

# **JEOTERMAL ARAMA YÖNTEMLERİ**

Jeolojik ve jeofizik yöntemler jeotermal ve hidrokarbon kaynaklarının aranmasında kullanılan iki temel yöntemdir. Jeofizik arama yöntemleri yerkürenin fiziksel özelliklerini inceler. Burada yeraltı sıcaklığı ve kayaçların akışkan içeriğine duyarlı parametreler kullanılır.

Amaç

- ✓ Bir jeotermal kaynağın ortaya çıkarılması
- ✓ jeotermal sistem için üretim alanı oluşturmak
- ✓ Rezervuarların yerinin tespit edilmesi
- ✓ Jeotermal sistemin genel özelliklerinin değerlendirilmesi
- ✓ Termal akışkanların belirlenmesi
- ✓ Jeolojik gövdelerin geometrisinin ortaya konması
- ✓ Tasarım modelinin geliştirilmesi
- ✓ Sondaj yapılacak hedeflerin yerlerinin tespit edilmesi
- ✓ Potansiyel jeotermal enerji barındıran alanın belirlenmesi

Bir jeotermal sistemin önemli fiziksel parametreleri/özellikleri şunlardır:

- Sıcaklık
- Porozite
- Geçirgenlik
- Akışkanın kimyasal bileşimi
- Boşluk basıncı
- Akış hızı
- Su doygunluğu

Bu parametreler geleneksel jeofizik yöntemlerle doğrudan ölçülemez. Ancak bu parametrelerle ilişkili olup jeotermal sisteme yönelik bilgi veren jeofizik yöntemler de mevcuttur:

- ✓ Sıcaklık
- ✓ Elektriksel rezistivite
- ✓ Sismik hız
- ✓ Termal iletkenlik
- ✓ Akım potansiyeli

Jeofizik yöntemler iki gruba ayrılır:

1. Doğrudan yöntemler
2. Dolaylı yöntemler

Doğrudan jeofizik yöntemler jeotermal aktivite tarafından önemli ölçüde etkilenen parametrelere yönelik bilgi sağlarlar. Dolaylı yöntemler ise jeotermal sistemi anlamada oldukça önemli olan yeraltı yapıları ve jeolojik gövdeler hakkında detaylı bilgi verirler.

### Doğrudan jeofizik yöntemler

1. Termal yöntemler
2. Rezistivite yöntemleri
3. Doğal potansiyel yöntemleri

### Dolaylı jeofizik yöntemler

1. Manyetik etüt
2. Gravite etüt
3. Aktif sismik etüt

Yüzeyde yapılan başarılı arama sonuçları geliştirme safhasında yürütülecek diğer çalışmaların maliyetini azaltacaktır ve böylece proje bütçesine büyük bir katkı sağlayacaktır. Yöntemlerin seçilmesini etkileyen birçok faktör vardır:

- Jeolojik koşullar
- Yüzey belirteçlerinin bulunabilirliği
- Coğrafik ortam
- Maliyet
- Zaman
- Özel ihtiyaç ve gereklilikler

## **ARAMA YÖNTEMLERİ**

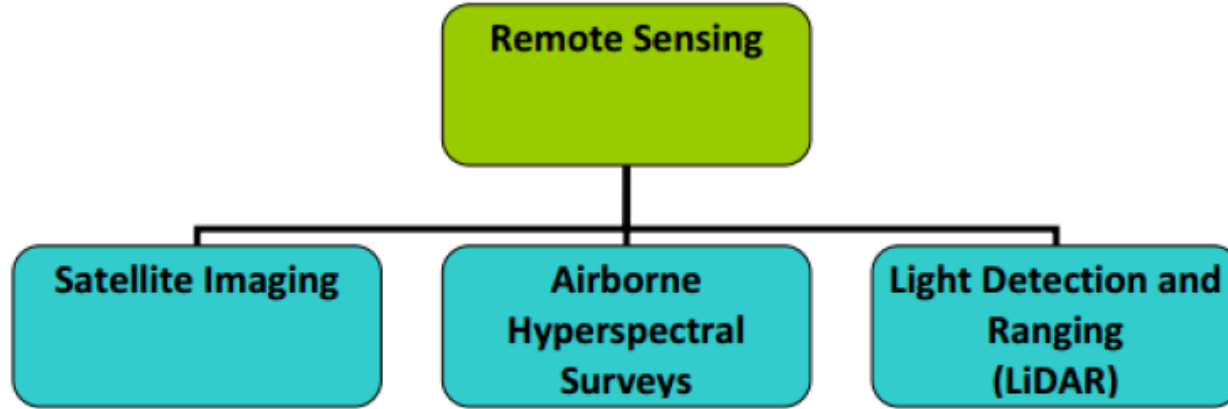
### **JEOLOJİK TEKNİKLER**

Jeolojik çalışmalar seçilmiş alanlarda jeolojik birimlerin, tektonik ve varsa volkanik unsurların haritalanması ile başlar. Sıcak su kaynakları, fümerol ve alterasyon gibi belirteçler de bu haritalara dahil edilir. Yüzey belirteçlerine ait sıcaklık, akış hızı, iletkenlik gibi parametreler ölçülür. Arama yapılan alanın jeolojisi anlaşılmadan atılacak her adım varsayımdan öteye geçmez. Çıkarılacak üç boyutlu jeolojik model jeotermal sisteme ait jeokimyasal ve jeofizik özelliklerin değerlendirilmesinde oldukça faydalı olacaktır. Bu tür 2B veya 3B modeller detaylı jeolojik harita ile gerek yüzey gerekse yeraltından toplanan jeokimyasal ve jeofizik verilerin bütünleştirilmesiyle anlam oluşturulur. Güvenilir bir modelin ortaya konulması detaylı yüzey haritalaması, fayların yapısal analizleri, uydu görüntülerinin değerlendirilmesi, alterasyon minerallerinin analizleri ve dağılımı, jeotermal belirteçlerin yaşlarının tayini ve varsa kuyu verilerinin göz önüne alınması ile mümkündür. Jeolojik tekniklerin uygulanması jeotermal sistemi kontrol eden aktif kırıkların davranışı ve evrimine geniş bir bakış açısı sağlar. Alandaki geçirimsizlik dağılımı, akışkan hareket yolları ve kırık dağılımı da değerlendirilen parametreler arasındadır.

Elde edilecek jeolojik bulgular özetlenirse:

1. Isı kaynağı – magmatik, intrüzif
2. Geçirgenlik – olası akışkan hareket yolları
3. Rezervuar– geçirgen kayalar, fay desenleri, kontaklar
4. Olası jeolojik tehlikeler, riskler
5. Alanın yeraltı koşullarının kavramsallaştırılması

## UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ



Uzaktan algılama tekniğinde belirli bir alanda veri toplanması için herhangi bir cisimle doğrudan temas etmeksizin uydular veya havadan taşınan (airborne) alıcılar kullanılır. Bu yöntem pasif ve aktif olmak üzere iki kısımdır. Pasif teknikte, bir cisim veya incelenen alandan yansıyan doğal radyasyon algılamak üzere çeşitli alıcılar kullanılır. Aktif uzaktan algılamada ise, bir enerji üretilir ve cisimden geri yansıyan sinyal ölçülür. Uzaktan algılama petrol, gaz ve jeotermal kaynakların aranmasında kullanılır. Burada amaç jeokimyasal ve jeofizik veriler de desteklenerek jeotermal kaynağın tanımlanması ve işletilmesidir. Uzaktan algılama teknikleri sinter ve tuf gibi hidrotermal olarak altere olmuş mineraller de dahil jeolojik unsurların haritalanması, yüzey sıcaklık anomalilerinin belirlenmesi ve jeotermal sahaların ortaya konulması için kullanılan önemli ön etütlerdir.

Dalga boyu aralığı, spektral çözünürlük ve görüntü kalitesine yönelik güncel çalışmalar yakın kızılötesi ve termal kızılötesi görüntü araçlarında önemli gelişmelere yol açmıştır (Advanced Space borne Thermal Emission, Reflection Radiometer (ASTER), The Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS). Veri setleri birkaç (multispectral) veya yüzlerce (hyperspectral) dalga boyundan elde edilebilir. Yeni jeotermal sahaların değerlendirilmesi ve mevcut kaynakların izlenmesini destekler bağlamda jeotermal ısı akışının tahmin edilmesi için airborne Thermal Infrared Remote Sensing (TIR) tekniği kullanılmaktadır. Termal değişimlerin normal değerleri bilindiğinde, jeotermal aktivite ile ilişkili anomali derecesindeki değişimler saptanabilir.

## **JEOKİMYASAL ETÜTLER**

Jeokimyasal çalışmalar jeotermal kaynakların ön etütlerinde ve ayrıca arama ve işletme safhalarında önemli rol oynar. Jeokimyasal etütlerin esas amacı bir jeotermal sistemdeki akışkanların yeraltındaki bileşiminin ortaya konulmasıdır. Akışkanlar için elde edilen farklı bileşimler termal suların sıcaklıkları, sıcak suların kökeni ve akış yönü hakkında bilgi sağlar.

Sıcak su ve buhar çıkışlarına ait kimyasal veriler arama sondajlarının lokasyonu da dahil olmak üzere alandaki ileri etütler için önemli bilgi sağlar. Jeolojik, hidrojeolojik ve jeofizik yöntemlerden alınan yapısal bilgilerle birlikte jeokimyasal etütler parametrik sondajlı aramalarda karar verme sürecinde rehberlik yapabilir. Sondajlar yoluyla farklı derinliklerden toplanan akışkanların kimyasal analizleri yeraltı akışkanlarının akış yolları hakkında bilgi sağlar. Ayrıca, jeokimyasal etütler, jeofizik ve sondajlı aramalara göre çok daha ucuzdur. Bundan dolayı, jeokimyasal araçlar jeotermal arama ve geliştirme etütlerinin her safhasında yaygın olarak kullanılır. Termal akışkanlara yönelik jeokimyasal çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilir:

1. Su ve gaz örnekleme
2. Akışkanların analizi
3. Verilerin değerlendirilmesi

## **JEOFİZİK YÖNTEMLER**

Jeofizik etütlerin amacı sığ derinlerdeki kaya birimlerini görüntülemek ve jeotermal sistemdeki geçirgenliği temsil eden derin yapıları belirlemektir. Manyetotellürik, gravite, sismik ve manyetik gibi jeofizik tekniklerin bütünleştirilmesiyle ısı kaynağı, geçirgen yapılar, akışkan hareketi ve sondaj hedefleri belirlenir.

### **Sismik yöntemler**

Sismik etütler yeraltındaki sedimanter katmanlardan kaynaklanan ses yankılarını kaydeder. Bu çalışmalarda kullanılan bileşen enerji kaynakları, alıcı, kablolar, kayıt aygıtı ve akülerdir. Yeraltına sismik sinyali göndermek için bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu kaynak kimyasal patlayıcı olabileceği gibi bir şahmerdan da olabilir. Yansıyan sinyalleri kaydeden alıcılar olarak genellikle 'jeofon' kullanılır. Tüm yansıyan sinyalleri tek bir noktada toplamak için kablolar kullanılır. Kayıt aygıtı sismograftaki veya bilgisayardaki tüm sinyalleri kaydeder. İşlem yapılan sismik veriler kayaç türü ve fay yapıları gibi yeraltı jeolojisi hakkında bilgi sağlar. Sismik etüdün amacı yeraltındaki kayaç katmalarının görüntülerini geliştirmektir. Bu teknik aynı zamanla jeotermal enerjinin depolandığı potansiyel alanları belirtir. Tabakaların kalınlığı, derinliği ve uzanımı ile birlikte bu kayaçların kesildiği kırık ve fay zonlarına yönelik sağlıklı veri elde edilir.

