incelemek*
- ☞ *Yüzeyde izlenen buhar veya sıcak suların debileri ve sıcaklık ölçümleriyle elde edilecek minimum enerjiyi tahmin etmek*

## **5) Jeofizik Çalışmalarda Hedeflenen Konular;**

Jeofizik çalışmalar; sıcaklık, mineralizasyon, gaz ve akışkan hareketi gibi akışkan parametreleri ile faylanma, bazı litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki ani değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmalıdır.

Jeofizik yöntemlerin seçiminde; uygulanacak olan yöntemin

- Ülkemizde yaygın olan düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlerin özelliklerini algılayabilmesi,
- Topoğrafik olarak arızalı bölgelerde derinliği 500 m'den fazla altere olmuş formasyonlar altında kalan rezervuarların büyüklüğünü algılayabilmesi,
- Sıcak suyun hakim olduğu tuzluluğu görel olarak yüksek olan sistemleri tanımlamak için olması gerekir.

**Bu araştırmalar kullanılabilecek yöntemler ve elde edilebilecek parametreler genel olarak;**

***a. Jeotermal sıcaklık ölçümleri***

***b. Jeomanyetik yöntem***

***d. Gravite ölçümleri***

***e. Yapay ve doğal kaynaklı elektrik yöntemler.***

***f. Yapay ve doğal kaynaklı elektromanyetik yöntemler***

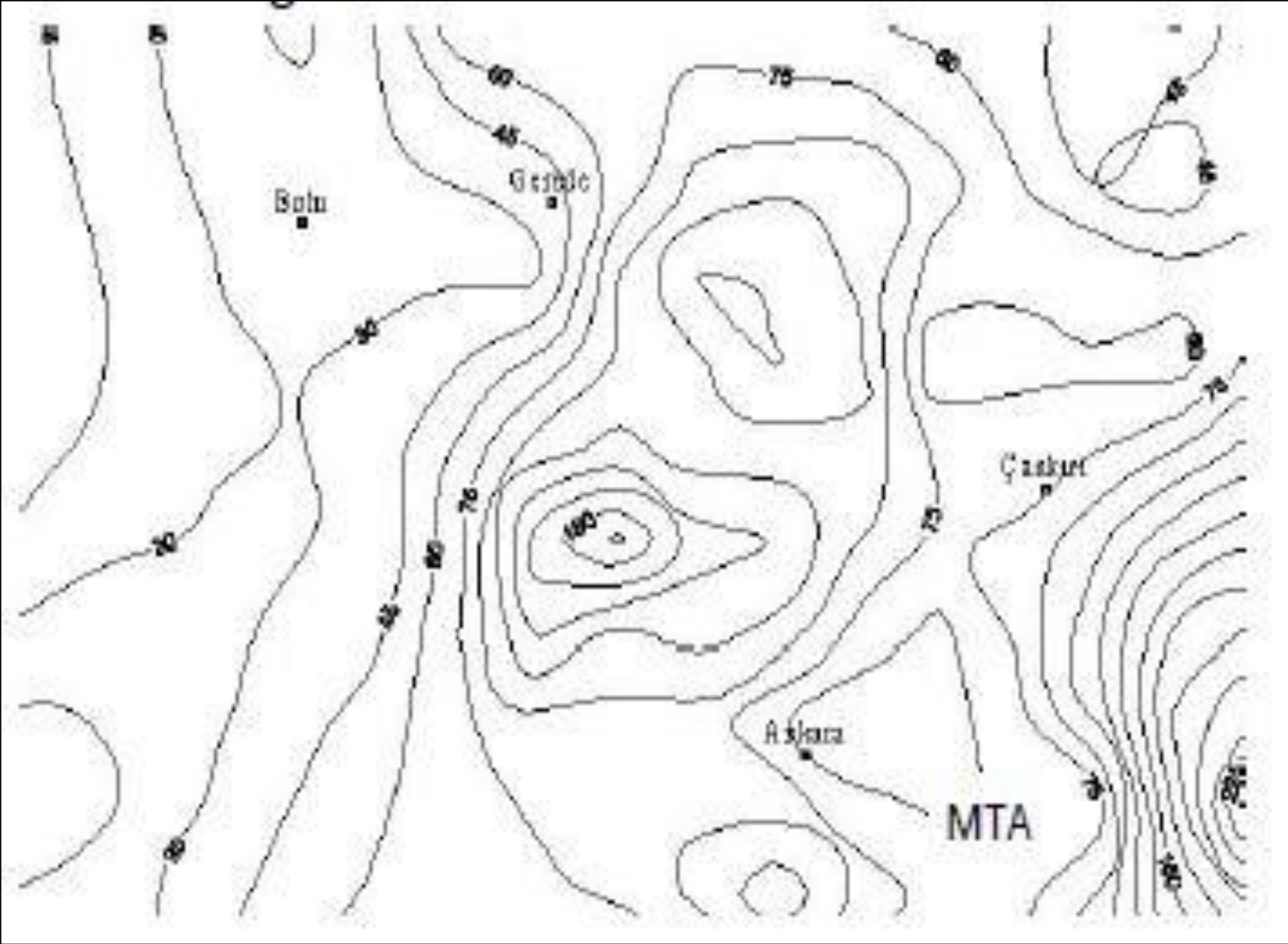
***g. Yapay ve doğal kaynaklı sismik ölçümlerdir.***

# Sıcaklık Ölçümleri

- ❖ Jeotermal enerji için açılan kuyular 1500-2000 m'de ekonomik olacağını düşünürsek jeotermal gradyan  $20^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  önemli artış gösteren yerlerde seçilmesi önem taşır.
- ❖ Jeotermal sahaların anormal yüksek ısı akışlarına sahip olduğu bilinmektedir.
- ❖ Eğer bir ısı kaynağı varsa, ısı akısı normal büyüklüğünün üzerine çıkar.
- ❖ Isıl arama teknikleri, gerçek boyutların ve bir jeotermal sistemin potansiyelinin tahmininde çok önemlidir.
- ❖ Isıl arama Yöntemleri;
  1. Yüzey ve sığ sıcaklık ölçmeleri (sığ ile altı metreye kadar olan derinlikler kastediliyor),
  2. Yüz metre derinliğe kadar jeotermal gradyen ölçmeleri,
  3. Daha pahalı bir yaklaşım olan yüz metreden daha derinlerdeki ısı akışı tayinleri.
- ❖ Ucuz olan yüzey ve sığ ölçmelerdeki güçlük, bunların yağış, filtrasyonu, yeraltı suyu kadar topografik faktörlerdende etkilenmesidir.
- ❖ Birçok araştırmacı 15-150 metreler arasındaki kuyulardaki derinliğin fonksiyonu olan sıcaklık ölçmelerini jeotermal arama yolu olarak kullanmışlardır.
- ❖ Bu derinlikler yüzeye yakın ısıl sapmalar dışında kalmaları dolayısıyla optimumdurlar. Bununla birlikte yeraltı suyunun yanal hareketleri gözönüne alınmalıdır.
- ❖ Ticari ve ekonomik imkanlar vadeden jeotermal sahaların çoğunda bu derinliklerde gradyenler  $7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 'dir. (Normal gradyenler  $2-3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .)
- ❖ İdeal olarak hem gradyen, hem de ısı akısı ölçmeleri kullanılmalıdır.
- ❖ Fakat normal ısı akışının olduğu geniş alanların tanımlanmasında ısı akışı normalin üzerinde olup ve bu da, ısı akışı normal olan anakayaç ısı üretim ölçmeleri ile birleştirilince, hidrotermal konveksiyon sistemlerinin ve belki de genç sıcak sokulum kütlelerinin varlığı ortaya çıkarılabilir.

### Isı akısı haritası.

**Harita incelendiğinde kuzey doğusunun ısı akısı değerleri yüksektir.  
Bu alan Kızılcahamam civarına denk düşmektedir**



### Isı Akısı Çalışmaları

- Jeotermal sahaların anormal yüksek ısı akışlarına sahip olduğu bilinmektedir.
- Eğer bir ısı kaynağı varsa, ısı akısı normal büyüklüğünün üzerine çıkar. Isıl arama teknikleri, gerçek boyutların ve bir jeotermal sistemin potansiyelinin tahmininde çok önemlidir.
- Normal şartlarda derine doğru her 33m de 1 derece ısı değeri artmaktadır.
- Ancak jeotermal sahalarda ısı akısı değerleri metre başına değişim normal değerlerin üstünde olur.

# Konumuz: Jeotermal Kaynak Araştırmalarında Kullanılabilecek Jeofizik Yöntemler Yöntemlerin seçiminde ve kullanma sıralamasında önemli olan kavramlar nelerdir?

## Enerji Kaynaklarına Göre Yöntemlerin Sınıflanması.

- Doğal Kaynaklı Yöntemler; Enerji kaynağı olmadığı için maliyeti düşüktür.
  - Gravite
  - Manyetik
  - Doğal Potansiyel
- Yapay Kaynaklı Yöntemler; Enerji kaynağı olması gerektiği için maliyeti yükselir.
  - Sismik yöntemler
  - Elektrik ve Elektromanyetik elektromanyetik yöntemler.

## Yüzeyde Uygulanan Yöntemler

- ❖ Bu yöntemlerin uygulanması yeryüzünde noktasal veya profil bazında ölçümlerle yapılır.
- ❖ Araştırma derinliğı arttırılabilir ancak tabaka ayrımığı kuyu içi ölçümlere göre daha azdır.

## Kuyu İçinde Uygulanan Yöntemler

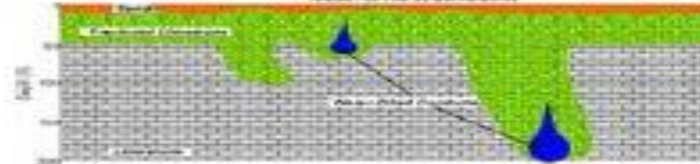
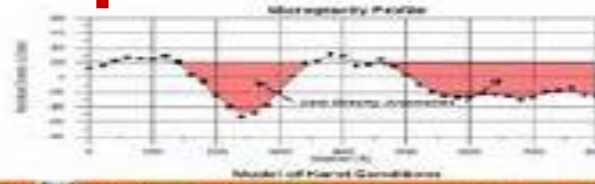
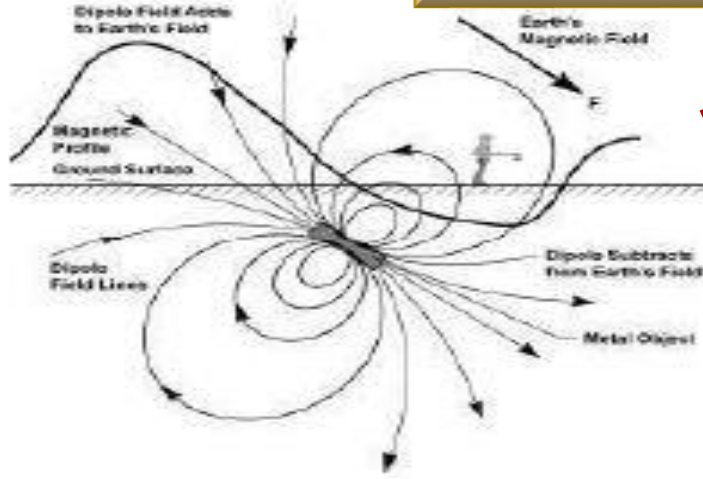
- ❖ Yöntemin uygulanması için ölçümlere uygun kuyuların açılmış olması gerekir.
- ❖ Tabaka ayrımığı yüzey ölçümlerine göre daha yüksek olur.



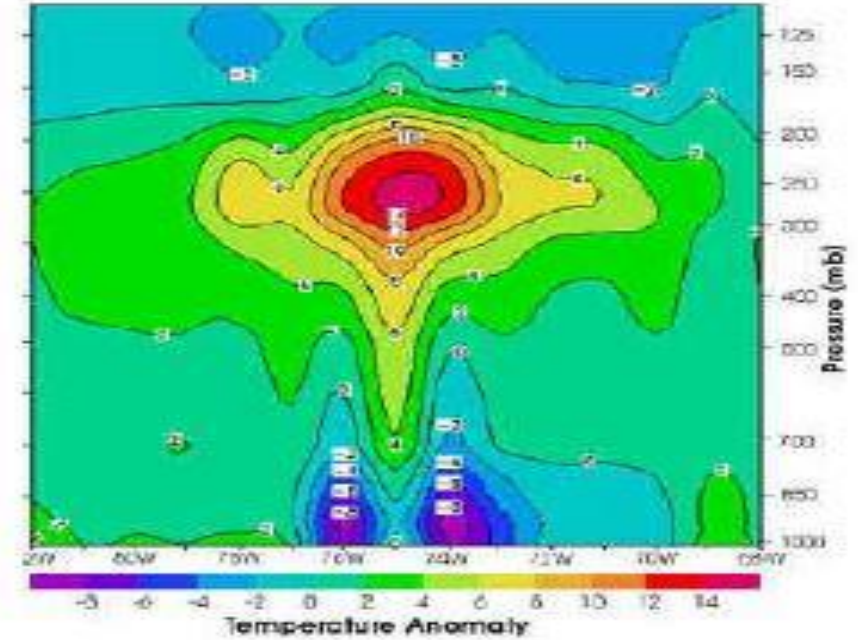
# Anomali (Belirti)

Tüm jeofizik yöntemler içerisinde sonuç olarak aranan, bir anomalidir. Anomali, verilen bir yerde yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların normal ya da ortalama değerden farklı olan ve her yöntem için farklı bir biçim gösteren değerlerin bütününe denir.

## Profil Bazında Anomali Değişimi Ve Yeraltı Modelleri



## Harita Bazında Anomali Değişimi



# Enerji Kaynaklarına Göre Jeofizik Yöntem Sınıflaması

## A. Doğal Kaynaklı Yöntemler :

- ❖ Ekonomiktir.
- ❖ Bu yöntemlerde sadece alıcılar kullanılır.
- ❖ Enerji kaynağı olarak doğanın yarattığı kaynaklar kullanılır.
- ❖ Az kişiyle çalışmalar yapılır (1 kişi)
- ❖ İnsanın ulaşabileceği her türlü alanlarda çalışabilir.
- ❖ Alansal çalışmalardır.
- ❖ Araştırma derinliği doğanın kontrolündedir.
- ❖ Örneğin gravite yönteminde km bazında derinliklerden bilgi sağlanabilir.
- ❖ Çalışma hızı yüksektir.
- ❖ Karada, havada, denizde ve uzayda uygulanabilir.

# Enerji Kaynaklarına Göre Jeofizik Yöntem Sınıflaması

## A. Yapay Kaynaklı Yöntemler :

- ❖ Bu yöntemlerde yapay enerji kaynağı, verici ve alıcılar kullanılır.
- ❖ Enerji kaynağı olarak çeşitli kaynaklar kullanılır.
- ❖ Çok kişiyle çalışmalar yapılır (en az 3 kişi)
- ❖ Profil bazında çalışmalar olarak tanımlanır.
- ❖ Araştırma derinliği enerji kaynağına ve profil uzunluğuna bağlıdır.
- ❖ Profil bazında çalışmalarda çalışma alanındaki yüzey örtüsü ve topoğrafyanın konumu önemlidir.
- ❖ Çalışma hızı doğal kaynaklı yöntemlere göre düşüktür.
- ❖ Karada, havada, denizde ve uzayda uygulanabilir.
- ❖ Çalışma süresi, ekipman çokluğu, işçi sayısı ve arazide noktalar arasında yer değiştirme süresine bağlı olarak masraflı yöntemlerdir.

## Kullanılacak Yöntemin Belirlenmesi

Jeofizikte, probleme yönelik uygun yöntemin belirlenebilmesi için aşağıdaki soruların yanıtlanması gerekmektedir.

- Problem tabakaların hangi fiziksel özelliklerine bağlıdır (geçirgenlik, sismik hız, gözeneklilik, anizotropi, iletkenlik, yoğunluk, vb.)?
- Problemin uzaysal boyutları ne kadar (derinlik, alan, vb.)?
- Yeraltı modeli için en uygun geometri nedir?
- Toplanacak veri hangi yöntemlerle ve bakış açısı ile nasıl işlenecek ve analiz edilecek?
- Problem ile ilgili olarak daha önce yapılmış olan çalışmalara ait önceki bilgiler nedir ve bu veriler nasıl kullanılabilir?
- Farklı fiziksel özellikler kullanılarak tanımlanacak yeraltı modelleri birbirleri ile nasıl bir ilişkiye sahip olabilir?

