

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFYONKARAHİSAR-EMİRDAĞ (KARAAĞAÇ) YERALTI SUYU  
POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ TOMOGRAFİ YÖNTEMİ İLE  
ARAŞTIRILMASI**

**Emine YILDIRIM**

**Danışman  
Prof. Dr. Sedat YILMAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2021**



© 2021 [Emine YILDIRIM]

## İÇİNDEKİLER

|                                                            | Sayfa |
|------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                                           | i     |
| ÖZET .....                                                 | ii    |
| ABSTRACT .....                                             | iv    |
| TEŞEKKÜR.....                                              | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                      | vii   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                    | ix    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                        | x     |
| 1. GİRİŞ.....                                              | 1     |
| 1.1. Yeraltı suyu oluşumu.....                             | 4     |
| 1.2. Akiferler ve Türleri.....                             | 6     |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ.....                                    | 9     |
| 3. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLojİSİ .....                        | 12    |
| 3.1. Çalışma Bölgesi.....                                  | 12    |
| 3.2. Emirdağ Jeolojisi .....                               | 14    |
| 3.3. Emirdağ Hidrojeolojisi.....                           | 16    |
| 4. DOĞRU AKIM ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ .....              | 17    |
| 4.1. Elektrik Yöntemlerin İlkesi .....                     | 17    |
| 4.2. Fiziksel Temeller .....                               | 19    |
| 4.3. Kayaçların Elektriksel Özellikleri .....              | 20    |
| 4.4. Düşey Elektrik Sondajı (DES) .....                    | 23    |
| 4.4.1. Saha Ölçümleri .....                                | 26    |
| 4.4.2. DES Eğrilerinin Yorumu .....                        | 27    |
| 4.5. Elektrik Öz direnç Tomografi (ERT) .....              | 28    |
| 4.5.1. 2B ERT Dizilimleri .....                            | 30    |
| 4.5.2. Öz direnç Ölçüm Cihazı .....                        | 34    |
| 4.5.3. 2B ERT Verilerinin Değerlendirilmesi .....          | 34    |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI .....                               | 38    |
| 5.1. Ölçüm Düzeni .....                                    | 38    |
| 5.2. DES Verilerinin Değerlendirilmesi.....                | 40    |
| 5.3. ERT Verilerinin Değerlendirilmesi .....               | 49    |
| 5.4. Su Amaçlı Sondajların Litolojisi .....                | 54    |
| 5.5. DES ve ERT Araştırmasından Elde Edilen Bulgular ..... | 56    |
| 6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....                               | 61    |
| KAYNAKLAR .....                                            | 64    |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                              | 70    |

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## AFYONKARAHİSAR-EMİRDAĞ (KARAAĞAÇ) YERALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ TOMOGRAFİ YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI

Emine YILDIRIM

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sedat YILMAZ

Yeraltı suları, örtü katmanları sayesinde kirlenmeye karşı doğal korumaya sahiptirler ve bu sebeple yüzey sularına göre daha az kısmının arıtılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yeraltı suyu ile ilgili bilgiler doğrudan gözlem ve su sağlama kuyularıyla elde edilebilir, ancak bu işlemler hem pahalıdır hem de çoğu zaman verimsizdir. Bu nedenle, yeraltı suyu araştırmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılması, mevcut sondajların sayısını ve yerlerini azaltarak keşif maliyetini büyük ölçüde azaltacaktır.

Yeraltı sularının araştırılmasında jeofizik yöntemlerden yer elektrik araştırmaları kullanmak önemlidir. Kayaçların gözenekliliği ve geçirgenliği gibi hidrojeoloji için önemli olan jeolojik oluşum özelliklerinin çoğu, elektriksel iletkenlik ile ilişkilidir. Bu sebeple, jeofizik arama tekniklerinden elektrik öz direnç yöntemi yeraltı suyu araştırmaları için etkilidir. Yeraltı suyu içeren akiferlerin elektrik öz direnci büyük ölçüde değişmekte olup mutlak öz direnç değerleri nadiren belirli bir litolojiye karşılık geldiğinden, su arama genellikle dolaylı olarak yapılır. Öz direnç yöntemlerinden düşey elektrik sondajı yöntemi, su taşıyan oluşumun kalınlığını ve derinliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Diğer bir öz direnç yöntem ise daha geniş alanlarda daha hızlı ve sağlıklı ölçüm almayı sağlayan çok-elektrotlu sistemleri kullanan elektrik öz direnç tomografidir.