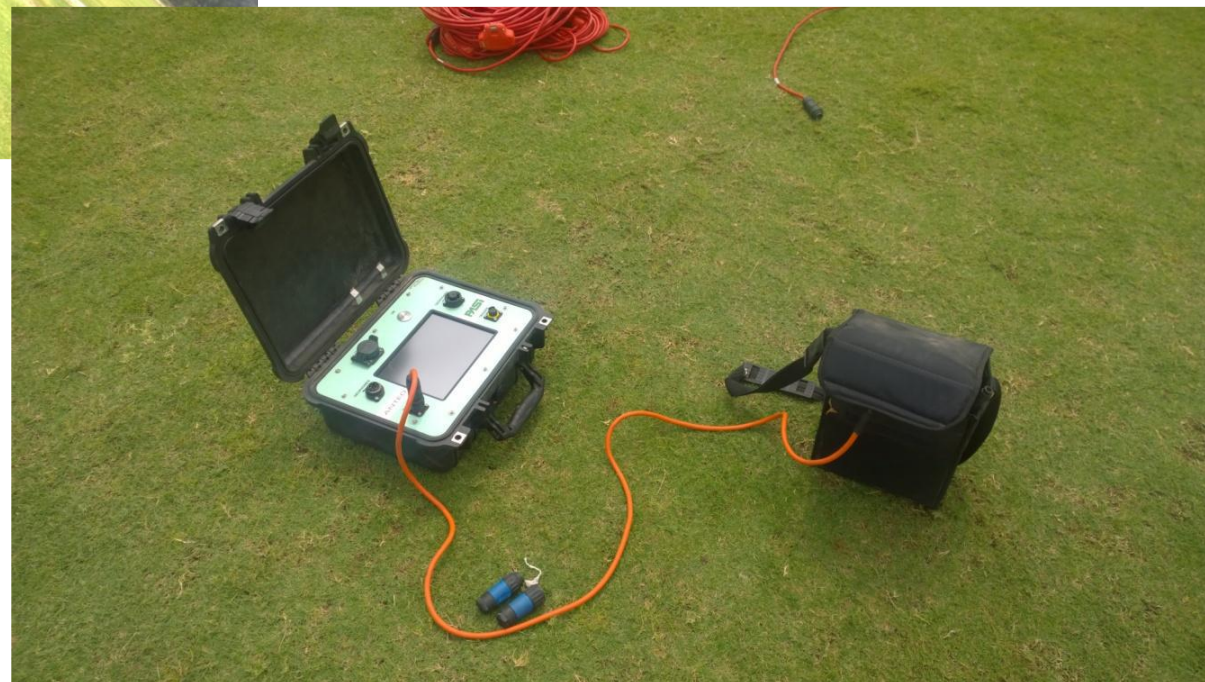


Required Condition	Measurable Physical Property	Geophysical Tool
High Fluid Flow	Porosity and Fluid Saturation	Magnetotellurics
High Temperature	Temperature and temperature gradients	Magnetotellurics Gravity
Attainable Depth	Map of subsurface structure	Reflection Seismic

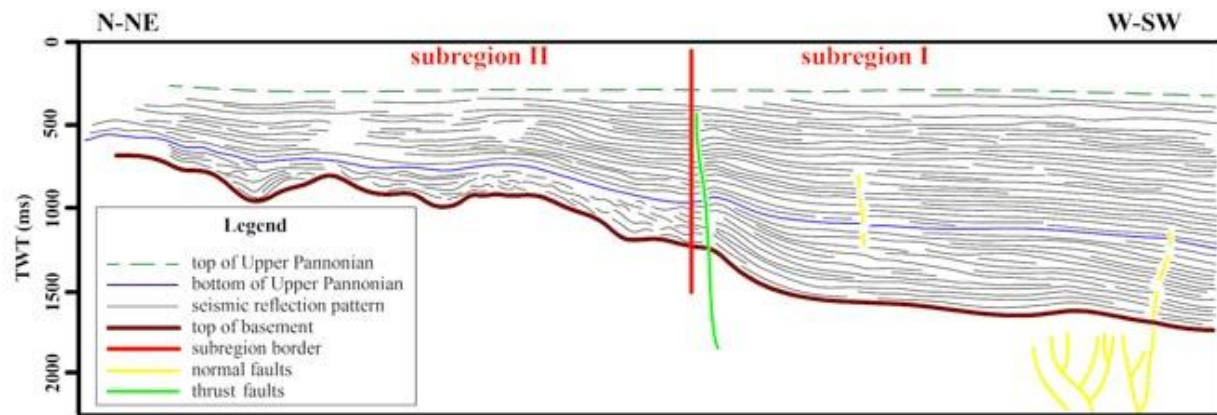
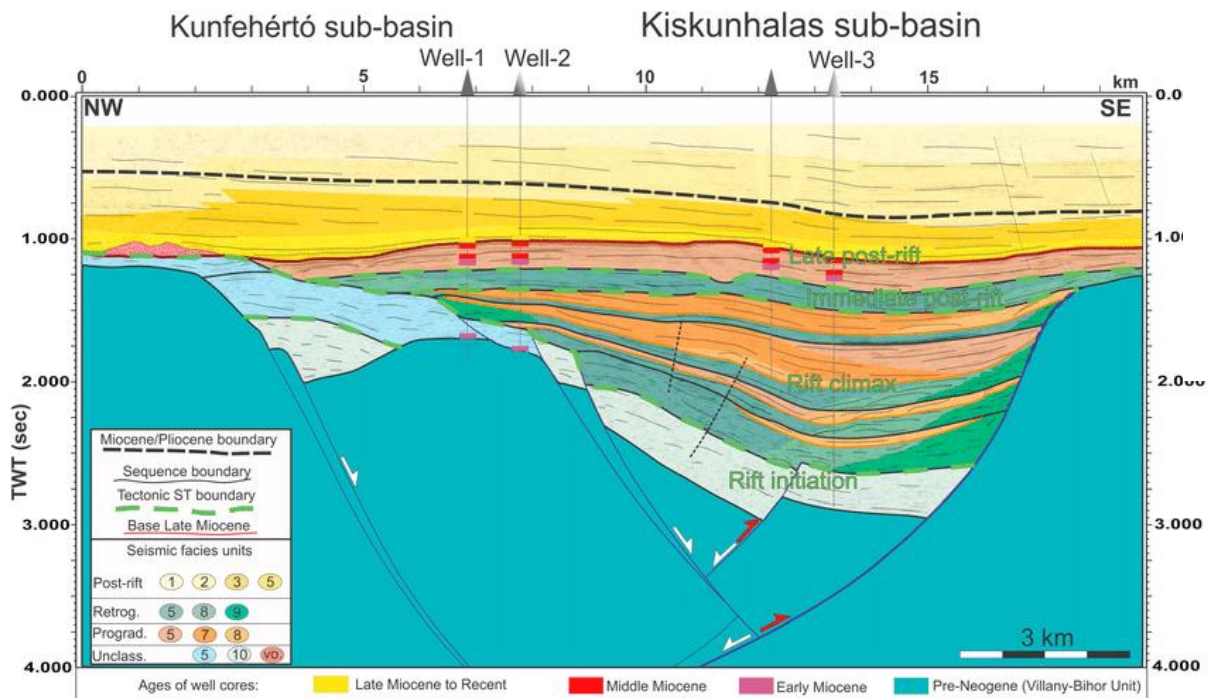
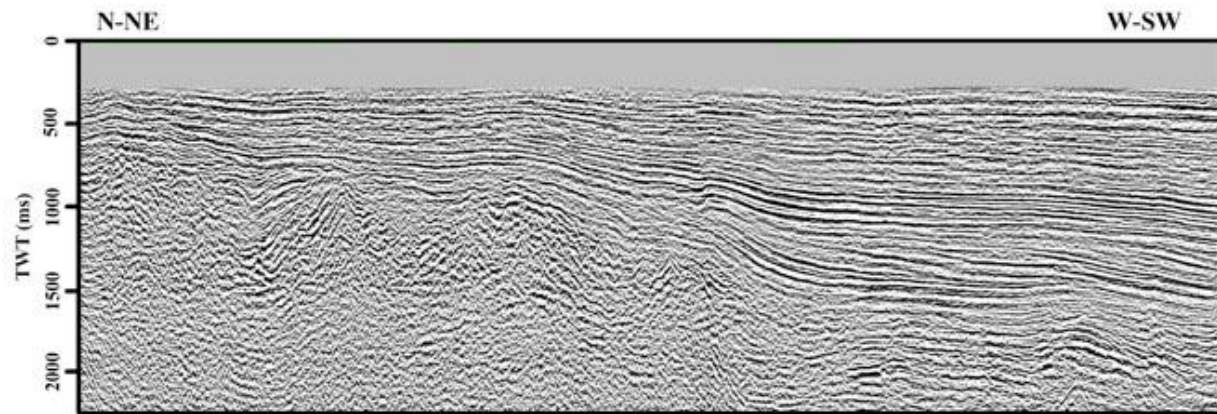
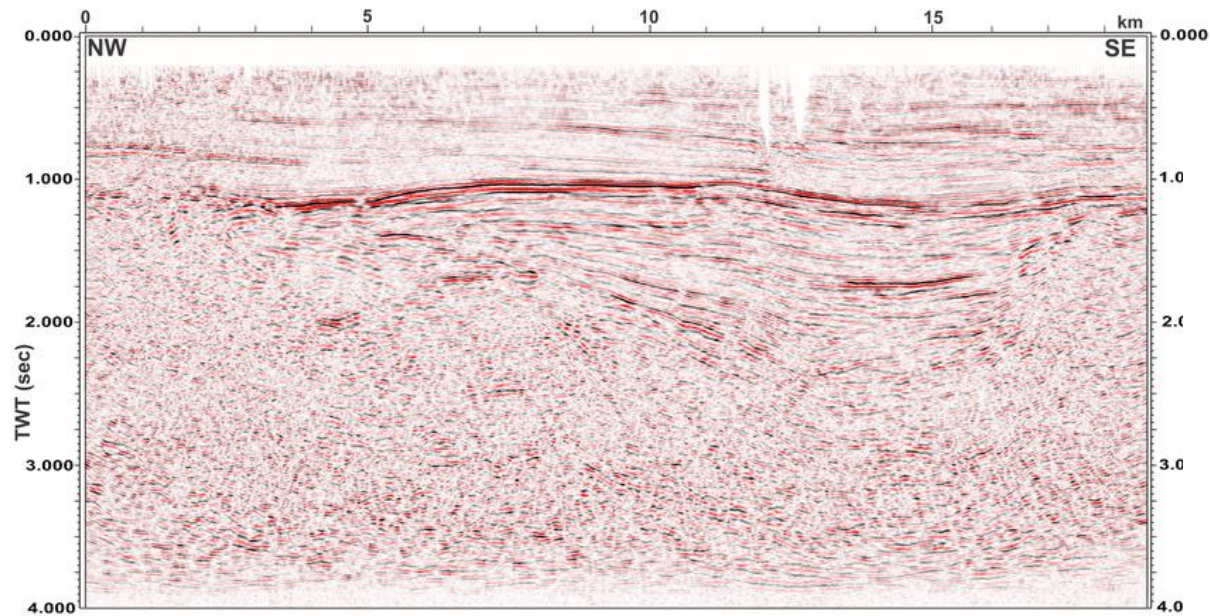
## Seismic Acquisition