Bu sorulara verilecek yanıtlar belirli bir hedef ya da problem için uygun yöntem seçimini tanımlar.

# **JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA JEOFİZİK YÖNTEMLERİN ÇALIŞMA ALANLARININ YÜZEY MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ DİKKATE ALINARAK KULLANIMI (Wright ve Ark. 1985)**

*Vadilerde Kullanılması önerilen jeofizik yöntemler*

- ❖ *Düşey elektrik sondajı yöntemi*
- ❖ *Mikrodepem, gravite manyetik, magnetotellürik, dipol-dipol, bipol-dipol, ve Isı akışı ile Termal gradient yöntemleri.*

*Havza türü yapılar da kullanılması önerilen Yöntemler;*

- ❖ *Birincil ve ikincil jeomanyetik Sondajlar,*
- ❖ *CSAMT,*
- ❖ *Yatay elektrik sondajı,*
- ❖ *Pole-dipol IP ve*
- ❖ *Kuyu jeofiziği yöntemleri*

*Sokulum türü yapılar da önerilen yöntemler*

- ❖ *Gravite, manyetik, düşey elektrik sondajı ve sıcaklık gradient yöntemler*
- ❖ *Yansımali sismik,*
- ❖ *Audiomagnetotellürik, magnetotellürik, dipol-dipol ve ısı akısı yöntemler*

***Volkanik Alanlarda Kullanılması Önerilen Yöntemler;***

***1. Gravite ve düşey elektrik sondajı yöntemleri***

***2. Mikrodepremler, yansımali sismik magnetik magnetotellurik, dipol-dipol, bipolar-dipol, SP, ısı akısı, termal gradient yöntemleri.***

***Havza Tipi Alanlarda Kullanılması Önerilen Yöntemler ;***

***1. Gravite, düşey elektrik sondajı, ısı akısı ve termal yöntemler***

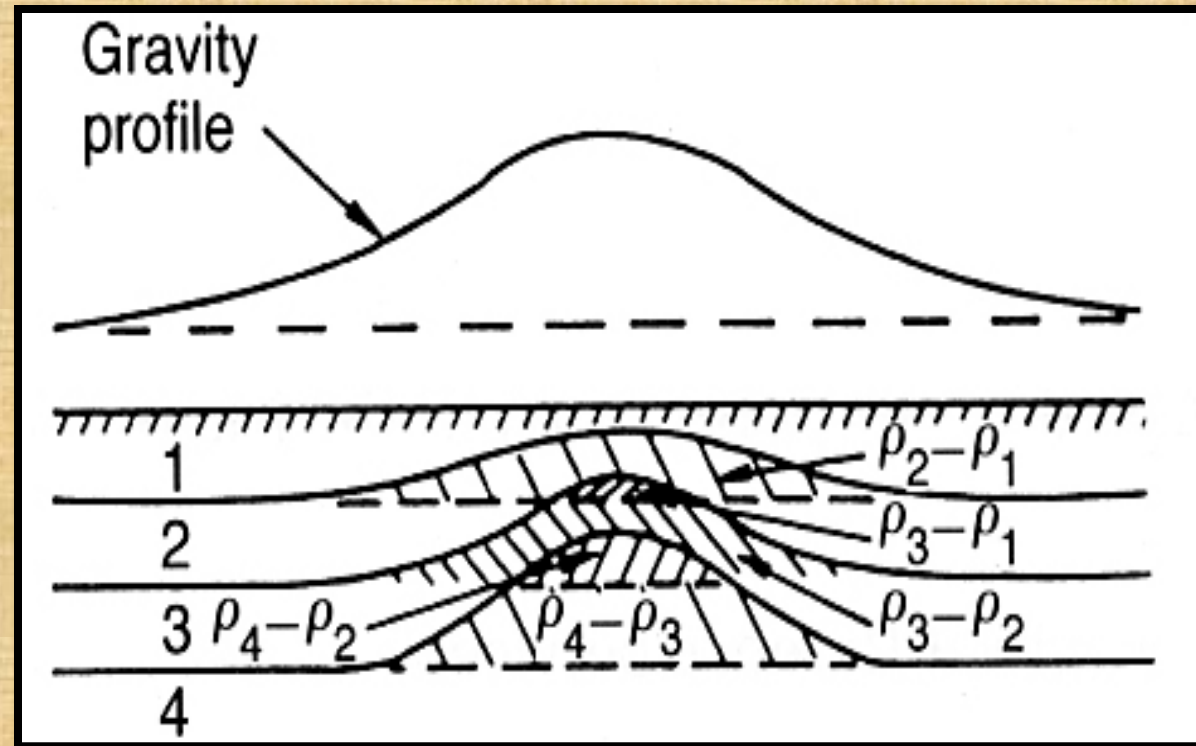
***2. Yansımali sismik magnetotellurik ve tellurik yöntemler.***

# Enerji Kaynağına Göre Jeofizik Yöntemler

## Doğal Kaynaklı Yöntemler :

### • GRAVİTE YÖNTEMİ:

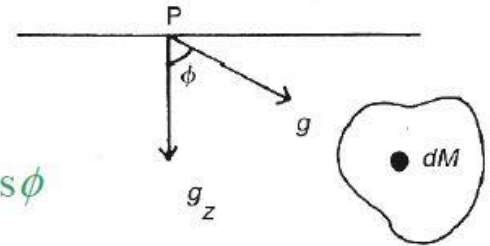
- Yeraltında yoğunluk farkı olan ortamlardan etkilenir.
- Yerçekimi ivmesinin düşey bileşenindeki değişimler bir referans noktasına göre yatay yönde ölçülür ve değerlendirilir.
- Gravite yönteminde anomali tanımı yapılır.
- Anomali yatay yönde yer çekimi ivmesinin değişimi tanımlar.
- Bu değişim yoğunluk farkı olan tabakalar arasındaki ara yüzeyin topoğrafyasından kaynaklanır.
- Newton kanunları kullanılır.
  - $F=(Gm_1.m_2)/r^2$
  - $F=m.g$
  - $g=(Gm)/r^2$
- Gravimetre aletleri kullanılır.
- Ölçü birimi miligal olarak tanımlanır.
- Araştırma derinliği km bazındadır.



## Gravity anomalies

Sum contributions in the vertical direction

$$g_z = G \int_M \frac{dM}{r^2} \cos \phi = G \int_V \frac{\rho dV}{r^2} \cos \phi$$



Or, in Cartesian coordinates:

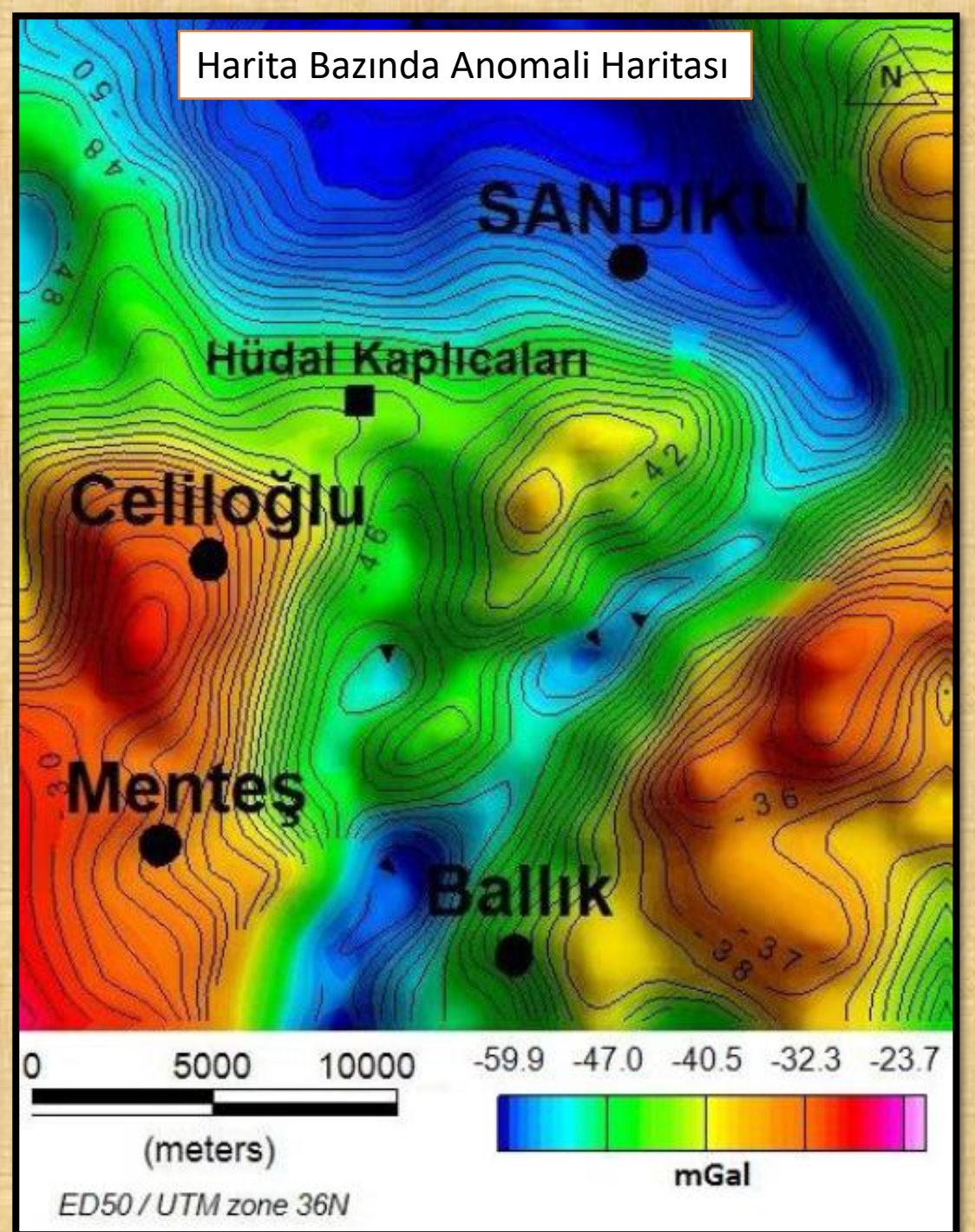
$$g_z = G \iiint \frac{\rho z dx dy dz}{r^3}$$

where

$$r = \sqrt{(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + z^2}$$

## GRAVİTE YÖNTEMİ

- Jeotermal bir alanın ortamdaki yoğunluk farklarına göre modellenmesine ve araştırılan alandaki taban topoğrafyasının izlenmesine olanak sağlar.
- Yöntem, özellikle hidrotermal biçimde alterasyon geçirmiş kayaların olduğu yerler ile çevresindeki altere olmamış kayaç birimlerinin bulunduğu ve yeterli yoğunluk zıtlığının olduğu durumlarda oldukça yararlı ve yorumlayıcı sonuçlar verebilir.
- Jeotermal alanlar üzerinden toplanan gravite verileri; jeotermal dizgenin örtü ve taban kayaç birimleri ile çevresindeki jeolojik oluşumlar ile ilgili önemli bilgiler verir.



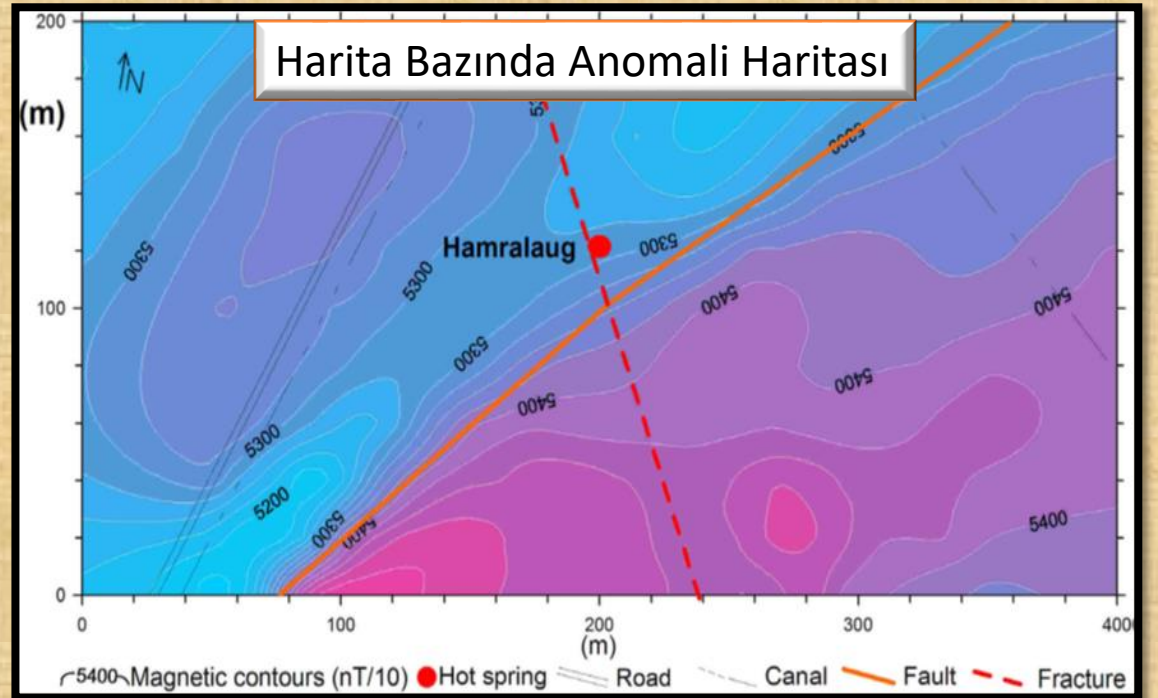


# Enerji Kaynağına Göre Jeofizik Yöntemler

## Doğal Kaynaklı Yöntemler :

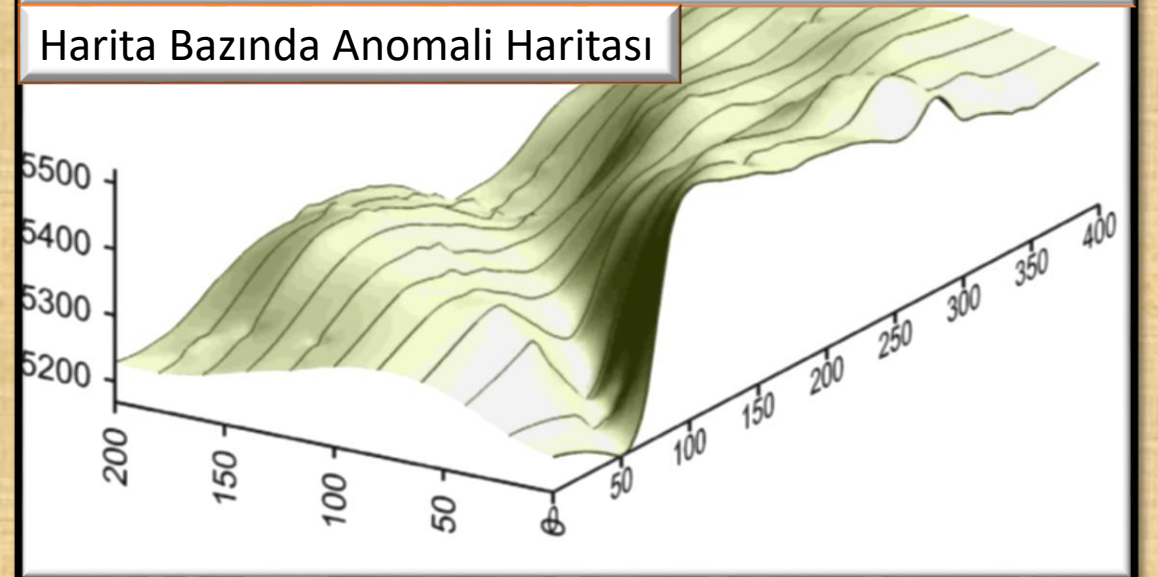
### Manyetik Yöntem;