Çalışmaya konu olan Emirdağ, Ege bölgesi ile İç Anadolu bölgesi arasında geçiş noktasında ve aynı zamanda Yukarı Sakarya kesiminde yer almaktadır. Bu bölgede çok sayıda doğal su kaynağı bulunmakta olup, bunlar, içme ve ev ihtiyaçları yanında tarımsal sulama ve balık üretimi vb amaçlar için kullanılmaktadır. Bölgenin içme suyu ihtiyacının bir bölümü, mevsimlik dereler üzerinde inşa edilmiş göletlerden karşılanmaktadır. Ayrıca, Emirdağ yerleşim alanı ve çevresinde içme suyu ve kullanma suyu maksadıyla önceden açılmış ve işletilen su kuyuları mevcuttur. Bölgedeki nüfus yoğunluğunun yaz aylarında artması ve tarımsal sulama için yüzey sularının yetersizliği sebebiyle yeraltı suyundan yararlanma yoluna gidilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Emirdağ-Karaağaç bölgesindeki muhtemel yeraltı suyu bulunduran jeolojik yapıların araştırılmasında, düşey elektrik sondajı ve elektrik özdirenç tomografi yöntemleri kullanılmıştır. Düşey elektrik sondajı yöntemi 7 istasyonda ve elektrik özdirenç tomografi yöntemi ise 5 profile gerçekleştirilmiştir. Bir-boyutlu saha özdirenç verileri IPI2Win yazılım ile iki-boyutlu saha özdirenç verileri ise Res2Dinv yazılımı ile değerdendirilmiştir. Elektrik özdirenç araştırma sonuçları bölgede açılmış 4 adet sondajdan sağlanan litolojik bilgiler kullanılarak yeraltı suyu açısından yorumlanmıştır. Böylece, inceleme alanının muhtemel yeraltı suyu bulunduran akifer yapıların dağılımı belirlenmiştir. Her iki yöntem sonuçlarına göre, farklı derinliklerde tespit edilen çakıl birimler ve daha derinlerdeki kireçtaşları, yeraltı suyu sağlamada iyi birer akifer özellik göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Emirdağ, Yeraltı suyu, Akifer, Özdirenç, DES, ERT

**2021, 70 sayfa**



## **ABSTRACT**

### **M.Sc. Thesis**

# **INVESTIGATION OF AFYONKARAHİSAR-EMİRDAĞ (KARAAĞAÇ) UNDERGROUND WATER POTENTIAL BY ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY METHOD**

**Emine YILDIRIM**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geophysical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Sedat YILMAZ**

Groundwater has natural protection against pollution thanks to its cover layers and therefore less of it needs to be treated than surface waters. Information on groundwater can be obtained by direct observation and water supply wells, but these processes are both expensive and often inefficient. Therefore, using geophysical methods in groundwater exploration will greatly reduce the cost of exploration by reducing the number and location of existing boreholes.

It is important to use geo-electrical surveys, which are among the geophysical methods, in the exploration of groundwater. Many of the geological formation properties important to hydrogeology, such as the porosity and permeability of rocks, are related to electrical conductivity. Therefore, one of the geophysical exploration techniques, the electrical resistivity method is effective for groundwater exploration. The electrical resistivity of aquifers containing groundwater varies widely, and it's exploration is usually done indirectly, as absolute resistivity values rarely correspond to a particular lithology. Vertical electrical drilling method, one of the resistivity methods, is used to determine the thickness and depth of the water-bearing formation. Another resistivity method is electrical resistivity tomography, which uses multi-electrode systems that provide faster and more reliable measurements over larger areas.