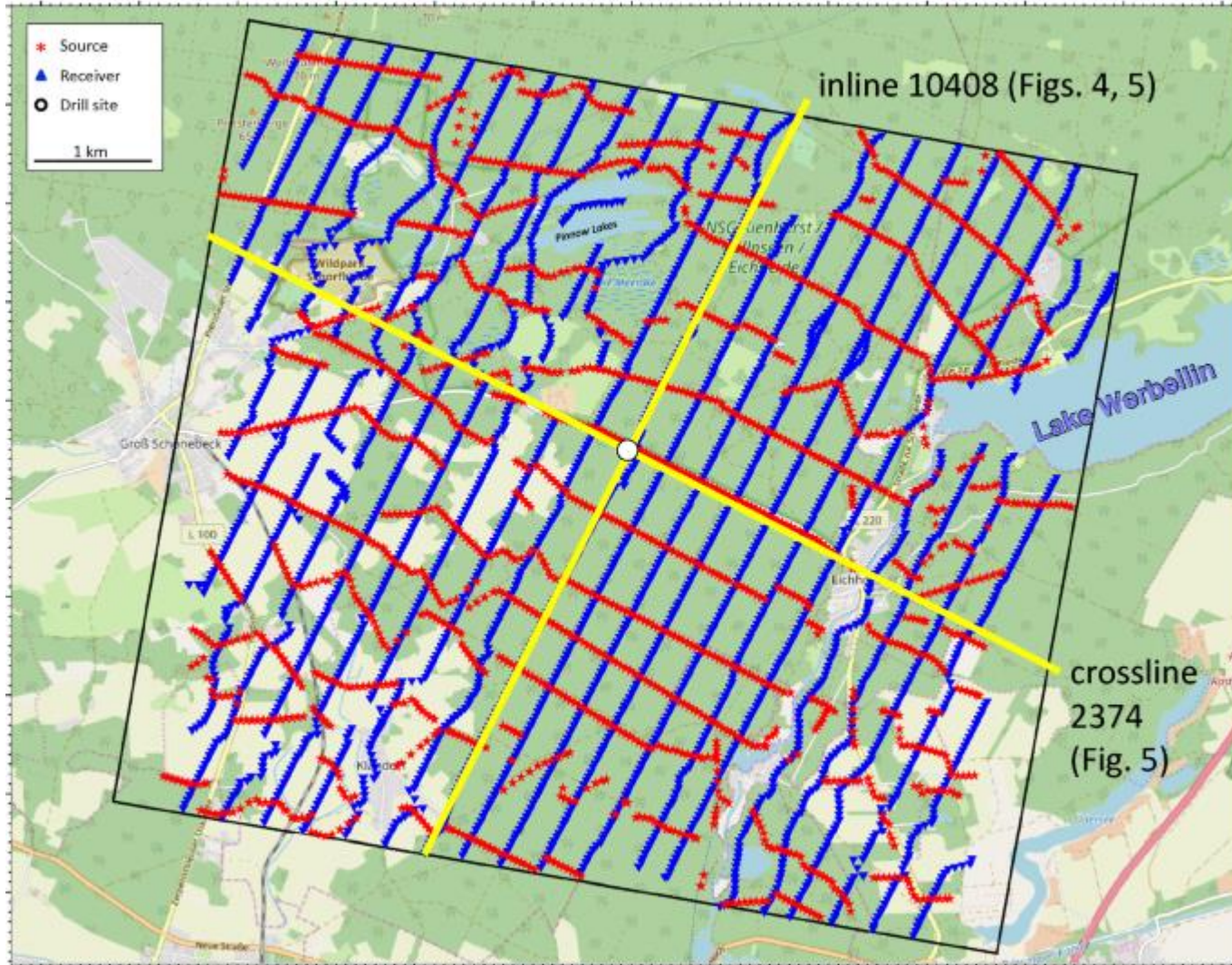
Receiver and Battery of Seismic Instrument







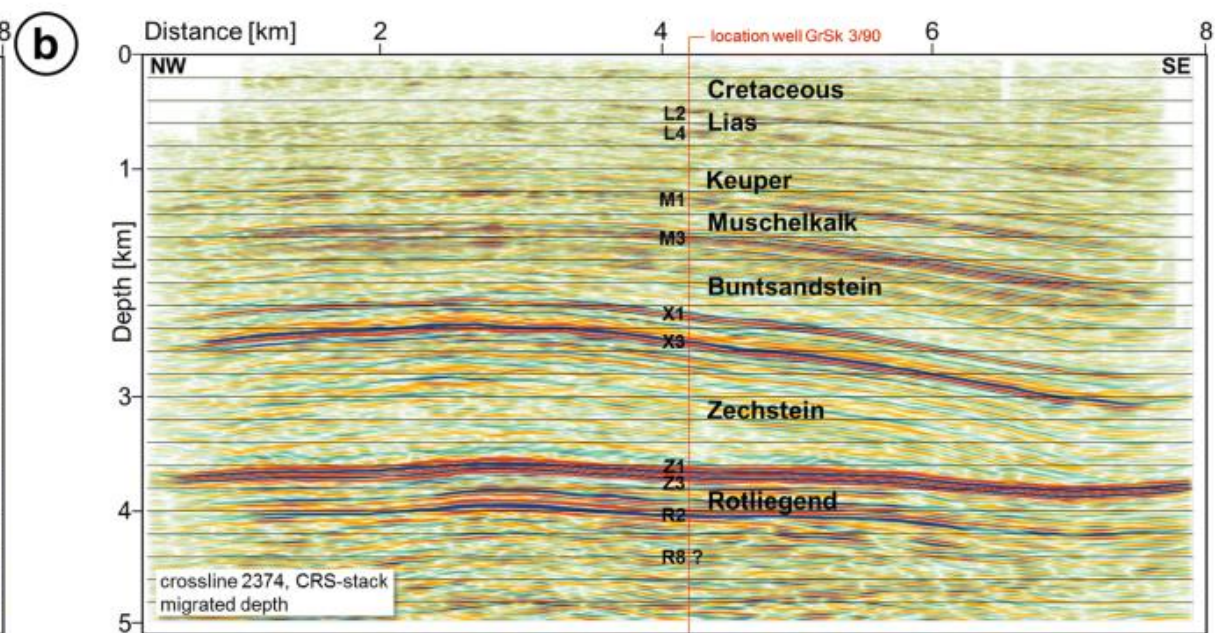
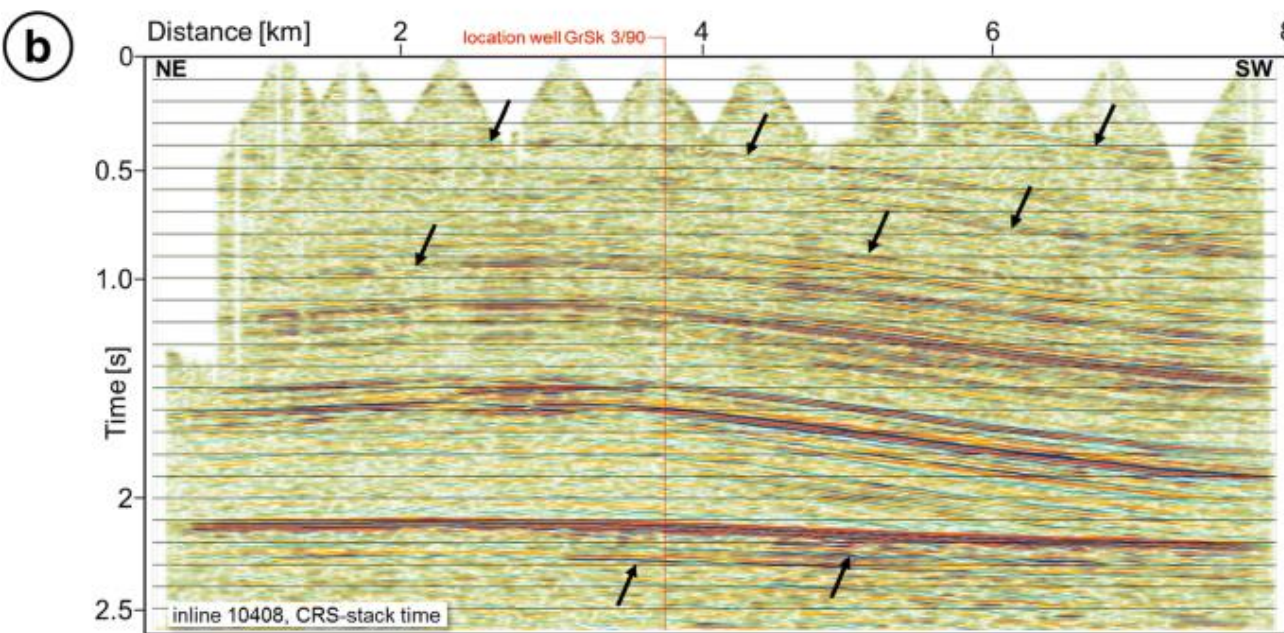
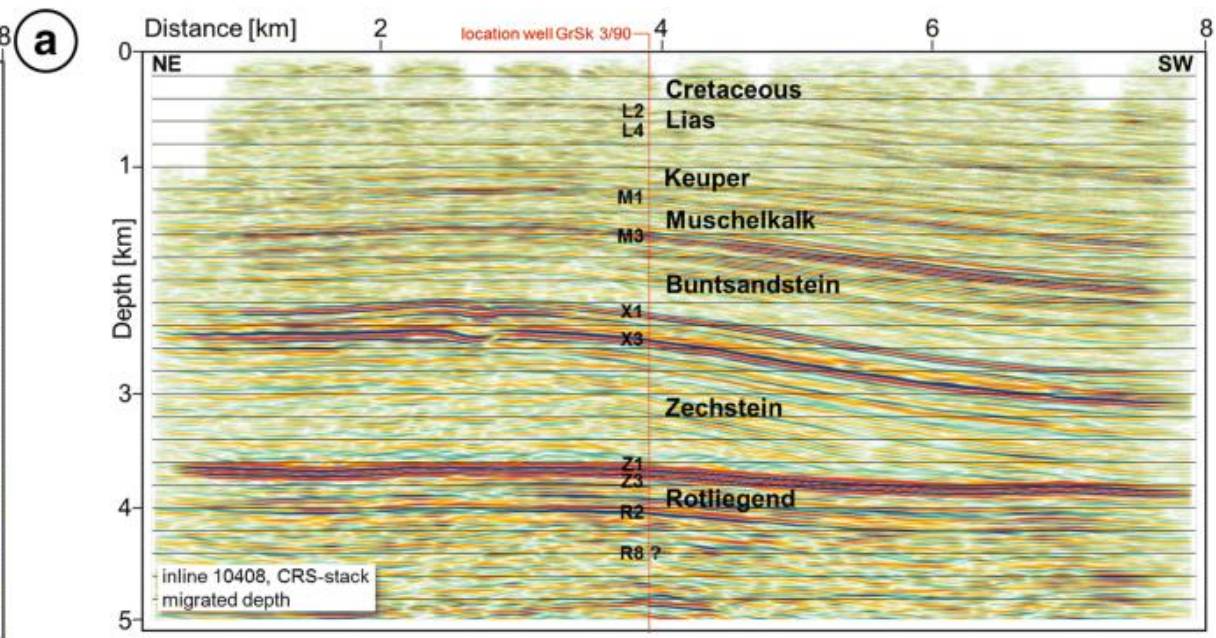
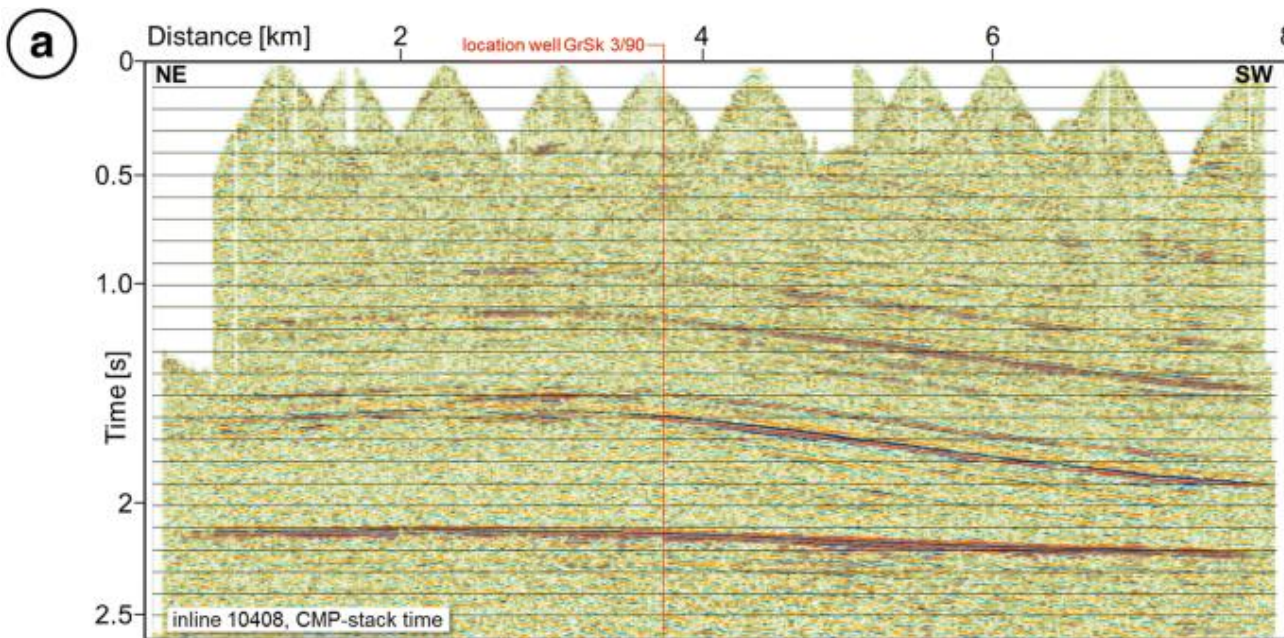