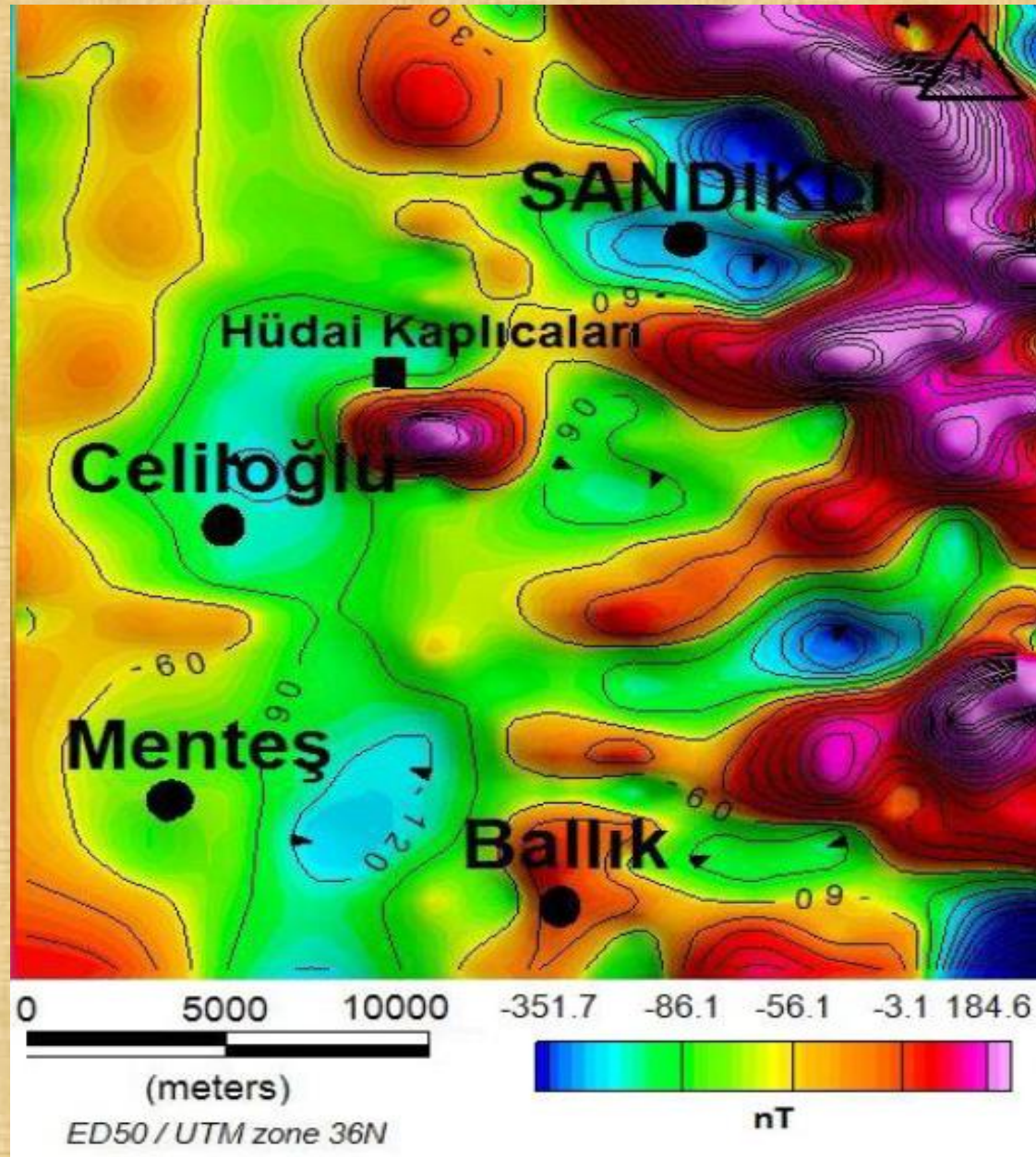
- Mıknatıslanma özelliğine sahip kayaçların oluşturduğu manyetik alanın ölçülerek, bu kayaçların saptanması amacını güder.
- Manyetik yöntemle yer manyetik alanının düşey, yatay ve toplam bileşenleri ya da şiddetindeki değişimler ölçülür.
- Jeotermal araştırmalarda, özellikle volkanik etkinlikle ilişkili alanlarda gözlenen, yoğun mağmatik kayaç birimlerinin bulunduğu ortamlarda, manyetik yöntem yardımıyla bu birimlerin uzanımları ve derinliklerini bulmak olasıdır.
- Ayrıca termal aktivite nedeniyle manyetizasyonu azalan bölgeler de bu yöntemle saptanır.
- Bu işlemler sonucunda alanın manyetik özelliklerine göre modellenmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması, çözümde önemli kolaylık sağlar.



ızlanda - Ásgardur jeotermal alanı, manyetikte tipik bir fay anomalisi ve ölçüm profilleri (Ganbat, 2004)

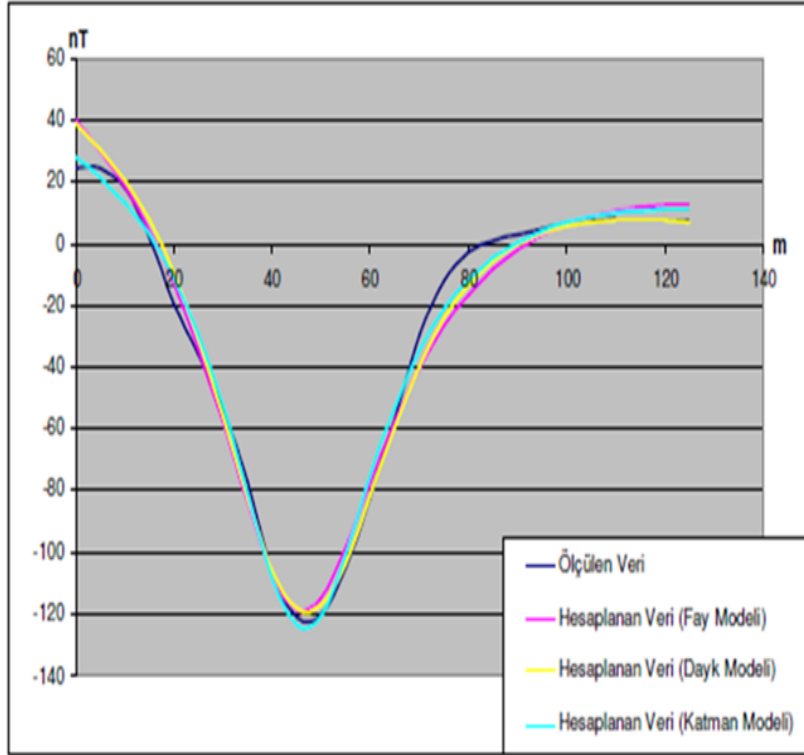
### Harita Bazında Anomali Haritası





*Düşey Manyetik Anomali Haritası (TPAO)*

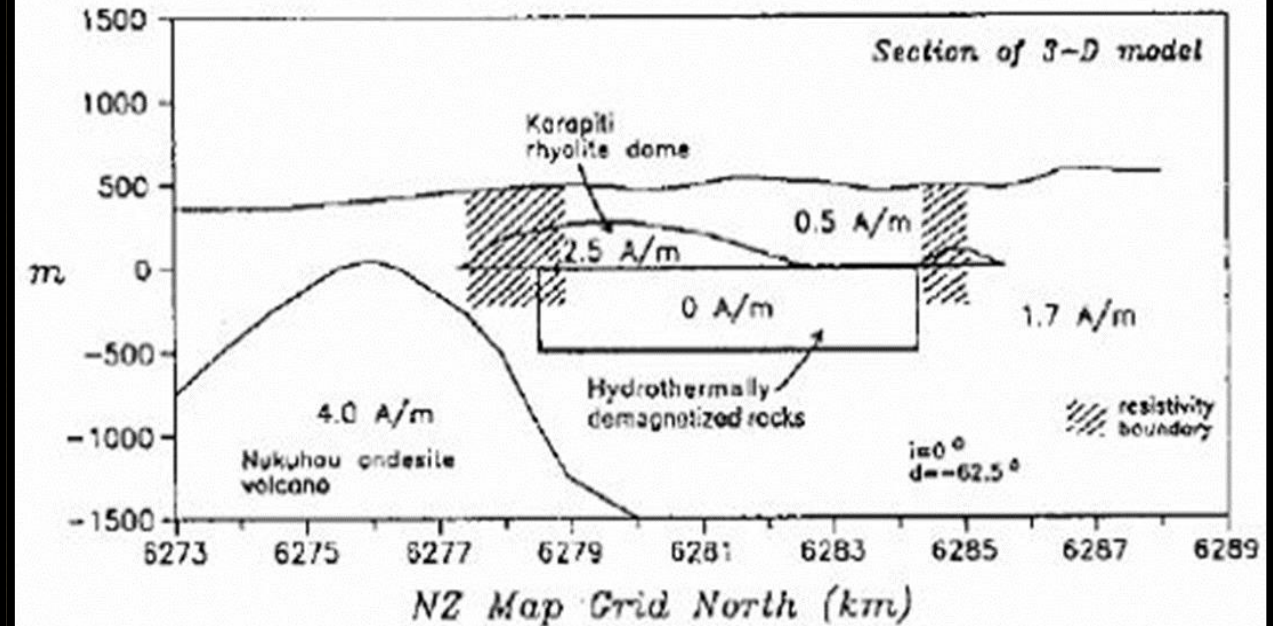
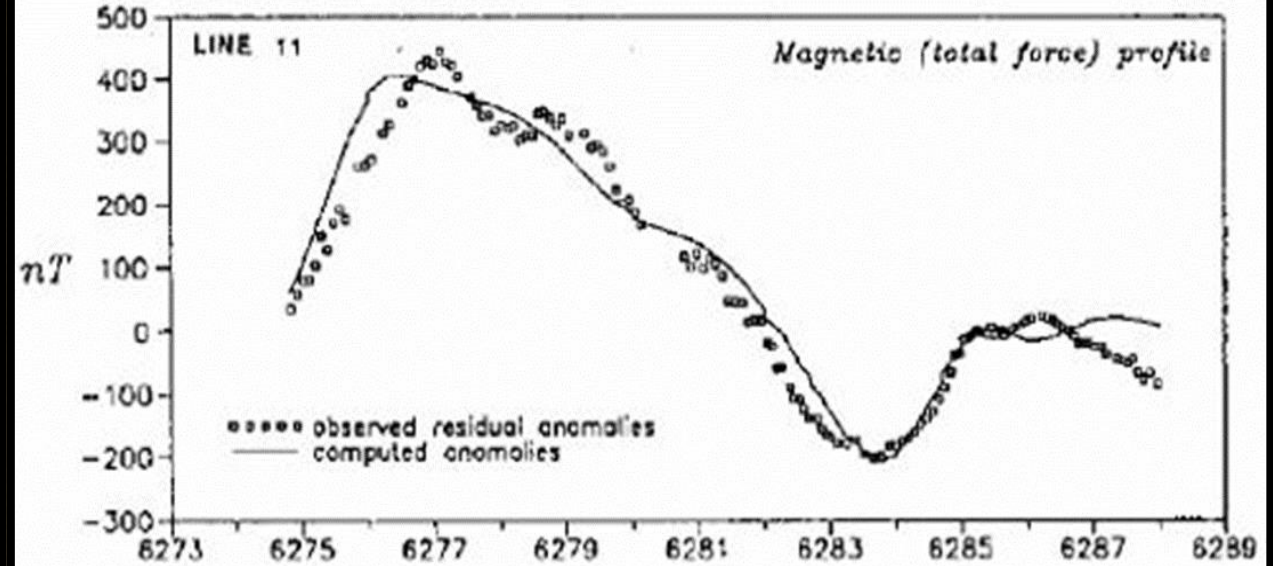
## İZMİR-SEFERİHİSAR-CUMALI KAPLICALARI BÖLGESİ ÖRNEĞİ



Modeller	Yapı Derinliği [m]	Süseptibilit e [EMU]	Dip [d]	Orijinden Uzaklık [m]	
FAY	15.69	-0.002	196.47	39.52	Taban Derinliği= 39.52 m
DAYK	19.57	-0.006	197.86	46.38	Genişlik= 10.88 m
KATMAN	19.82	0.018	196.11	46.04	Kalınlık= 1.98 m

## YENİ ZELANDA-WAIRAKEI JEOTERMAL ALANI

Sungkono & Hochstein 1995



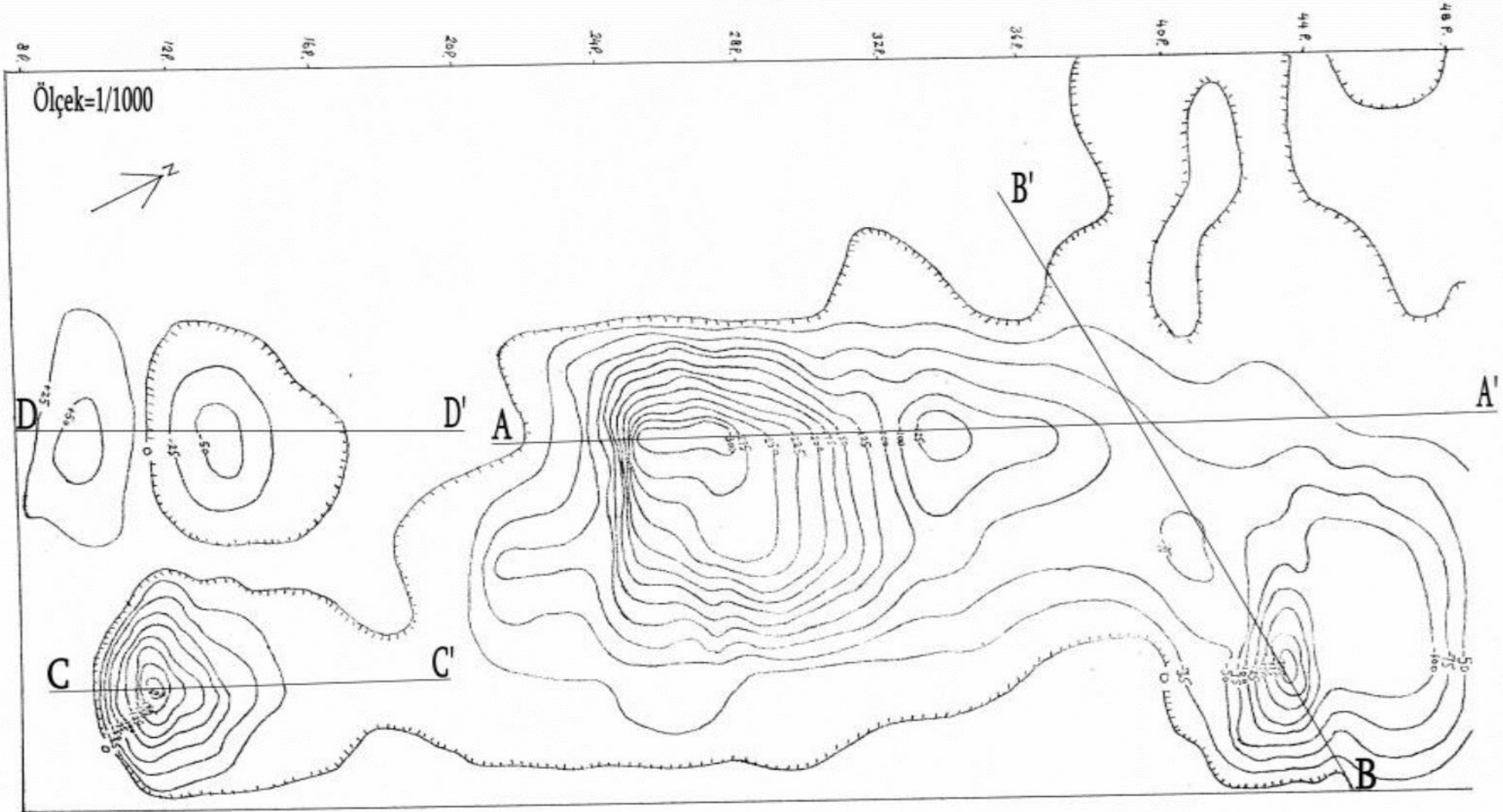
## Doğal Elektriksel Gerilim Yöntemi (SP)