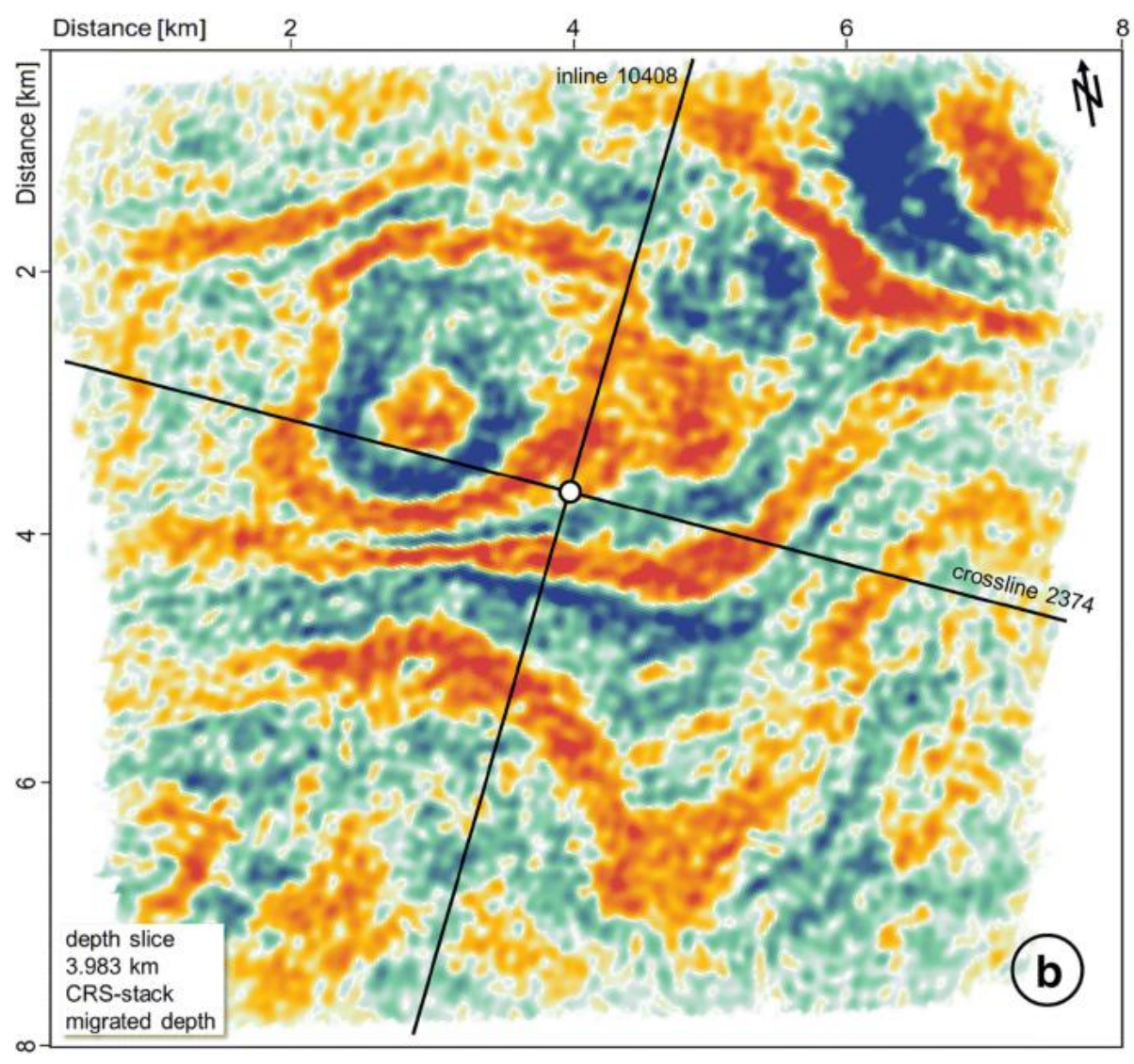
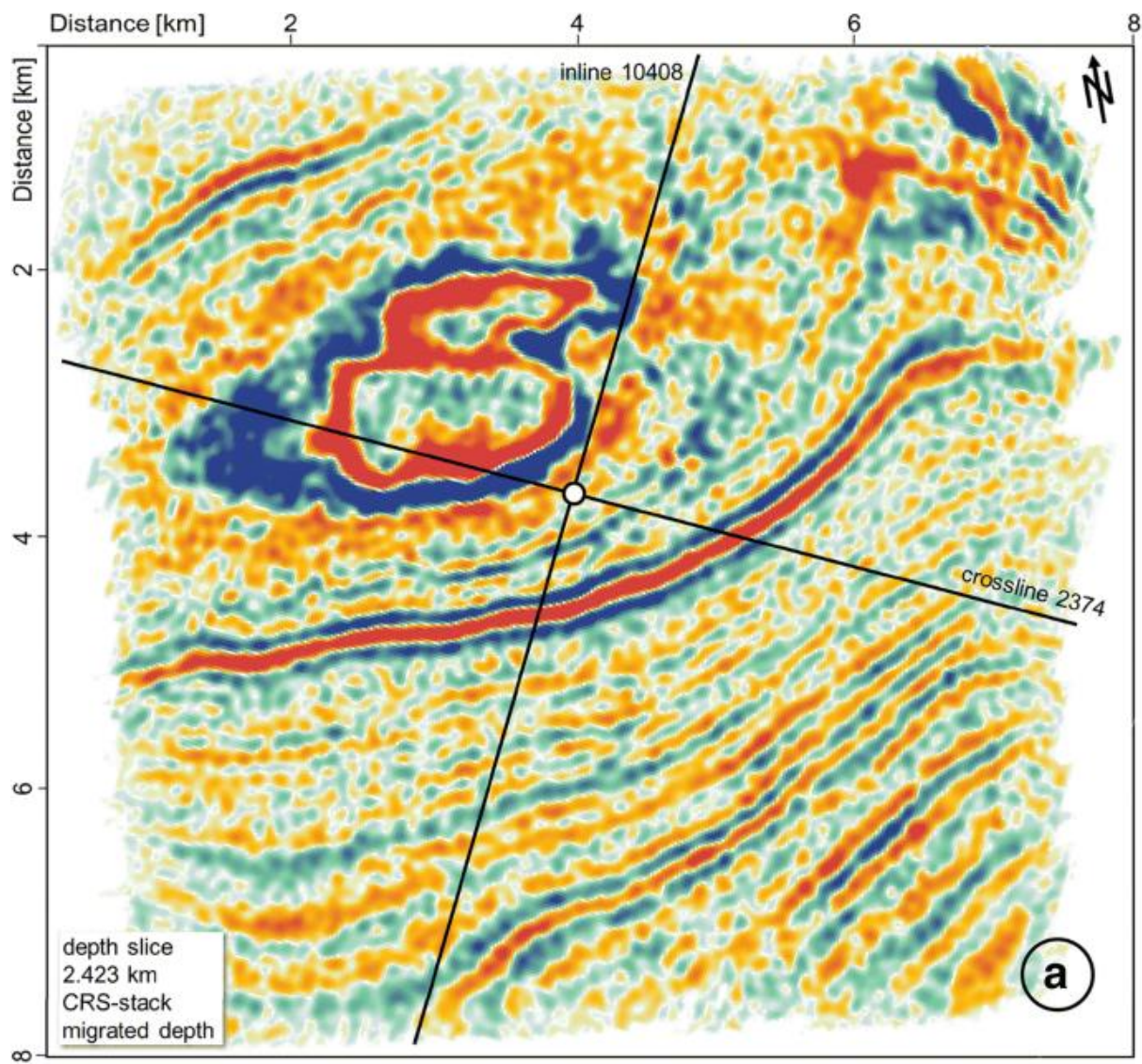
The survey area extends 8 km × 8 km at the surface and focusses down to reservoir depths at 4 km. With four vibrators as source (12–96 Hz sweep, 12 s duration), we used a source line spacing of 700 m and a receiver line spacing of 400 m with both 50 m source and geophone spacing.

Groß Schönebeck north of Berlin/Germany











Sismik yöntemde kullanılan iki teknik vardır:

**1. Sismik kırılma:** kırılma yöntemi yeraltındaki katmanların dağılımı ve kalınlığına yönelik sismik hızları esas alarak bilgi sağlar. Sismik kırılma ile yeraltındaki kayaçların dalga hızları ile temeli oluşturan kayaçların yüzey derinlikleri belirlenir. Burada en önemli husus incelenen kayaçların kırılma hızları ne kadar farklıysa çözünürlük o ölçüde yüksek olur.

**2. Sismik yansımaya:** yansımaya yöntemi ile kayaçların yatay yönde uzanımına (geometri) yönelik bilgi sağlanır. Bu nedenle, daha az uyarma enerjisi gereklidir.