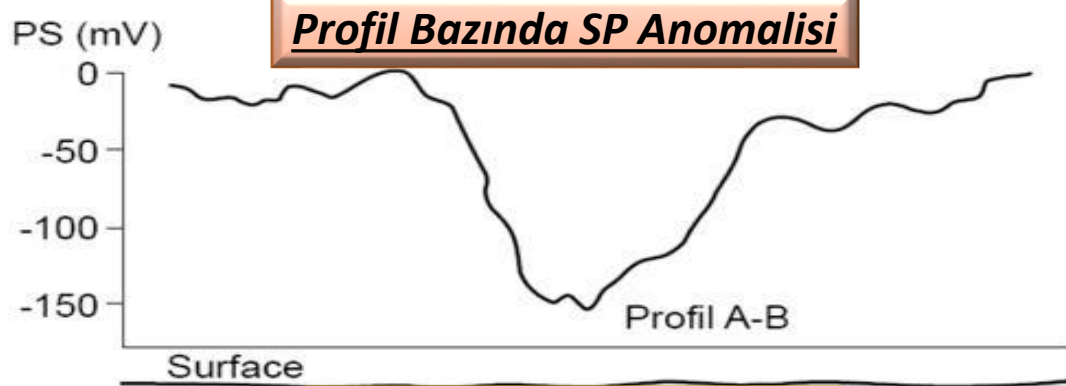
- İki potansiyel elektrot, bir multimetre ve kablodan oluşan ekipmandan ibarettir.
- Uygulamalı jeofiziğin jeoelektrik yöntemlerinde yer içine akım göndermeden işleyen, doğal elektrokimyasal, elektrofiltrasyon gibi olayların oluşturduğu yer içi akım akışının doğal alanını ölçen yöntemdir.
- Sığ madenlerin aranmasında, zemin ve sıcaksu etütlerinde, fay ve kırık kuşaklarının belirlenmesinde kullanılır.
- Jeotermal gradyen ve akışkan hareketini belirlemek amacıyla anlamlı sonuçlar verebilmesi açısından
- 50-100 km<sup>2</sup> alan üzerinde uygulanmalıdır. Bu yöntem, yeraltısuyunun iletken kayalarla
- etkileşiminden, yüksek jeotermal gradyenlerden ve hareket eden (özellikle yükselen) akışkanlardan
- doğan doğal voltaj değişimlerini ölçer ve jeotermal aramada yaygın olarak kullanılır

## • Doğal Kaynaklı Elektromanyetik Yöntemlerden

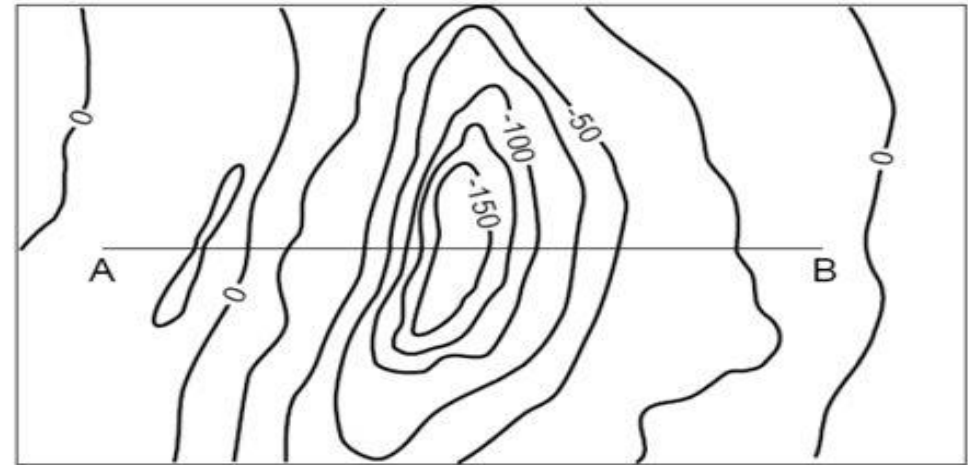
- VLF (Very Low Frequency), MT (Manyetotellürik) ve AMT (Audio Manyetotellürik), TEM (Transient Elektro Manyetik)
  - Sıcak tuzlu sular, alterasyon, magma boşlukları, kısmi ergime,
  - Yapı saptama, Basınç ve akışkan akışı araştırmalarında kullanılır.
  - Yerkabuğunun fiziksel özellikleri birbirinden farklı katmanlarının yüzeyden itibaren oldukça derinlere kadar kabuk, manto, litosfer, astonesfer ara yüzeyi araştırılmasında petrol, doğal gaz, jeotermal enerji ve derin maden yataklarının aranmasında kullanılmaktadır.

**İlk Aşamada Doğal gerilim Farklarını Belirten Anomali haritası hazırlanır.**  
**Daha Sonraki Aşamalarda Haritadan Kesitler Alınır Ve Modeller Hazırlanır.**  
**A-A', B-B', C-C' ve D-D' Profilleri**





**Harita Bazında SP Anomalisi**



## MT (Manyetotellürik),

*Güneşte meydana gelen patlamalar, iyonosferde meydana gelen elektromanyetik aktiviteler ve yeryüzüne düşen yıldırımların oluşturduğu doğal elektromanyetik dalgaların yer içinde ilerlemesi ve içerisinde ilerlediği kayaçların iletkenlik karakterlerine göre gösterdiği davranışların yer yüzünde ölçülerek kayaçların iletkenlik dağılımlarının belirlenmesi esasına dayanan doğal kaynaklı bir jeofizik yöntemdir.*

## AMT (Audio MT)

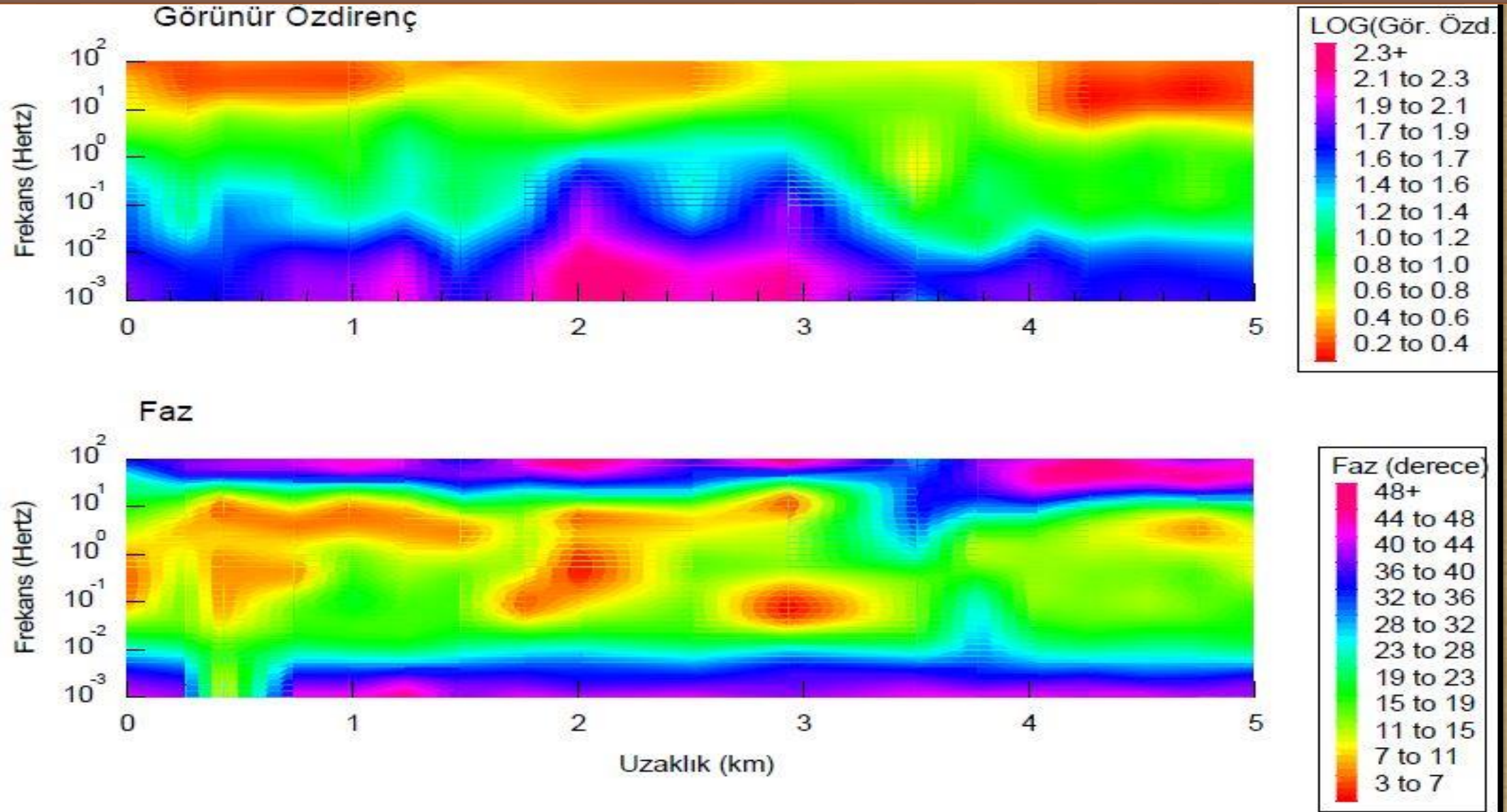
*AMT yöntemin çalışma prensibi MT ile aynıdır. Kullanılan frekans bandı daha yüksek olduğundan daha sığ araştırma derinliğine sahiptir. Kullanılan manyetik sensörler 10KHz-1Hz frekans aralığındadır. Araştırılan sahanın ortalama öz direncine göre araştırma derinliği 30m den 2-3 km derinliğe kadar değişebilir.*

*Jeotermal sahalarda özellikle MT yöntemin duyarsız olduğu ilk 1000 derinliğin araştırılmasında kullanılır. MT verisi ile birleştirilerek modellendiğinde 0-10k m derinlik için jeolojik yapıların belirlenmesinde oldukça etkilidir. Özellikle yüzey süreksizliklerinin, alüvyon kalınlıklarının belirlenmesinde yararlıdır. AMT yöntemi jeotermal ile birlikte maden ve uranyum araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.*

**Örnek: MT verisinin görünür öz direnç ve faz yapma-kesitleri şeklinde sunumu.**

**Yatay eksen uzaklık ve dikey eksen frekans olmak üzere eşdeğer görünür öz direnç ve faz değerleri görüntülenir.**

**Küçülen frekans değerleri görece derinliğe karşılık gelmektedir.**



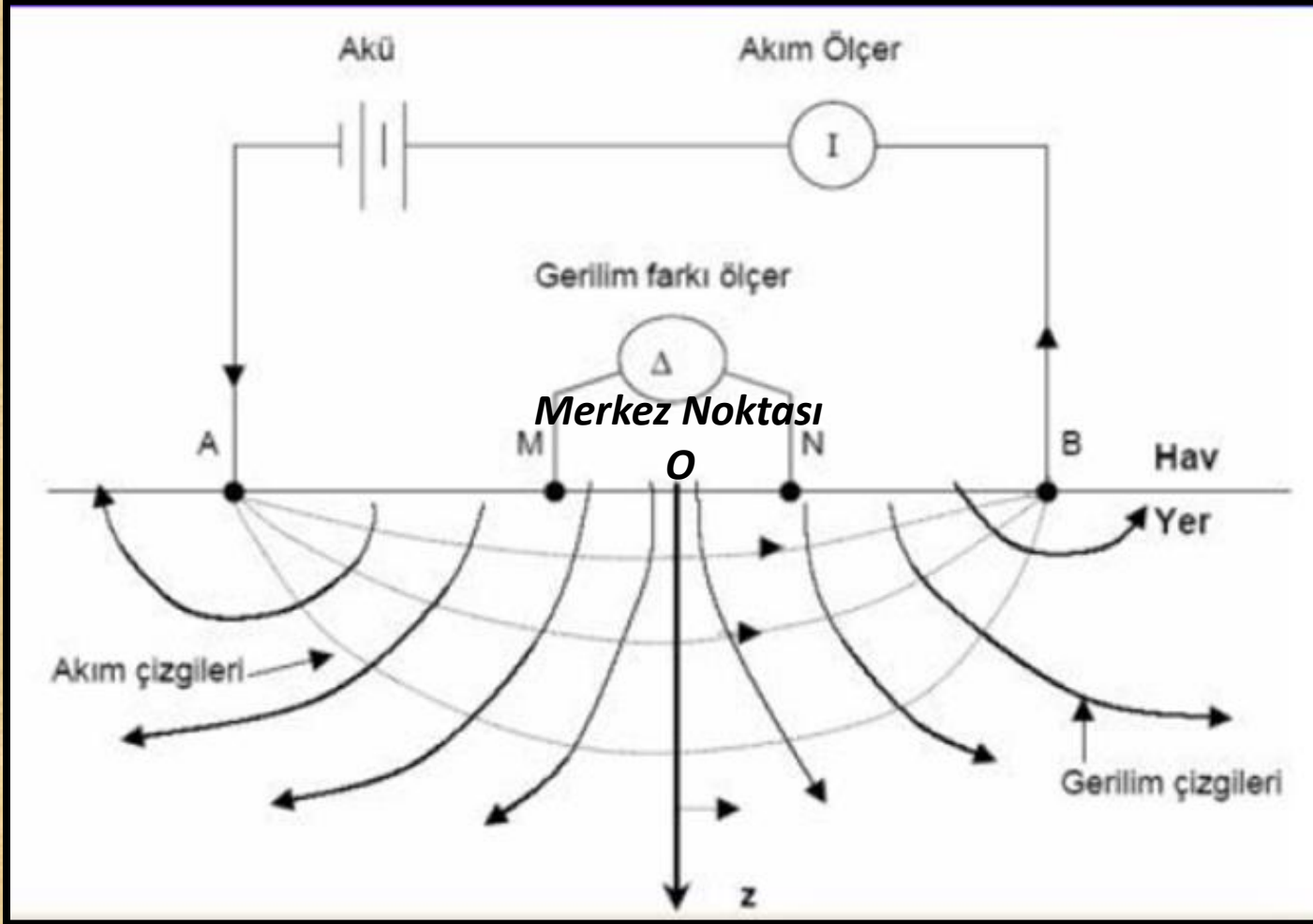


# Enerji Kaynağına Göre Jeofizik Yöntemler

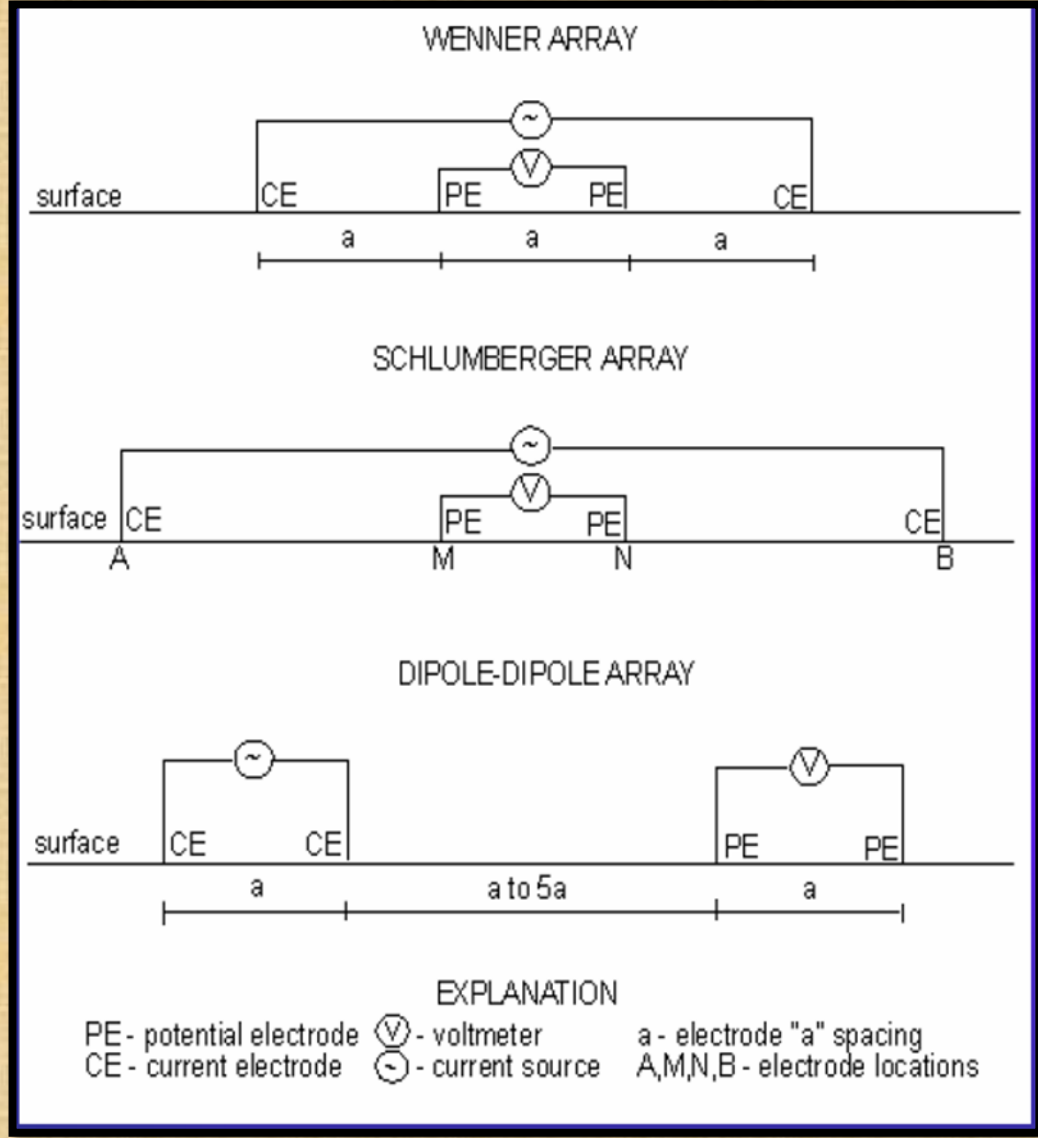
## Yapay Kaynaklı Yöntemler : Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

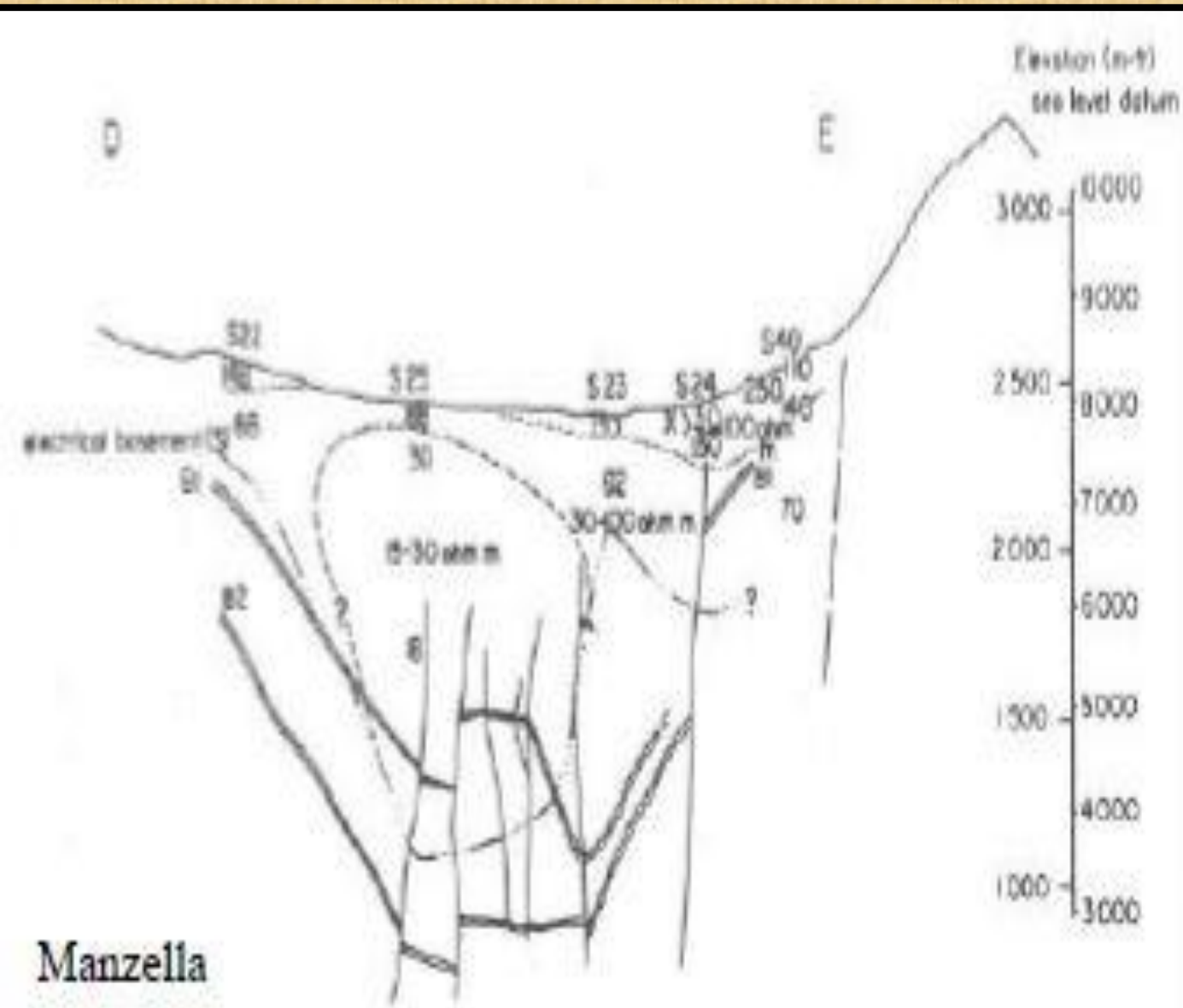
- Enerji kaynağı gücüne bağlı olarak araştırma derinliği değişir.
- Profil bazında çalıştığı için uygun çalışma alanlarının olması gerekir.
- Kayaçların elektriği iletme özelliğinden yararlanılarak uygulanan bu yöntem yeryüzünden itibaren birkaç kilometre derinliğe kadar ölçü almaya uygundur.
- Ölçü alma ekipman olarak adet akım verici elektrot, 2 adet potansiyel değişim algılayıcı elektrot, akım kaynağı ve bağlantı kablolarından oluşur.
- Düşey elektrik sondaj ve tomografi şeklinde ölçümler yapılır.
- Yer altı suyu, jeotermal enerji alanları, zemin etütleri, arkeojeofizik, endüstriyel hammadde, petrol ve doğalgaz, kömür, metalik maden ve çeşitli jeolojik yapısal sorunlara yönelik araştırmalarda uygulanmaktadır.
- Özdirenç (Rezistivite) yöntemi gömülü hidrotermal yapının boyutlarını belirlemek ve onları jeotermal rezervuarlarla ilgili termal ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirmek için kullanılır.
- Yeraltıyla ilgili olarak 1, 2 ve 3 boyutlu modeller hazırlanır.

**Düşey Elektrik Sondaj Çalışması Merkez Noktası O dan Düşey Yönde Tabakaları Özdirenç Değerlerine Göre Tanımlamak İçin Kullanılır.**



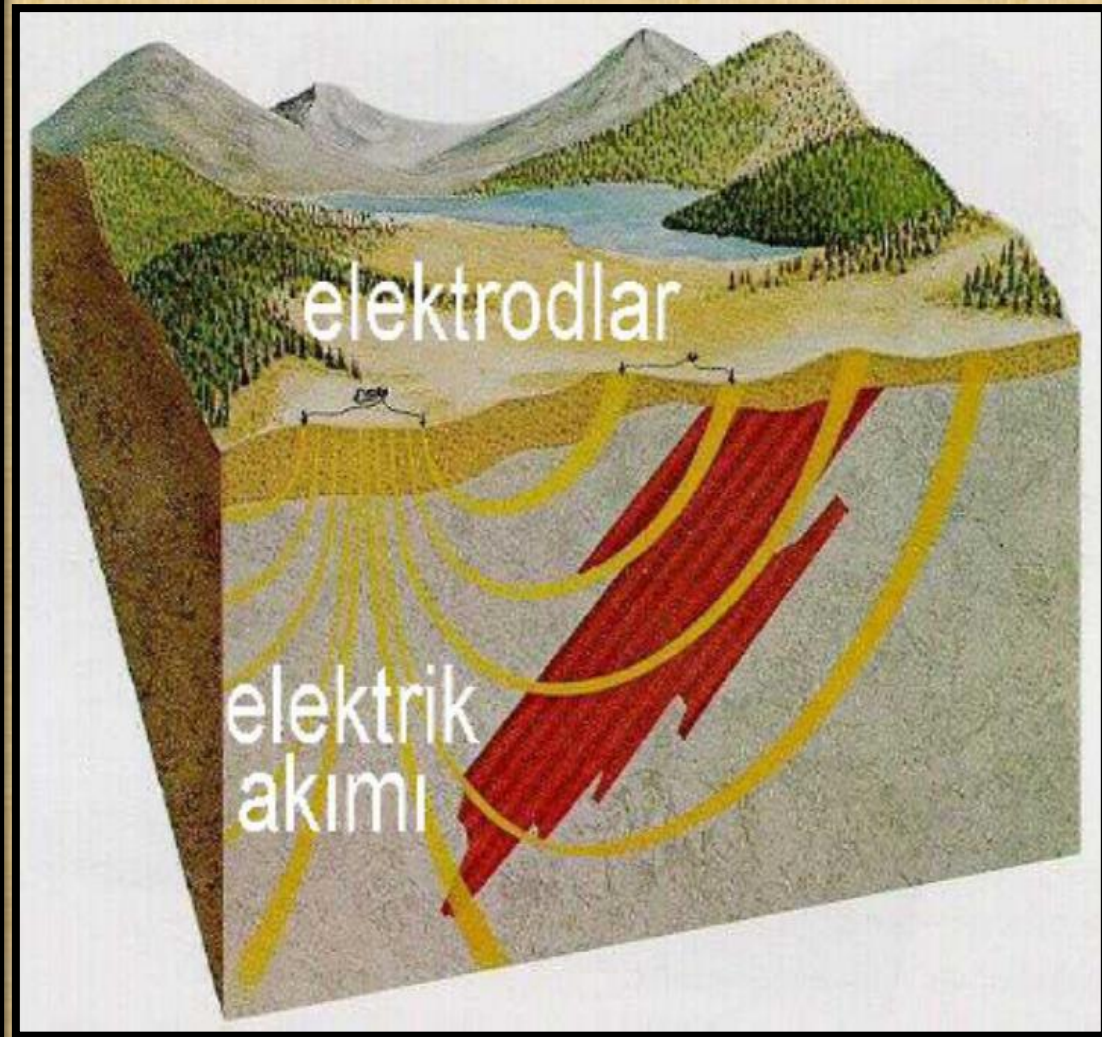
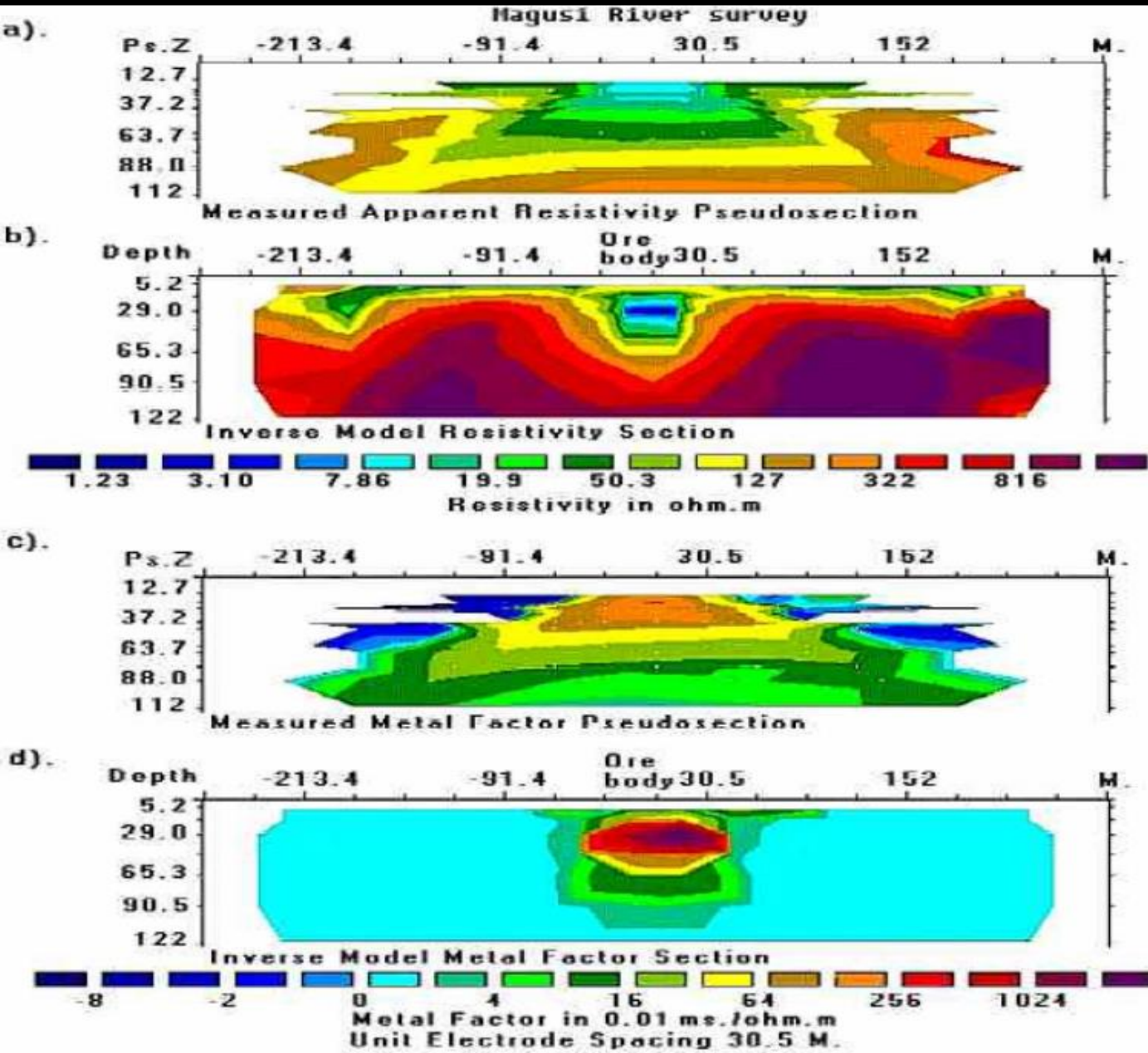
**Düşey Elektrik Sondaj Çalışmasında Kullanılan Elektrot Dizilimleri**