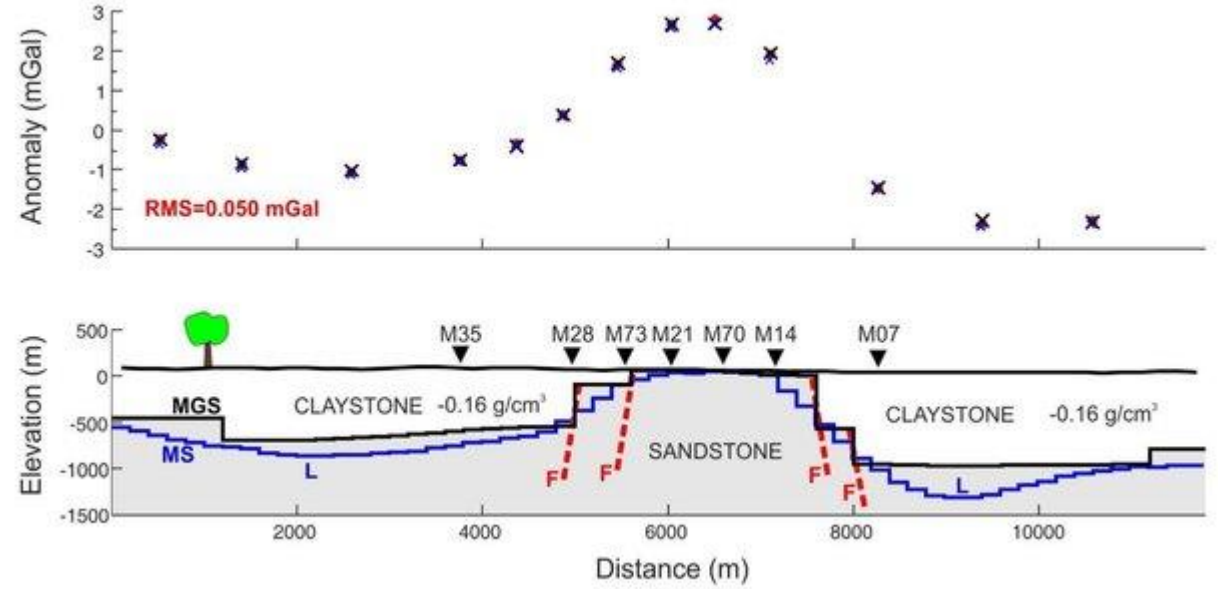
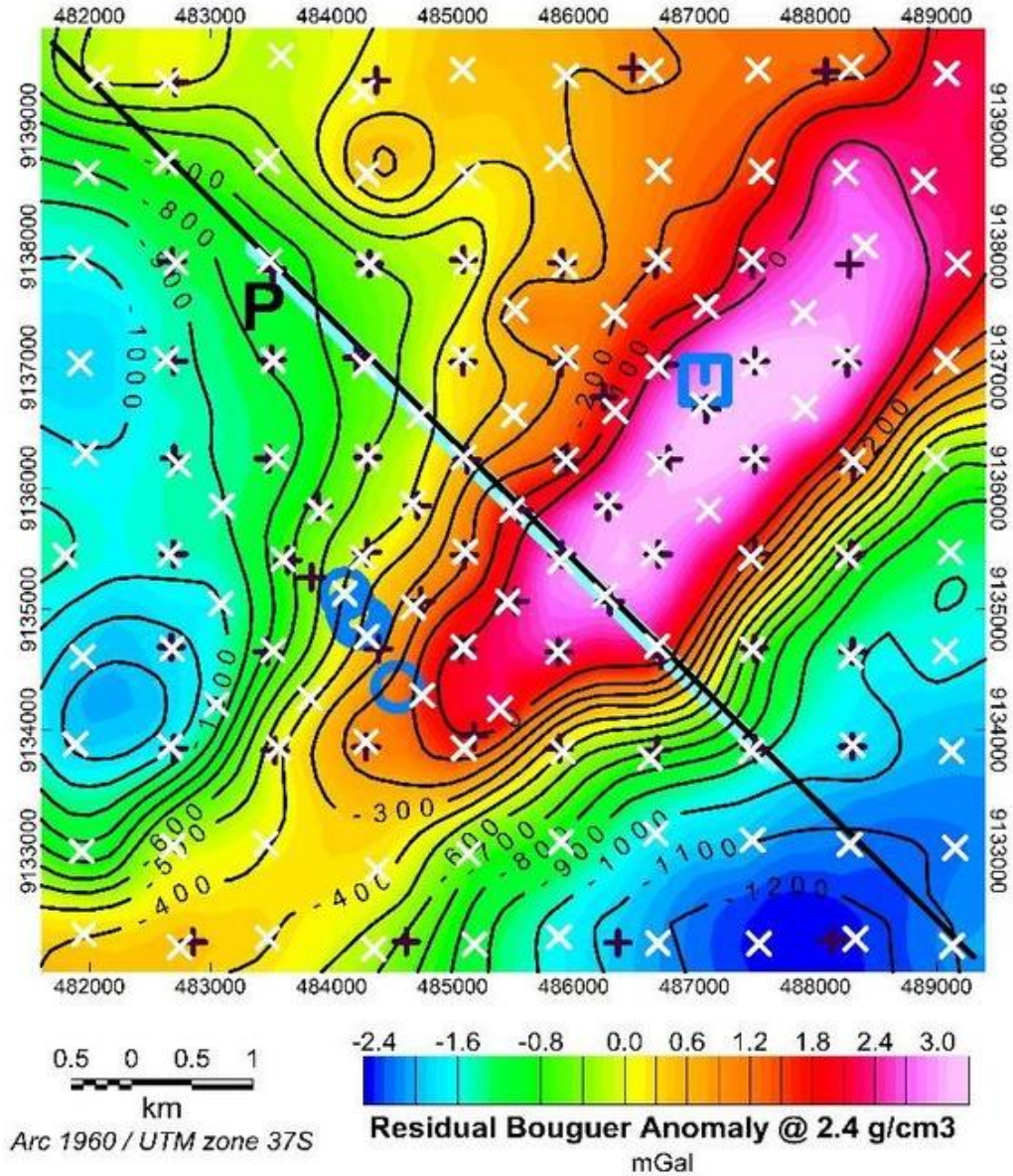
### Gravite çalışmaları

Gravite yöntemi pasif bir jeofizik yöntemi olup yerkürenin yerçekimi alanından kaynaklanan ivmenin ölçülmesini esas alır. Yeraltı kayaçlarının yatay yönde yoğunluk farklılıkları gravitede değişime neden olur. Gravimetre ile alınan ölçümler mill gal (mGal) ( $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/sec}^2$ ).



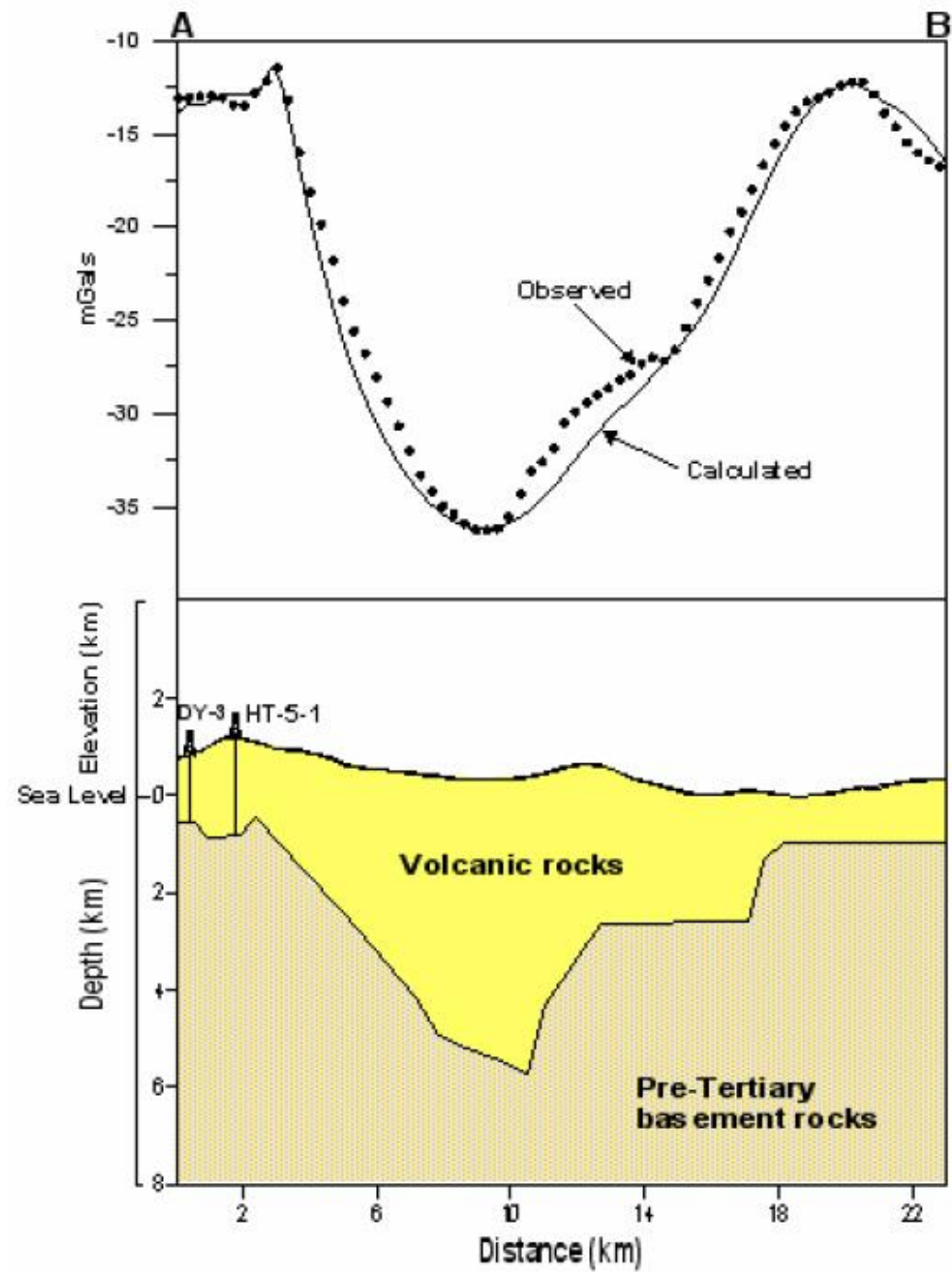
Gravity Data Acquisition

Gravimetre bir istasyon noktasındaki mutlak ve göreceli graviteyi ölçer.



**Bouguer anomali haritası** potansiyel bir ısı kaynağına işaret eden yeraltı yapıları ve tektonik yönelimlerin ortaya çıkarılması için oluşturulur. Gravite değerlerinde görülen zıtlıklar yüksek sıcaklık alanları, yüksek ısı zonları ve pozitif gravite anomalileri ile örtüşür.



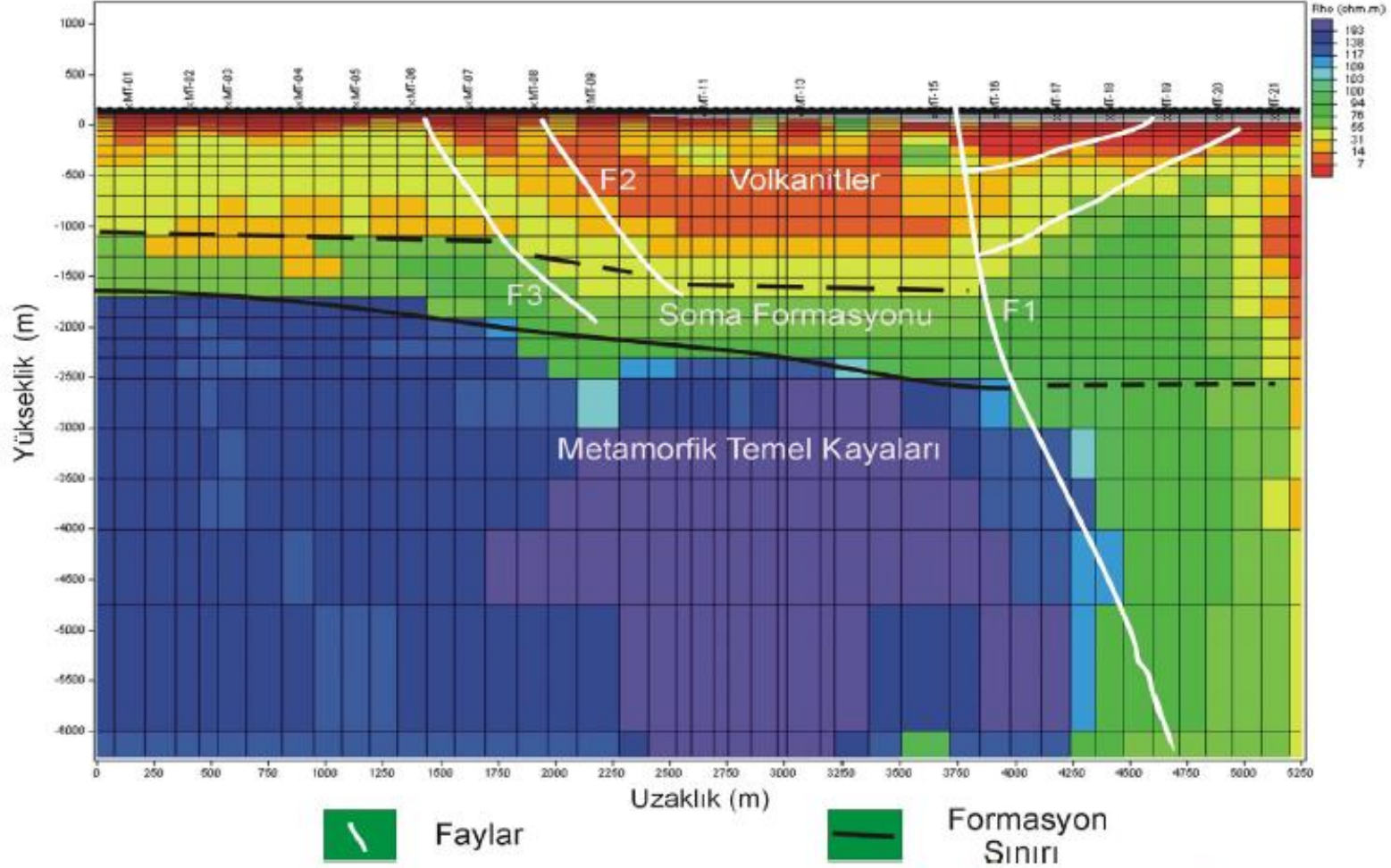


## **Rezistivite ve manyetotellürik yöntemler**

Manyetotellürik (MT) yöntem, çeşitli jeolojik ortamlardaki yeraltı yapılarının elektrik iletkenliğinin belirlenmesinde kullanılan bir jeofizik yöntemdir. Manyetotellürik (MT) yöntem, yer içinde bulunan ve birincil jeomanyetik değişimlerin oluşturduğu birbirine dik elektrik (E, koyu yazım vektör olduğunu simgeler) ve manyetik (H) alanlardaki dalgalanmaların yüzeyde ölçülmesi ve belirli veri işlem süreçleri ile yer içindeki elektrik öz direnç (iletkenliğin tersi) dağılımının elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