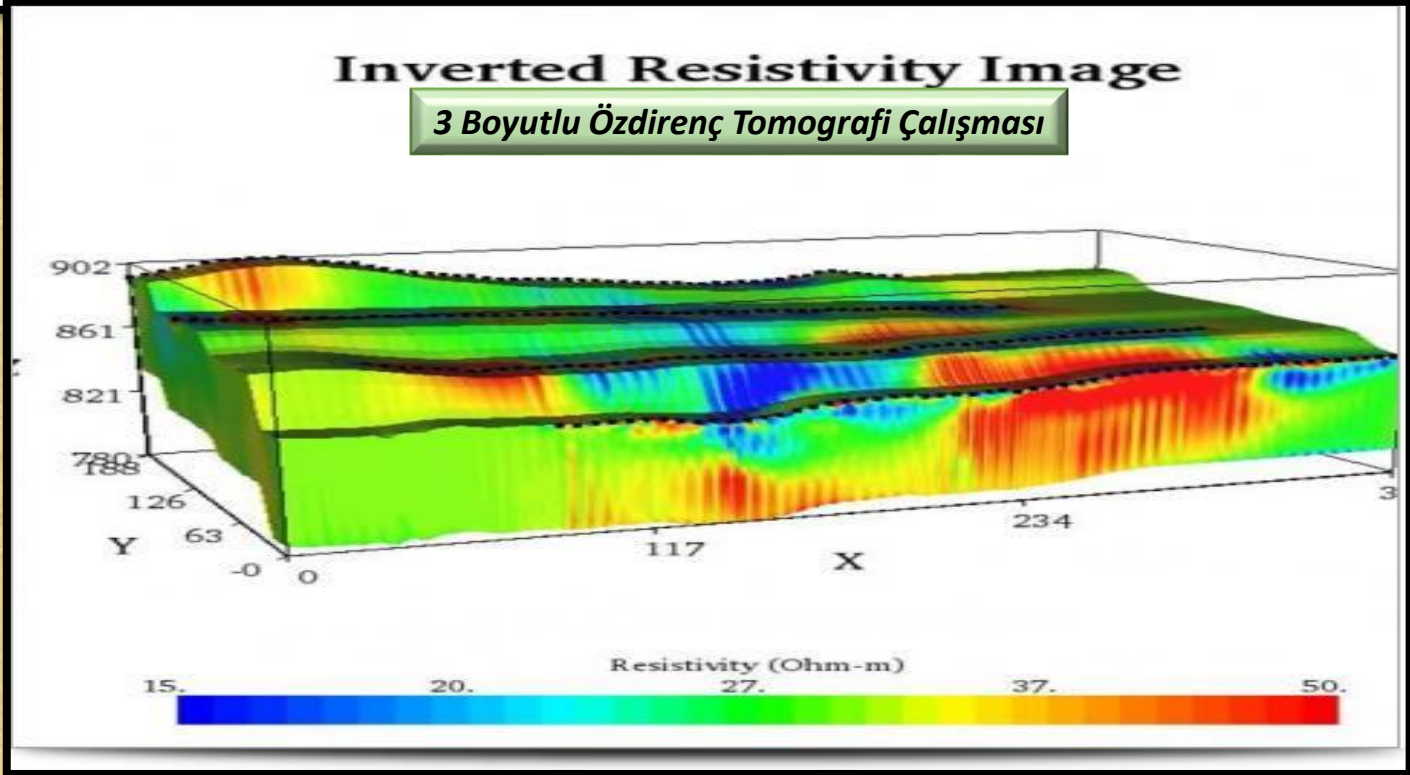
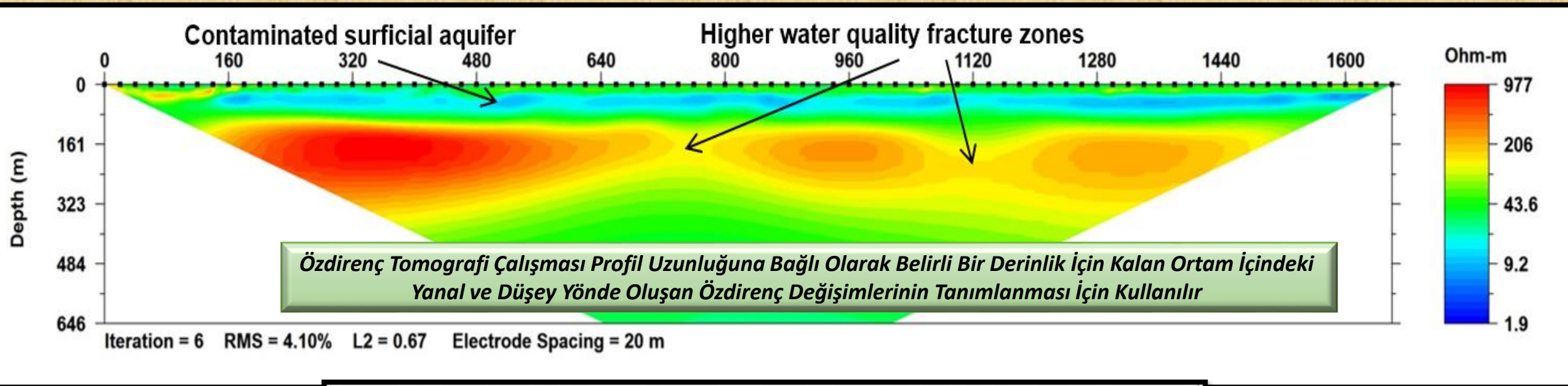




- Schlumberger elektrot düzeneği ile alınmış düşey yöndeki öz direnç kesiti.
- Sismik yöntemle bulunan fay ve kırık yapıların, öz direnç yöntemi ile desteklenen düşük öz dirençli seviyeler yer almaktadır.
- Faylarla kırılmış tabakalar içinde hareket eden termal akışkanın örtü kaya da ve fay zonlarında düşük öz direnç anomalileri oluşturmuştur.

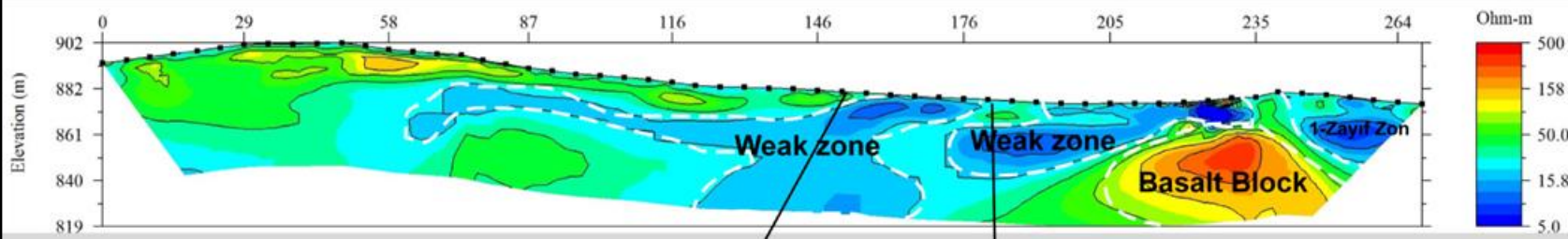
**Özdirenç Tomografi Çalışması Profil Uzunluğuna Bağlı Olarak Belirli Bir Derinlik İçin Kalan Ortam İçindeki Yanal ve Düşey Yönde Oluşan Özdirenç Değişimlerinin Tanımlanması İçin Kullanılır**



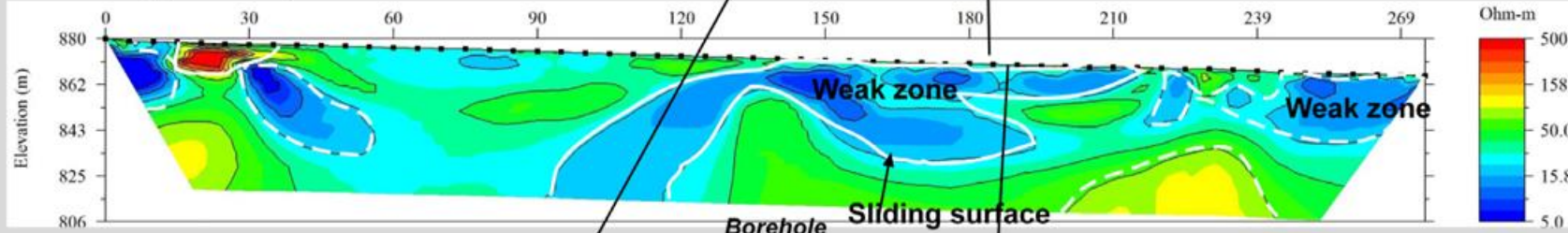


# Profil Bazında Özdirenc Tomografi Çalışması

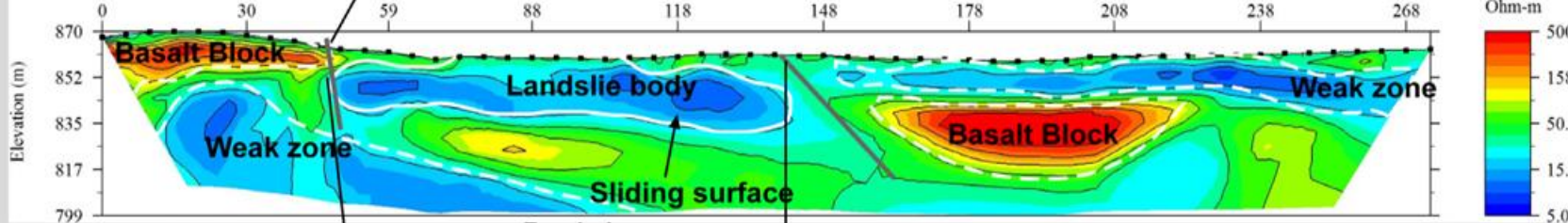
## L4 (y=197 m)



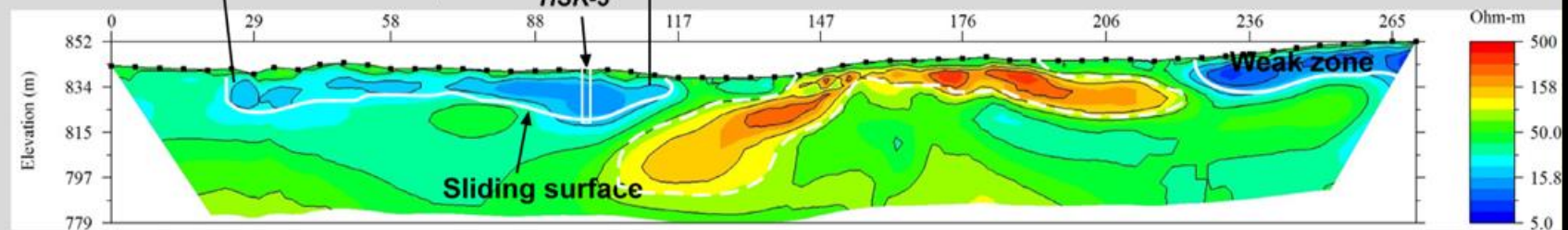
## L3 (y=127 m)



## L2 (y=53 m)



## L1 (y=0 m)



# Enerji Kaynağına Göre Jeofizik Yöntemler

## Yapay Kaynaklı Yöntemler :

### INDÜKSİYON POLARİZASYON YÖNTEMİ (IP)

- Yapay uçlaşma yöntemi, yer altına gönderilen akımın aniden kesilmesinden sonra ölçülen gerilim farkının aynı anda sifıra düşmemesi ve belli bir süre azalarak devam etmesine neden olan yerin IP etkisini inceler.
- IP etkisine neden olan yer altındaki fiziko-kimyasal tepkimelerin kaynağı, metalik mineral varlığında oluşan metalik polarizasyon ve kil minerallerinin varlığında oluşan zar polarizasyonu olarak adlandırılır.
- Yer içindeki IP etkisine neden olan makroskobik ve mikroskobik olayların oluşum nedenlerinden dolayı, yapay uçlaşma yöntemi daha çok metalik maden yataklarının aranmasında kullanılır.
- Yapay uçlaşma yönteminin arazi uygulaması, zaman bölgesi ve frekans bölgesi olmak üzere iki farklı şekilde yapılır.
- Zaman bölgesi ölçümlerde, yere uygulanan doğru akımın kesilmesinden sonra, ölçülen gerilim farkının aniden sifıra düşmemesi ve belli bir süre azalması sonucu elde edilen gerilim eğrisi IP boşalım eğrisi olarak adlandırılır.

# Enerji Kaynağına Göre Jeofizik Yöntemler

## Yapay Kaynaklı Elektromanyetik Yöntemler :

### CSAMT YÖNTEMİ (KONTROLLÜ KAYNAK SES FREKANSI MANYETOTELLÜRİK)

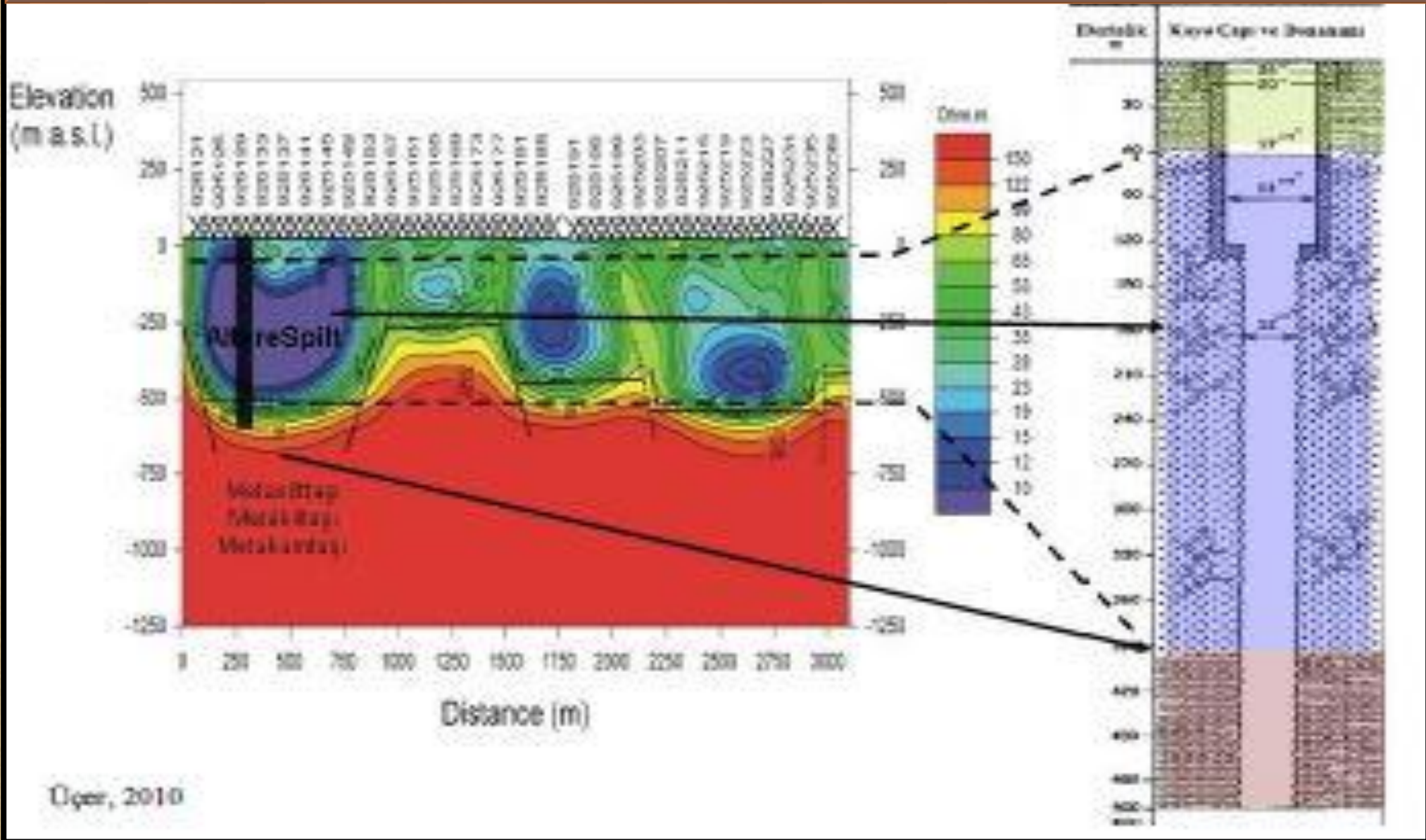
- Bu yöntem yüksek frekanslı manyetotellürik (Audio-Magnetotellurics; AMT) yöntemi ile ilişkilidir.
- En önemli farkı, yapay kaynak olarak yere topraklanan bir akım vericisinin kullanılmasıdır.
- Yapay kaynak kullanımı daha güçlü sinyallerin yaratılmasını, daha etkin veri-işlem yapılmasını ve hızlı ölçü alınmasını sağlar. Verici dipol, en yakın ölçü hattından 2-7 km uzağa yerleştirilir.
- Verici, iki ucundan yere gömülen uzun bir dipol yardımı ile çeşitli frekanslarda yere akım verir.
- Güç kaynağı olarak bir jeneratör kullanılır.
- Vericinin çıkış gerilimi 800-1000 volt ve çıkış gücü 10-30 kW dır (Şekil 4.4.2).
- Verici dipolün boyu 2-4 veya daha fazla olabilir.
- Alıcı dipol boyu, araştırmanın amacına uygun olarak 10-200 m arasında olabilir.
- Frekansların sayısı ve frekans aralığı, yapımçı firmaya bağlı olarak küçük farklılıklar gösterebilir.
- Logaritmik eksenle eşit aralıklı ve 0.2 ila 10000 hertz arasında 16 frekans kullanımı hem sığ hem de derin araştırmalar için yeterlidir.
- Verici dipole paralel yatay elektrik alan, polarize olmayan elektrotlarla eşit aralıklı noktalarda ölçülür.
- Elektrik alana dik yöndeki yatay manyetik alan, manyetik bobinler yardımı ile ölçülür.
- Elektrik ve manyetik alanların oranı çeşitli frekanslarda hesaplanarak, empedans elde edilir.
- Empedans, yeraltı gerçek öz direnç dağılımı ile doğrudan orantılı değildir.
- CSAMT yanıtının daha iyi sunumu için empedans frekansa bağlı olarak düzğünlenebilir.



Jeotermal sahada yapılan CSAMT 2 Boyutlu Model Kesiti ve Sondajda Kesilen Birimler.

Düşük özdirençli anomali örtü kayayı ifade eder.

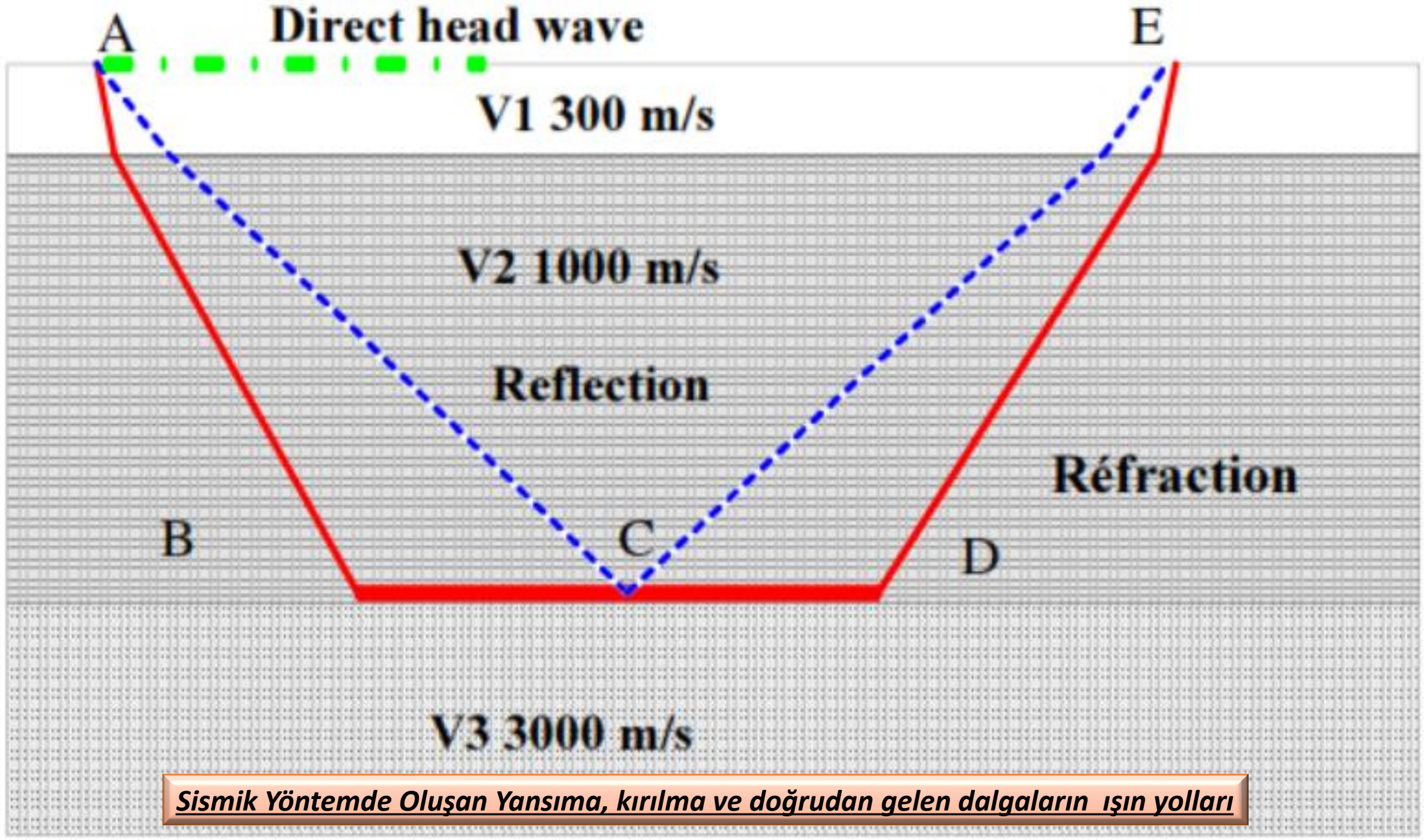
Düşük özdirençli anomalinin altında yer alan yüksek özdirençli birim ise rezervuarı temsil eder.



# Enerji Kaynağına Göre Jeofizik Yöntemler

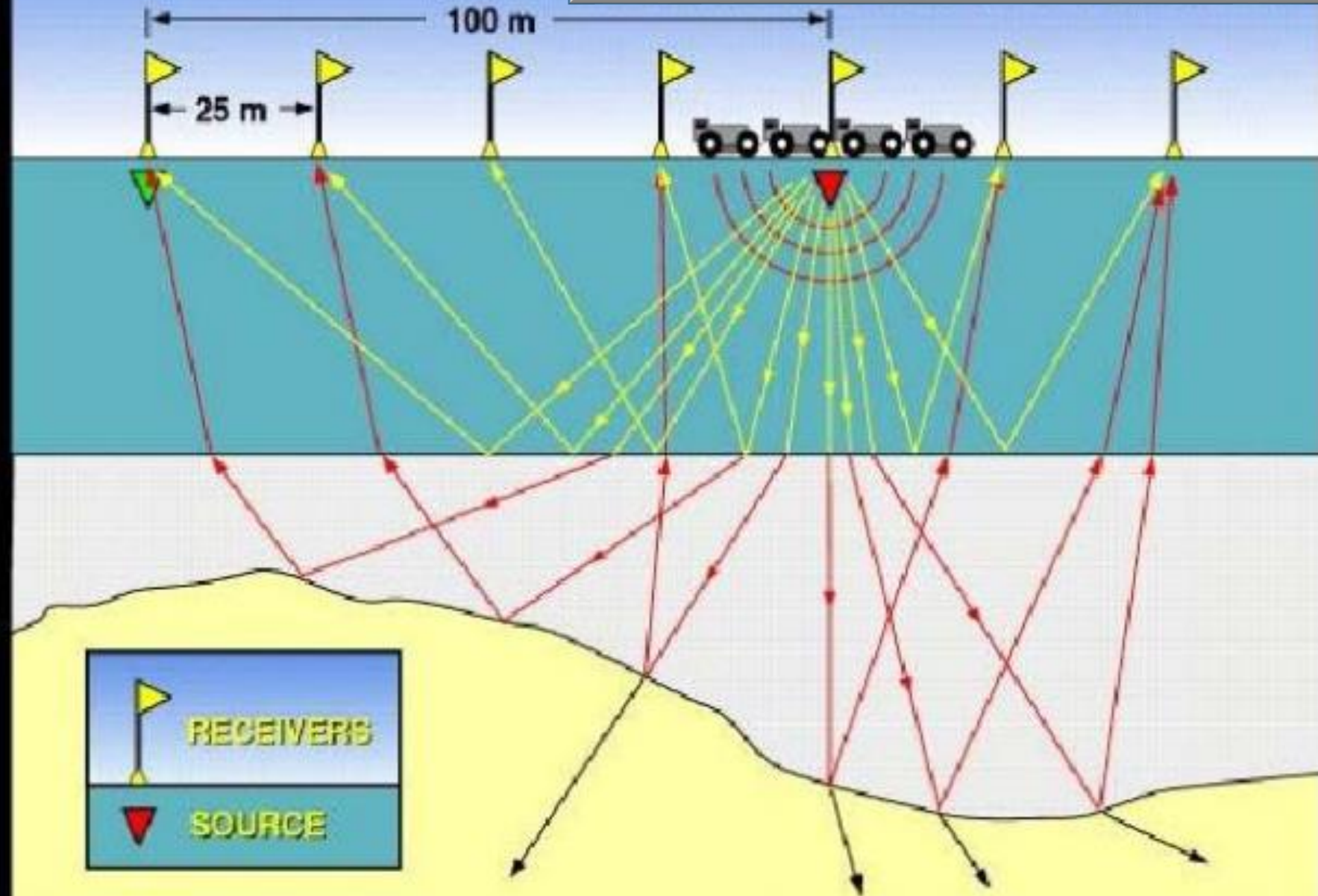
## Yapay kaynaklı Sismik Yöntemler

- *Sismik yöntemler yer altındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamada elastik dalgaların, arz içerisinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır.*
- *Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağı, yeryüzüne bir düzen içinde yerleştirilmiş bir seri alıcıya ve bu alıcılara gelen dalgaları kaydeden ölçüm aletine gerek vardır.*
- *Bu düzen içinde temel prensip, enerji kaynağından yayılan ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşın amplitüdlerinin kaydedilmesidir.*
- *Sismik yöntemler, kaynaktan yayılan sismik dalgaların takip ettiği ışın yollarına göre*
  - *Sismik Yansıma (refleksiyon),*
  - *Sismik Kırılma (refraksiyon) olmak üzere iki genel bölüme ayrılır.*

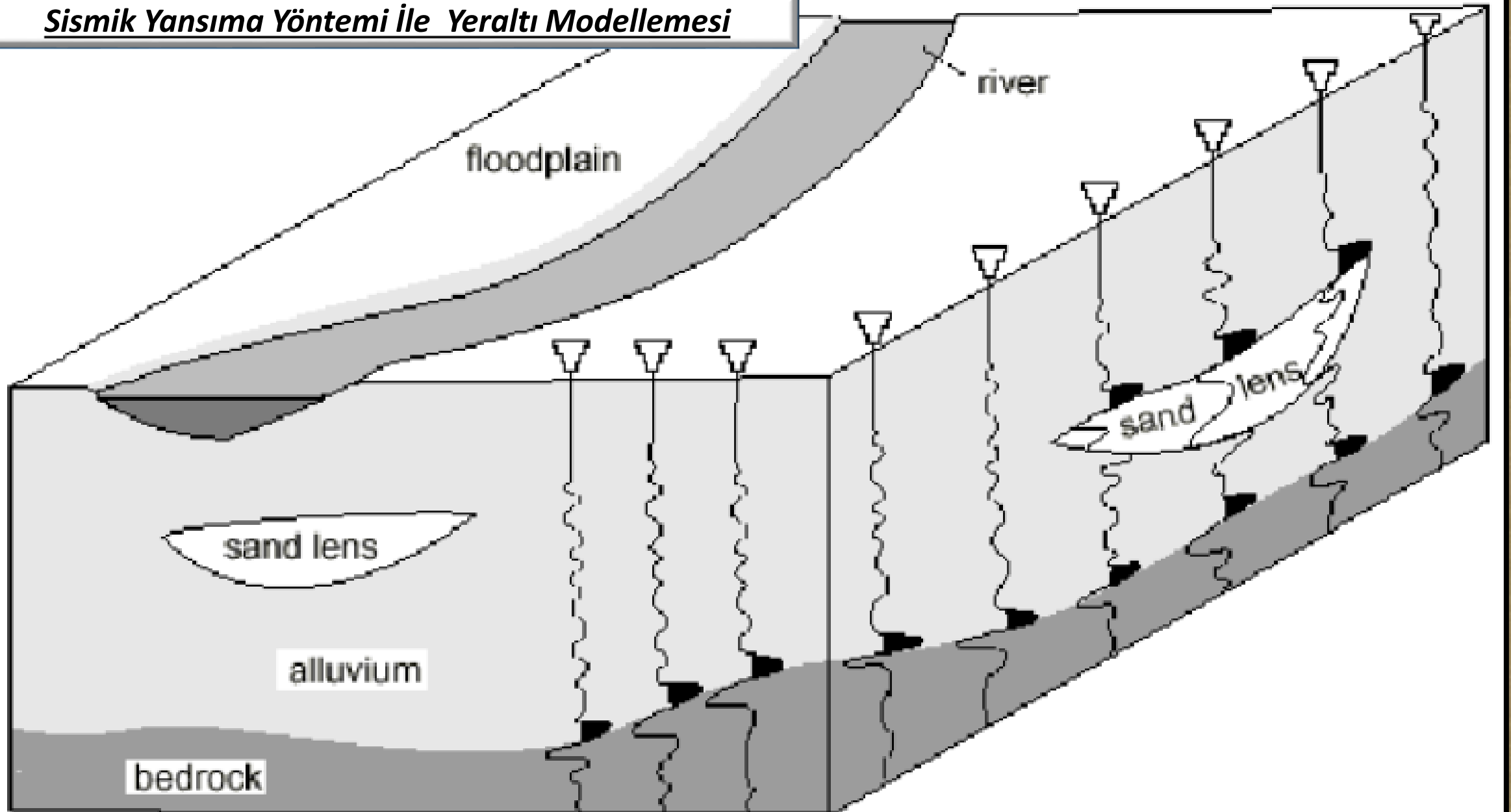


*Sismik Yöntemde Oluşan Yansıma, kırılma ve doğrudan gelen dalgaların ışın yolları*