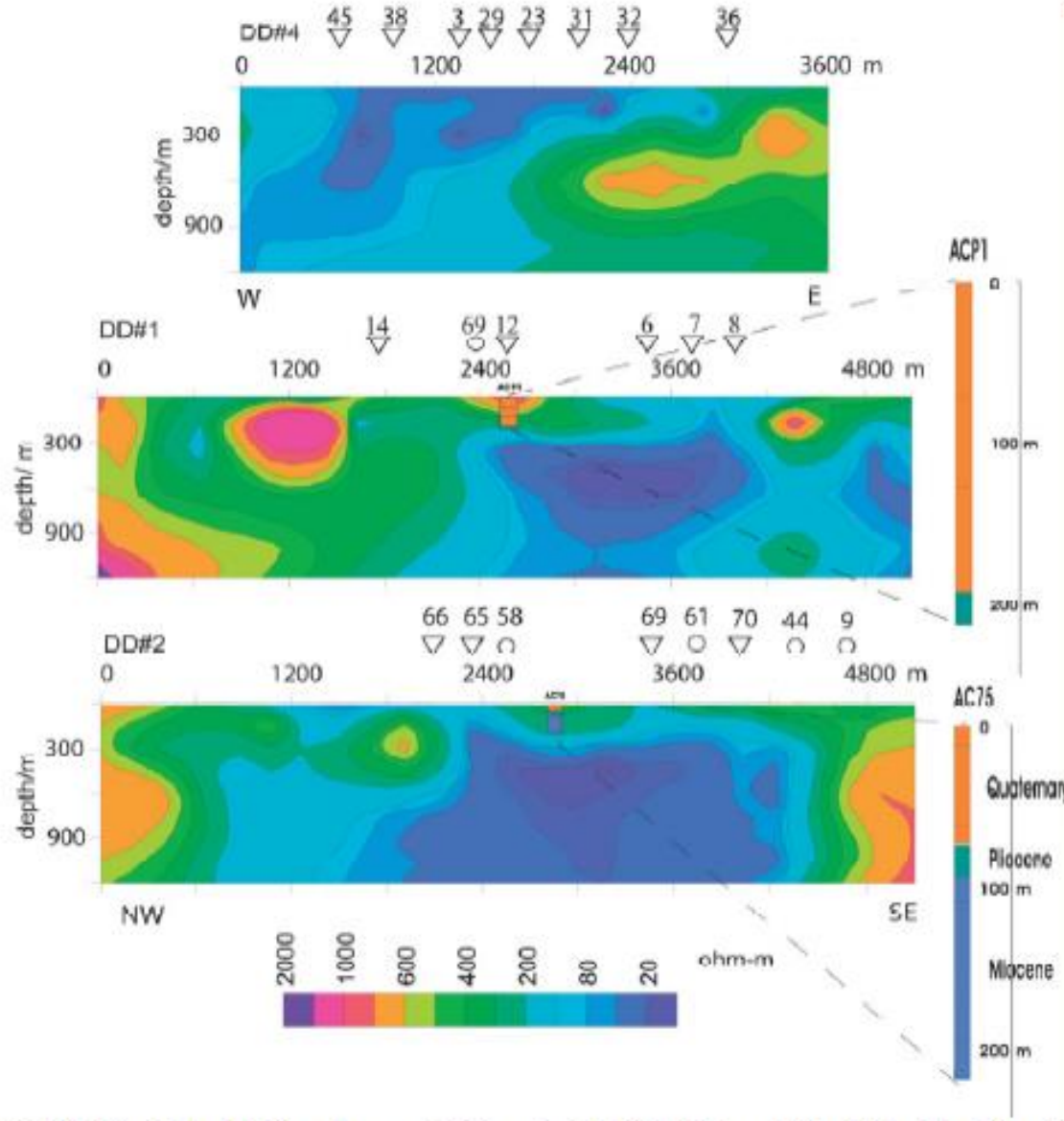
Elektriksel iletkenlik (öz direnç) değişimi yüzeyden yapılacak ölçümler ile görece kolay saptanabildiğinden, elektrik ve elektromanyetik yöntemler jeotermal aramalarda en çok başvurulan jeofizik yöntemlerden biridir. Doğru akım (DC), doğal gerilim (SP) ve indüksiyon polarizasyon (IP) yöntemleri de yer altı öz direnç değişiminden etkilenmektedir. DC ve IP yöntemleri ancak sığ çalışmalar için (0-200 m) ayrımlılık ve uygulama kolaylığı açısından AMT yönteminden bazı durumlarda daha 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 (VES) gibi uygulamalar, MT uygulamaları ile karşılaştırıldığında yavaş ve daha maliyetlidir. Topografyanın hızlı değişim gösterdiği bölgelerde de MT yöntem uygulamaları daha sorunsuzdur. Burada verilen örneklerin dışında jeotermal üretim sahalarında sürekli MT gözlemleri ile rezervuarın denetlenmesi gibi MT uygulamaları da bulunmaktadır (Başokur, 2009).





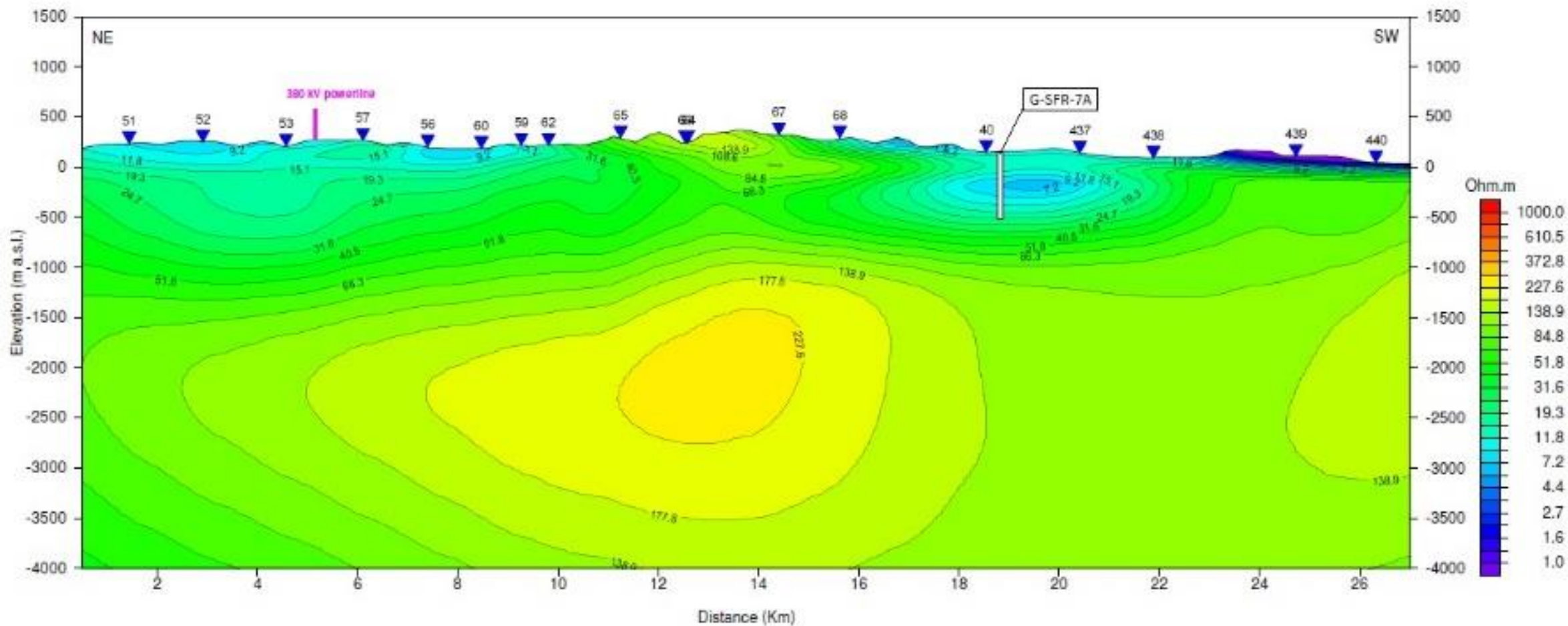
Şekil 4. Aliğa sahasında İki-boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek öz direnç dağılımı ve jeolojik yorum (derinlik 6 km - doğrusal ölçek) (Kaya ve Başokur, 2007). (Başokur, 2009).



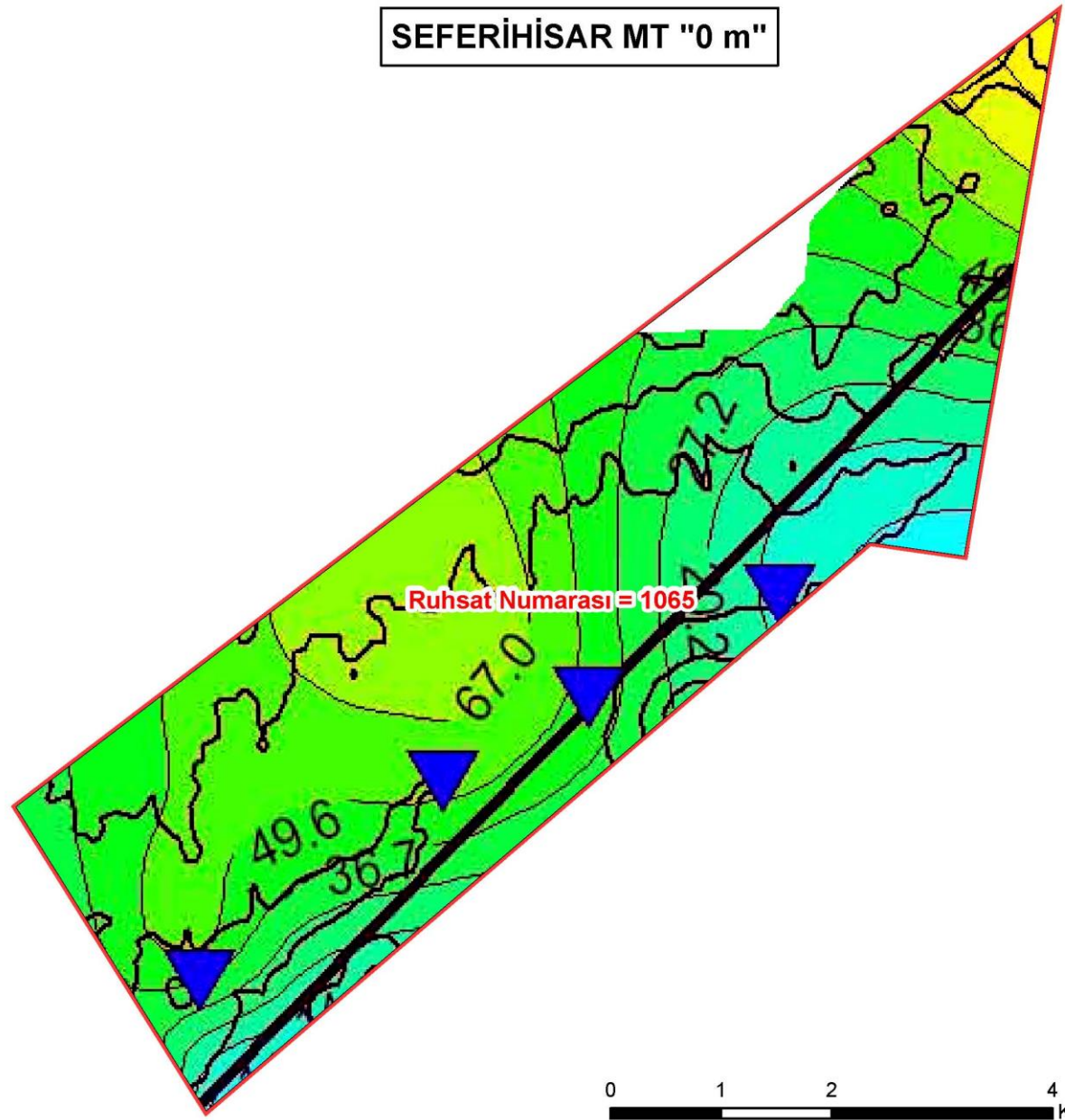
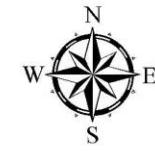


Şekil 5. Dipol-dipol doğru akım ve AMT verilerinin birleşik ters-çözümü ile elde edilen iki-boyutlu öz direnç modeli (Santos ve diğ., 2007).

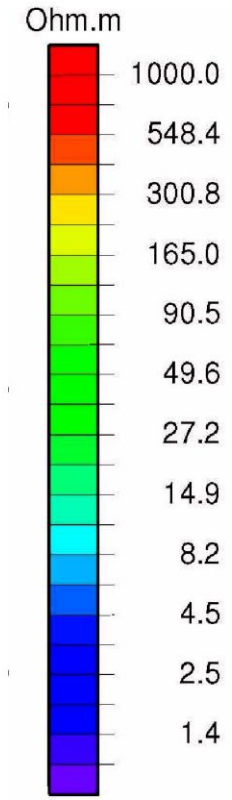
(Başokur, 2009).



SEFERİHİSAR MT "0 m"

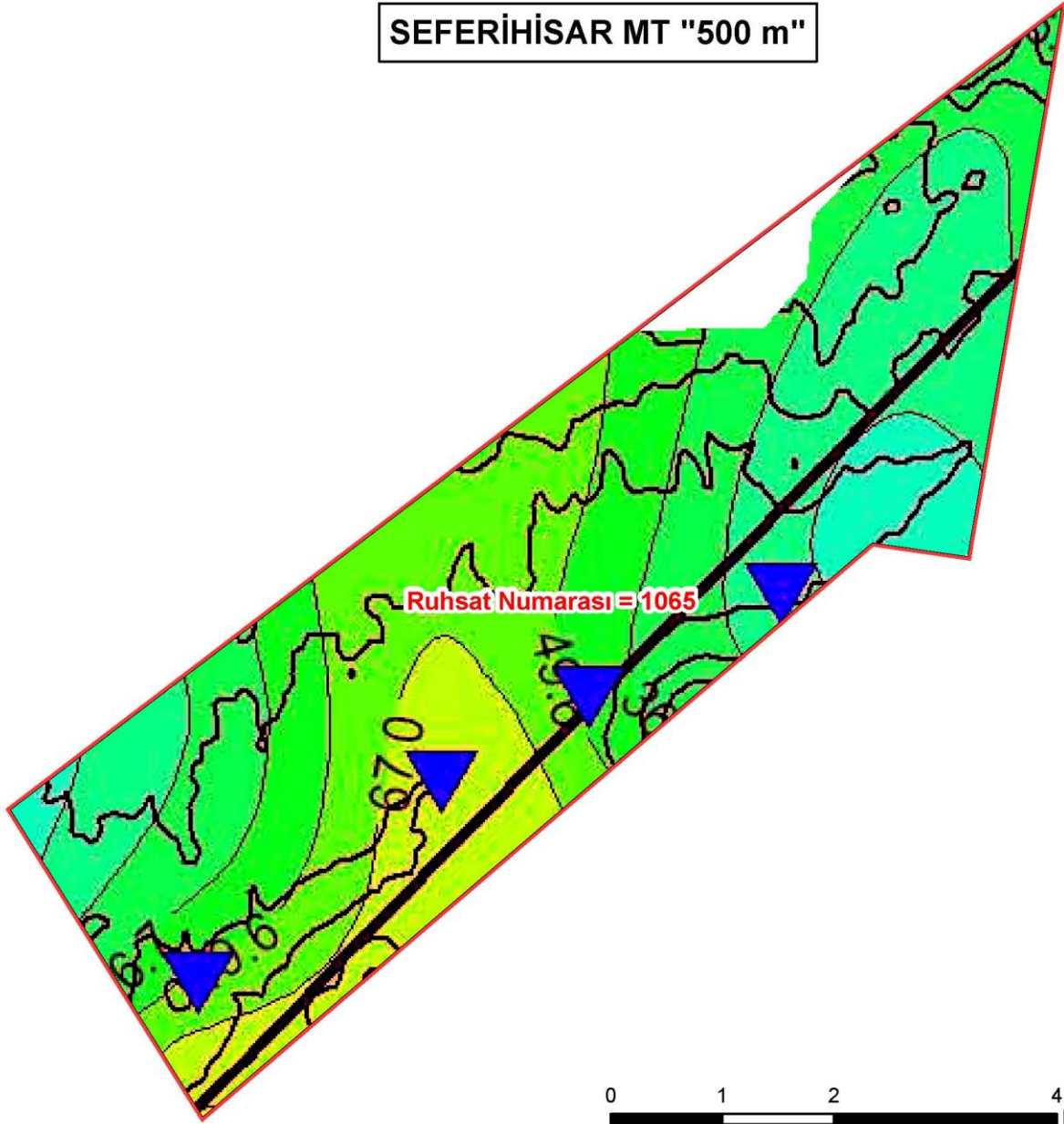


Ruhsat Numarası = 1065

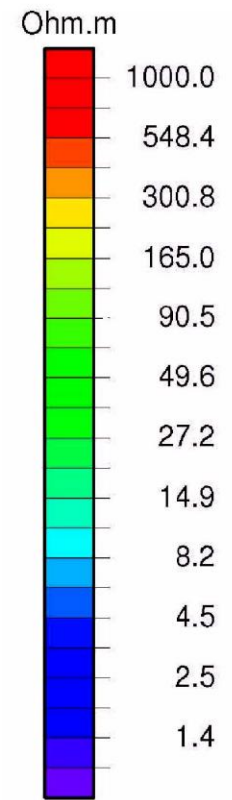


Mevcut Ruhsat

SEFERİHİSAR MT "500 m"



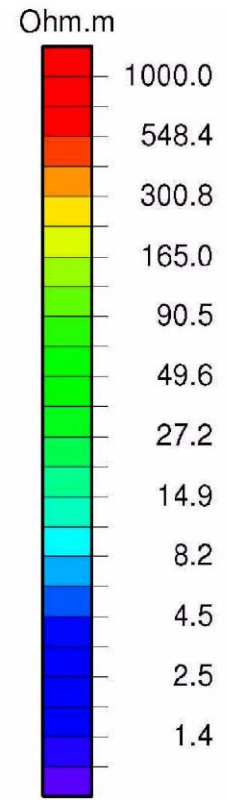
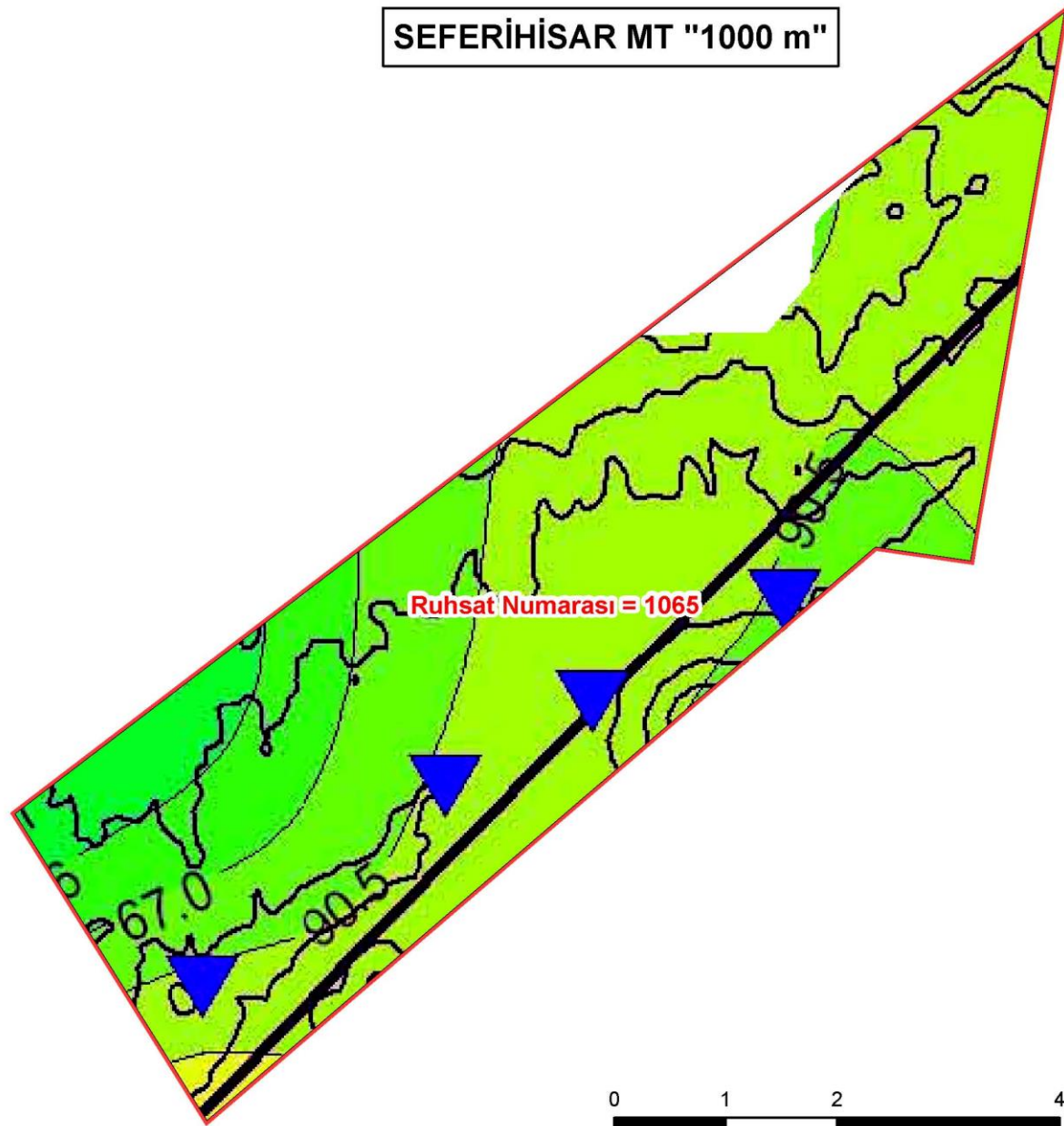
Ruhsat Numarası = 1065