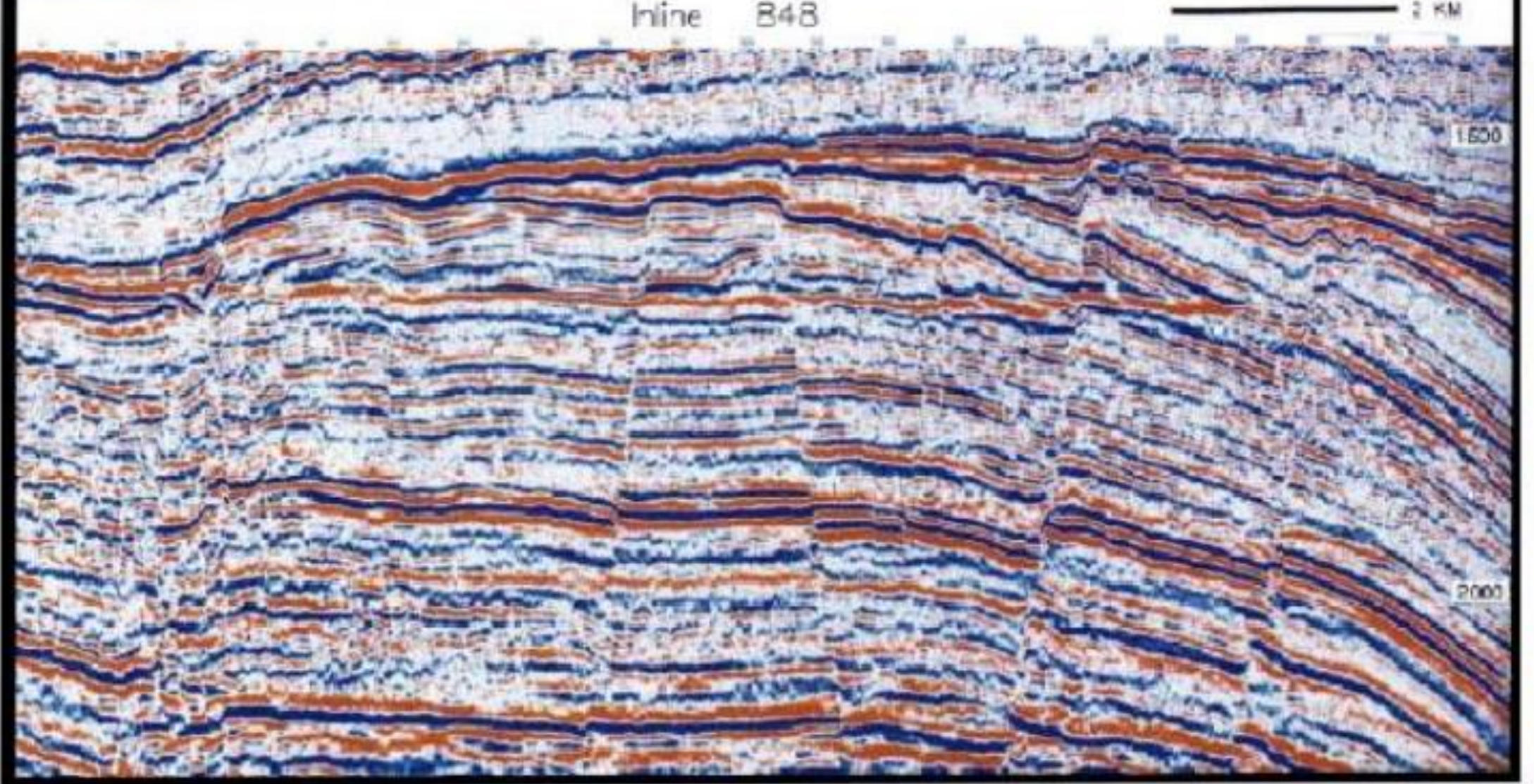
# Sismik Yansımaya Yöntemi



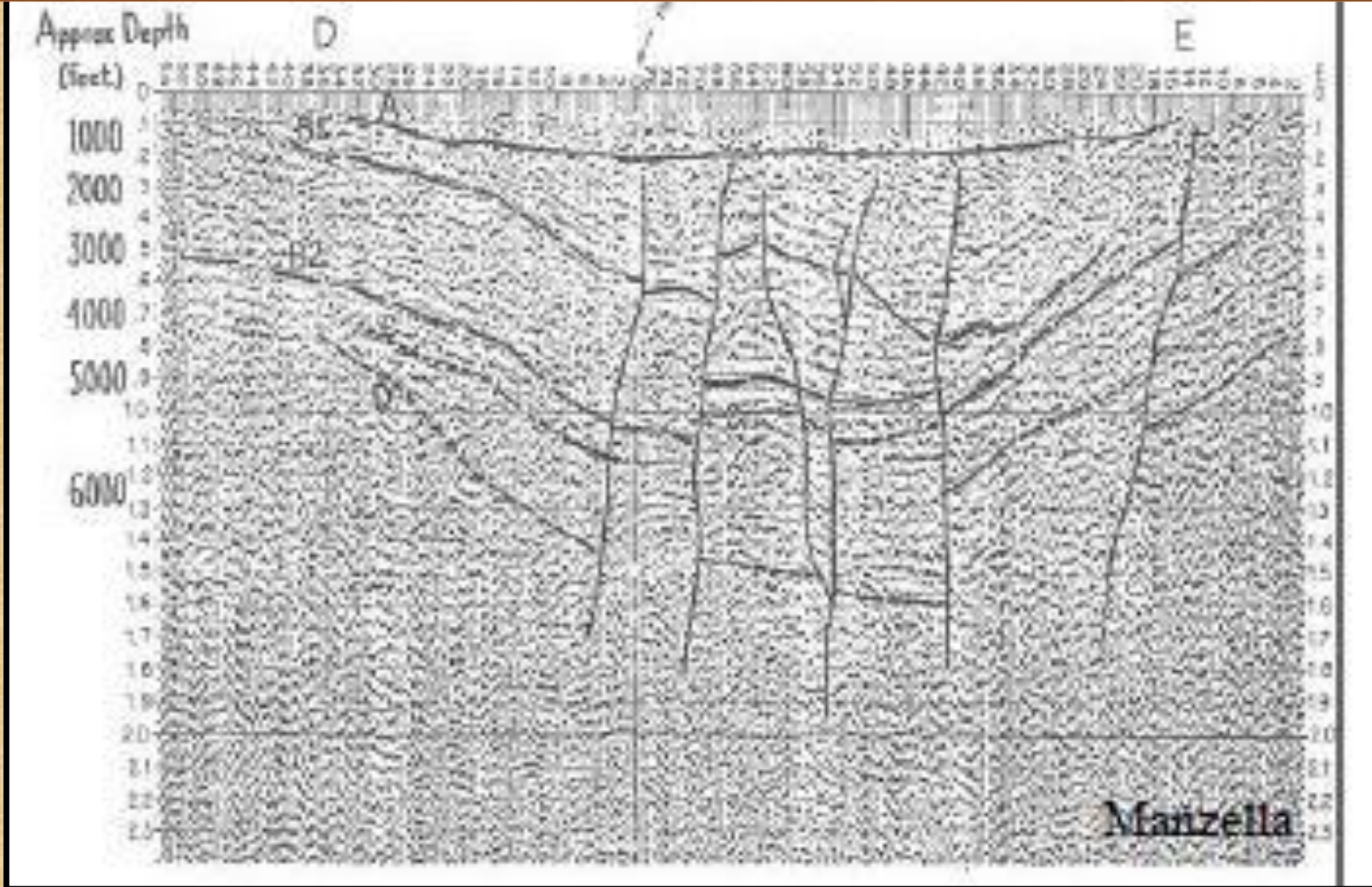
## Sismik Yansımaya Yöntemi İle Yeraltı Modellemesi



**Sismik Yansımaya Yöntemi İle Yeraltı Modellemesi**  
**Yoğunluk Farkı Olan Tabaka Ara Yüzeyleri Saptanır**

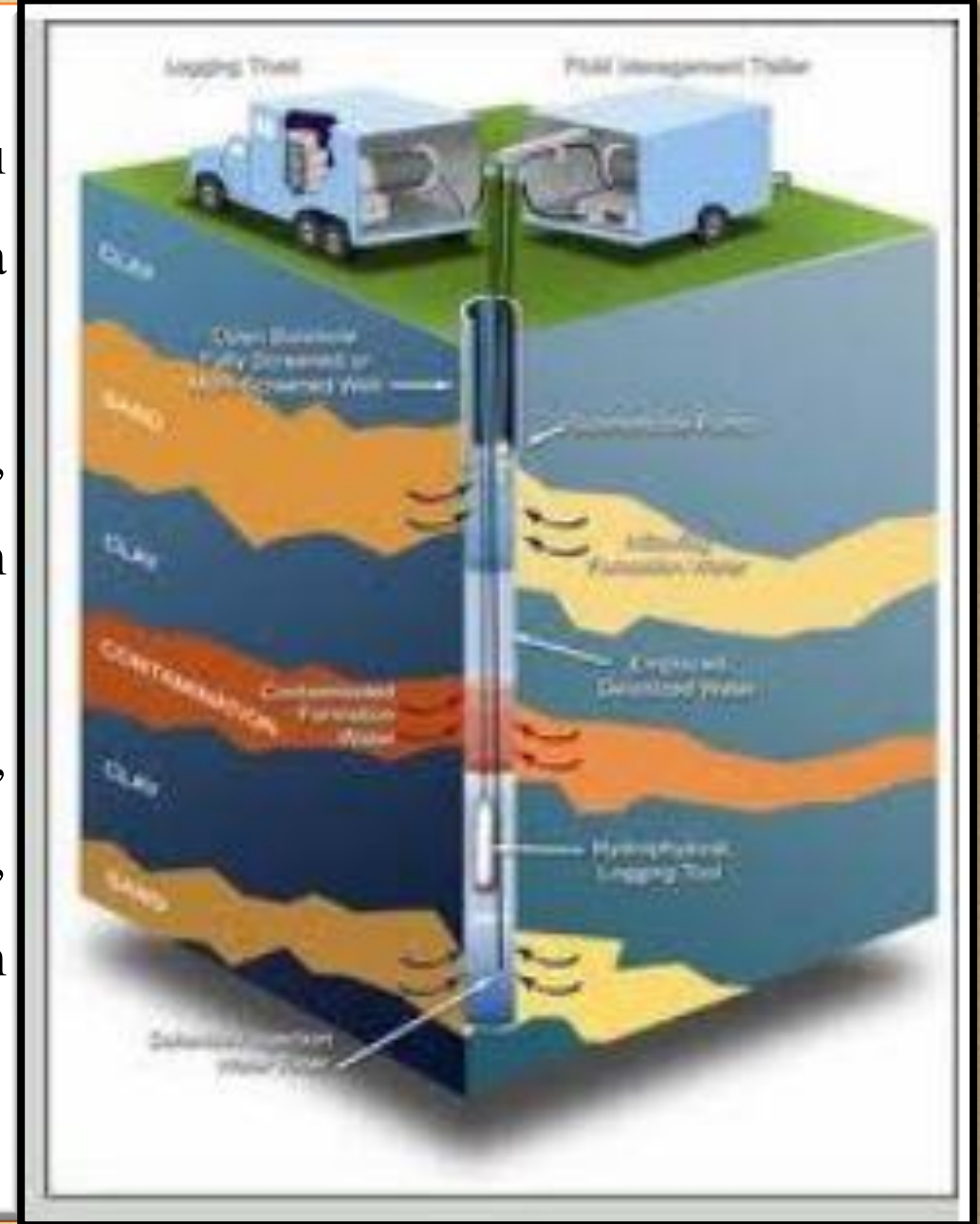


**Colorado Sismik yansıma profili. B1 ve B2 volkanik kayaçlar, C Akışkan, en alt D seviyesi muhtemelen Paleozoik karbonat dizisidir. Dikey çizgiler faylardır**



# Jeofizik Kuyu Logları

- Kuyu Logları genelde Kuyu dizaynının sağlıklı yapılması ve buna bağlı olarak maksimum verimliliğin ortaya çıkarılmasıdır.
- Kuyu loglarını sondajla geçilen formasyonların litolojik, petrofizik ve kimyasal özelliklerdeki değişimlerin derinliğin fonksiyonu olarak ölçülmesidir.
- Jeotermal alanların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, akışkanların kuyuya giriş yerlerinin belirlenmesi, akışkanın sıcaklığının belirlenmesi ve kuyu dizaynının sıhhatli yapılmasında çok önemlidir.
- Bu bilgiler sondajın kimliği niteliğindedir.





## **Özet Olarak Jeotermal Kaynak Araştırmalarında Yerbilimleri Çalışmalarının Önemi**

- **Elektrik ve elektromanyetik yöntemler jeotermal aramalarda en sık başvurulan jeofizik yöntemdir.**
- **Doğru akım (DC), doğal gerilim (SP) ve indüksiyon polarizasyon (IP) yöntemleri de yer altı özdirenç değişiminden etkilenmektedir.**
- **DC ve IP yöntemleri ancak sığ çalışmalar için (0-200 m) ayrımlılık ve uygulama kolaylığı açısından yararlı olabilir.**
- **DC ve IP yöntemlerinde araştırma derinliğini arttırmak için çok uzun kabloların kullanılma zorunluluğu, derin araştırmalar için bu yöntemleri pratik olmaktan çıkarır.**
- **Düşey elektrik sondajı (DES) gibi uygulamalar, MT uygulamaları ile karşılaştırıldığında daha yavaştır.**
- **Aynı sahada derin amaçlı bir adet/gün DES uygulaması yapılabilir.**
- **MT doğal kaynaklı bir yöntem olduğundan ölçülen istasyon sayısı araziye yerleştirilen MT sistemi sayısı kadar olacaktır.**
- **Topografyanın hızlı değişim gösterdiği bölgelerde de MT uygulamaları daha sorunsuzdur.**
- **Arama amaçlı MT çalışmaları dışında, sürekli MT ölçüleri ile üretim sırasında rezervuarın gözlenmesi ve benzeri uygulamalar da bulunmaktadır.**
- **MT yöntemi jeolojik trendlerin, ayrışma kuşaklarının ve fay sistemlerinin incelenmesinde başarılı bir yöntemdir.**
- **Jeotermal akışkanlar çevrelerinde sıcaklık, elektriksel iletkenlik, yoğunluk ve çeşitli**

## **Özet Olarak Jeotermal Kaynak Araştırmalarında Yerbilimleri Çalışmalarının Önemi**

**Elektromanyetik (EM), Manyetotellürik (MT), Transient Electromagnetic (TEM), Controlled Source Audio Magnetotellürics (CSAMT) jeofizik etüt yöntemleri ile ;**

- \* Yapısal ve stratigrafik araştırmalar,**
- \* Petrol, doğal gaz gibi hidrokarbon araştırmaları,**
- \* Jeotermal enerji aramaları,**
- \* Madenler(masif, dissemine sülfürlü cevherler, metalik madenler, yapısal problemler),**
- \* Çevre jeofiziği (tatlı su-tuzlu su ve kimyasal kirletilmiş bölgelerin ayrımı),**
- \* Arkeojeofizik (Arkeolojik alanların araştırılması) yapılabilir.**

### **Manyetotellürik (MT) yöntem**

***Yer kabuğu(litosfer), manto, astenosfer(üst manto) ve bunların ara yüzeylerinin araştırmasında kullanılır.***

### **Transient Elektro Manyetik (TEM)Yöntem**

- Özellikle son yıllarda gerek ekonomik amaçlı doğal kaynakların aranmasında, gerekse yerkabuğunun hem derin hem de sığ derinliklerinin incelenmesinde avantajları nedeniyle elektromanyetik yöntemler kullanılmaktadır.***
- Elektromanyetik alanların ölçümü ve değerlendirilmesi ile ilgilenilen alanlara ve jeolojik yapılara ait bilgilere ulaşmak mümkündür.***

***Jeotermal Kaynaklarla İlgili  
Araştırmalar Sondaj Yapılıp Üretim  
Bařladıktan Sonra  
B i t t i m i ?  
HAYIR!!!!!!***

***Jeotermal Kaynağın  
Kullanılabilirliğinin Sürdürülmesi İçin  
Kaynak Özellikleri ve Çevresinin  
Sürekli İzlenmesi Sağlanabilir.***

## Jeotermal alanların sürekliliği için ne tür çalışmalar var?

### Basit olarak

- a. jeotermal kaynağın yüzeyden beslenmesi için Reenjeksiyon kuyuları açılması, takip edilmesi ve
- b. Mikrodepem, gravite ve GPS yöntemleri ile edile edilen verileri ile monitoring (izleme) yapılması üretim aşamasındaki çalışmalardır.

- Jeotermal kaynağın sürekli ve sürdürülebilir olması jeotermal enerji ile ilgili en önemli kriterlerden biridir.
- Bu nedenle üretim aşamasında bu konu ile ilgili çalışmalar yapılır.
- Yapılması gerekenler;
  - Sürekli rezervuarın parametreleri (sıcaklık, basınç, debi, vb.) ile
  - Kuyuların performansları izlenir.
  - Kuyuların birbirlerine olan etkileri dikkatli bir şekilde ölçülüp kayıt altında tutulur.
  - Bunun dışında rezervuarın karakteristiğini iyice anlamak için bazı izleme çalışmaları da yapılır.

# ***Bu Konu İle İlgili Dünyada (Fransa, İtalya ve Yeni Zelanda) Çok Sayıda Çalışmalar Vardır.***

## ***Bu konu ile ilgili örnek çalışmalar***

### **1. Geodetic measurements for geothermal site monitoring at Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen deep geothermal sites.**

**European Geothermal Congress 2016 Strasbourg, France, 19-24 Sept 2016**

In this study, we propose a geodetic monitoring of two geothermal sites, Soultz and ECOGI, located in North Alsace, France. We show that the geodetic monitoring is able to detect surface displacements of millimeter to centimeter magnitude, depending of the time series length and of the technique used.

### **2. Geodetic monitoring at the geothermal sites of Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen (Upper Rhine Graben – France)**

**European Geothermal Congress 2013 Pisa, Italy, 3--7 June 2013**

Surface deformation monitoring will provide constrains on the dynamic behaviour of a geothermal reservoir at the relevant space and time scales. This will be a new input for reservoir modelling. And will also give information about possible fault reactivation, induced seismicity and slow deformation.

### **3. Geodetic monitoring strategy at the geothermal sites of Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen (Upper Rhine Graben, France)**

- It will provide information on the surface deformation of the entire Rhine graben and therefore image potential reservoirs in their natural state (WP1).
- It will contribute to the better understanding of the regional strain field, linked with the exploration of deep geothermal resources (WP2),
- It will provide information on the surface deformation above geothermal exploitation during stimulation (WP3)

**ZAMAN AYIRIP  
DİNLEDİĞİNİZ  
İçin  
TEŞEKKÜR  
EDERİM**