Mevcut Ruhsat

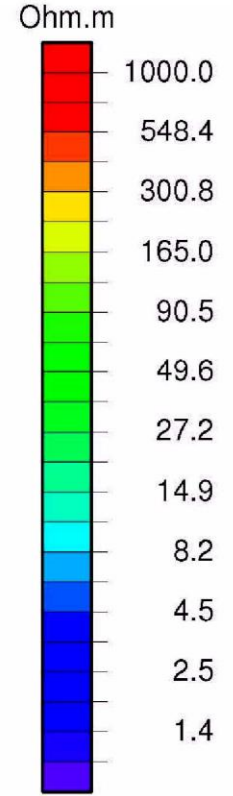
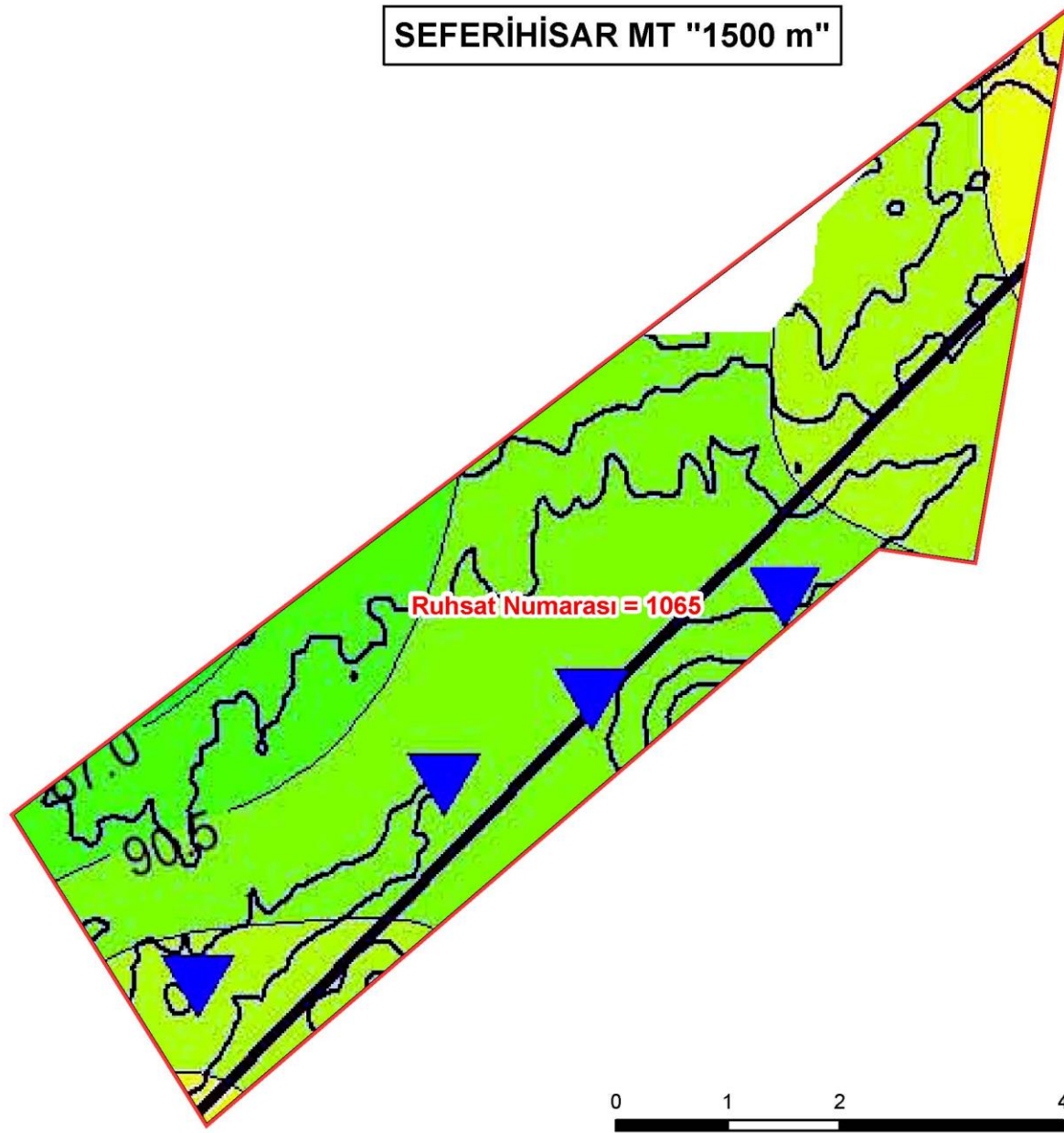


SEFERİHİSAR MT "1000 m"



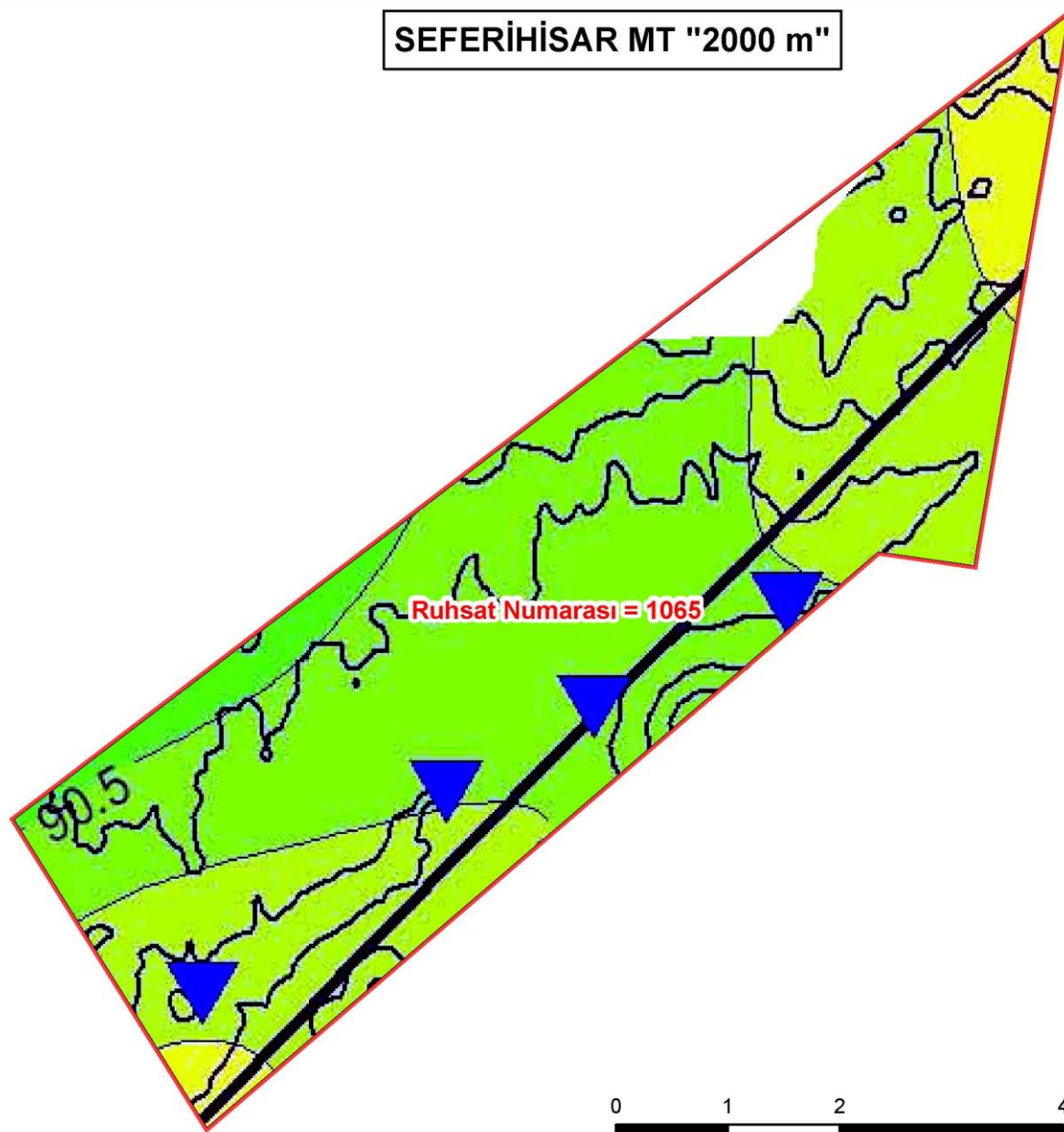
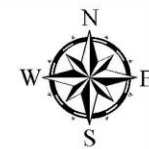
 Mevcut Ruhsat

SEFERİHİSAR MT "1500 m"



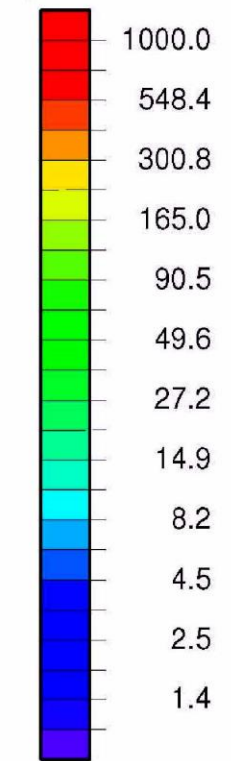
 Mevcut Ruhsat

SEFERİHİSAR MT "2000 m"



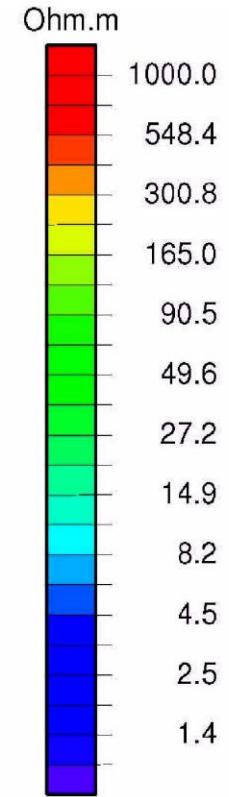
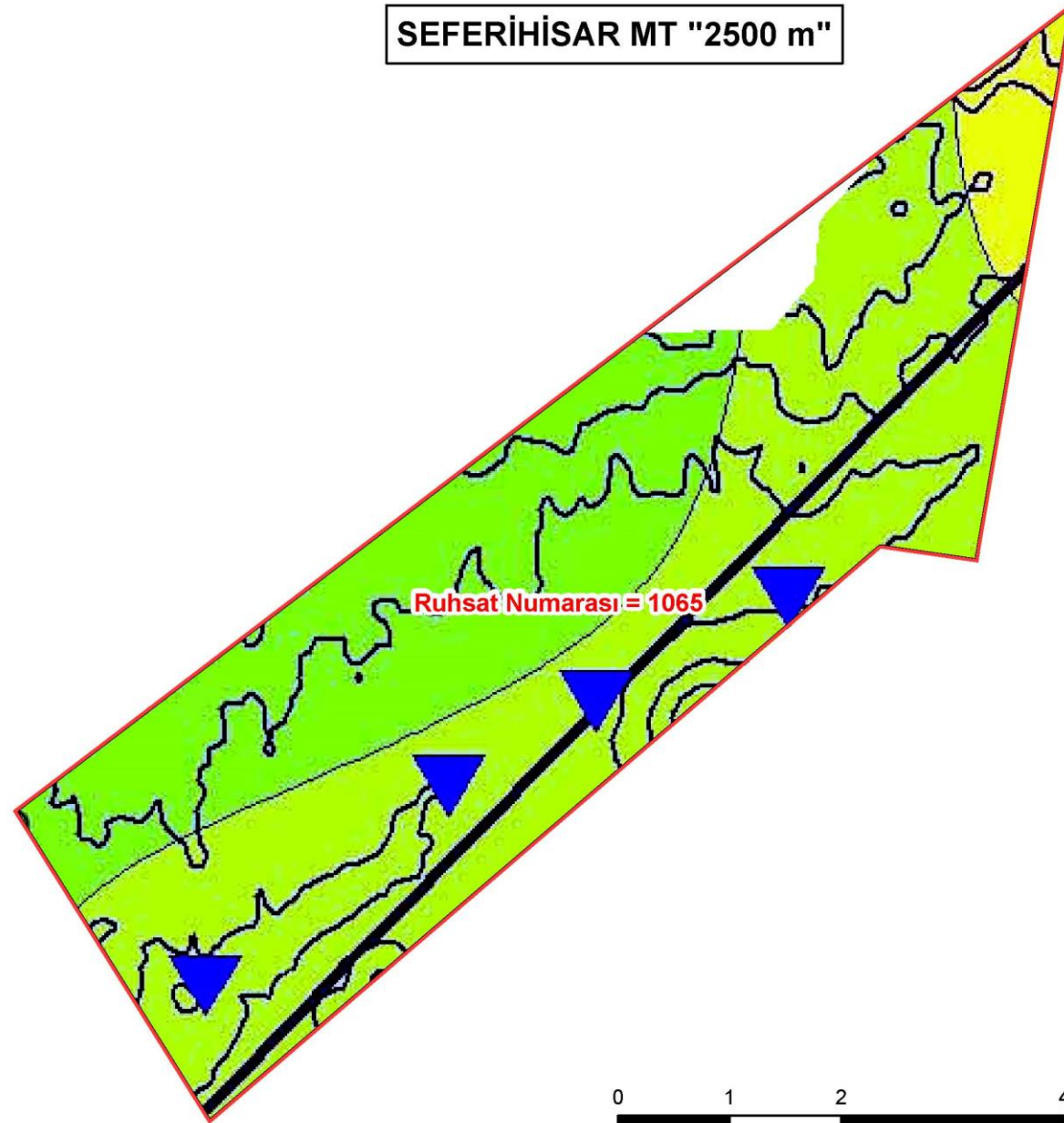
Ruhsat Numarası = 1065

Ohm.m



Mevcut Ruhsat

SEFERİHİSAR MT "2500 m"



 Mevcut Ruhsat