Emirdağ, which is the subject of the study, is located at the transition point between the Aegean region and the Central Anatolia region and also in the Upper Sakarya region. There are many natural water resources in this region and they are used for agricultural irrigation and fish production, etc., besides drinking and household needs. Part of the drinking water requirement of the region is met from dams built on seasonal streams. In addition, there are water wells previously opened and operated for drinking water and utility water in and around Emirdağ settlement area. Due to the increase in the population density in the region during the summer months and the insufficiency of surface water for agricultural irrigation, groundwater is used.

In this thesis, vertical electrical sounding and electrical resistivity tomography methods were used to investigate the geological structures that contain possible underground water in the Emirdağ-Karaağaç region. The vertical electrical sounding method was carried out at 7 stations and the electrical resistivity tomography method was carried out on 5 profiles. One-dimensional field resistivity data were evaluated with IPI2Win software and two-dimensional field resistivity data were evaluated with Res2Dinv software. Electrical resistivity study results were interpreted in terms of groundwater using lithological information obtained from 4 boreholes drilled in the region. Thus, the distribution of aquifer structures containing probable groundwater in the study area was determined. According to the results of both methods, gravel units detected at different depths and limestones at deeper depths show good aquifer characteristics in providing groundwater.

**Keywords:** Emirdağ, Groundwater, Aquifer, Resistivity, VES, ERT

**2021, 70 pages**

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca desteklerini ve emeğini esirgemeyen, yüksek tecrübe ve bilgisiyle beni aydınlatan hocam Prof. Dr. Sedat YILMAZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında saha verisi sağlamada her türlü kolaylık ve katkısı sağlayan DSİ 18. Bölge Müdürlüğü'nden Jeofizik Yüksek Mühendisi Mustafa GÜRBÜZ ve Jeofizik Mühendisi Meriç KÖKSOY'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda beni hiç yalnız bırakmayan, her zaman yanımda olup başarılı olmamı benden çok isteyen sevgili aileme sevgilerimi, saygılarımı sunarım. Aynı zamanda bu süreçte oyun vaktinden çaldığım değerli kızımdan özür dileyip onu çok sevdiğimi belirtmek isterim. Teşekkür ederim canım ailem, yanımda olmanız benim için büyük bir gurur kaynağıdır.

Emine YILDIRIM  
ISPARTA, 2021

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                           | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Yeraltı suyunun şematik gösterimi ve kayalarda yeraltı suyu oluşumu.....                                                                                                                       | 5     |
| Şekil 1.2. Yeraltı suyu bulunduran formasyonlar ve akifer tiplerini gösteren enine şematik diyagram .....                                                                                                 | 6     |
| Şekil 1.3. Serbest ve sınırlı akiferler .....                                                                                                                                                             | 7     |
| Şekil 1.4. Tünek akifer.....                                                                                                                                                                              | 8     |
| Şekil 3.1. Afyonkarahisar ili Emirdağ ilçesi coğrafik konumu.....                                                                                                                                         | 13    |
| Şekil 3.2. Emirdağ ilçesi su kuyuları.....                                                                                                                                                                | 14    |
| Şekil 3.3. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası .....                                                                                                                                             | 15    |
| Şekil 4.1. Dört elektrot dizilimiyle görünür öz direnç ölçümünün ilkesi.....                                                                                                                              | 17    |
| Şekil 4.2. Yaygın elektrot dizilimleri ve geometrik katsayıları .....                                                                                                                                     | 20    |
| Şekil 4.3. Yer materyallerinin tipik öz direnç aralıkları.....                                                                                                                                            | 23    |
| Şekil 4.4. Yere verilen akımın artan nüfuz derinliğine yol açan artan akım elektrot aralığı ile görünür öz direnç ölçümleri ve ölçülen verilerin log-log ölçekte çizimiyle sonuçlanan sondaj eğrisi ..... | 24    |
| Şekil 4.5. DES ölçümleri için Schlumberger (a) ve yarım-Schlumberger (b) elektrot dizilimleri .....                                                                                                       | 25    |
| Şekil 4.6. M ve N elektrotlarının artan uzaklığı nedeniyle DES eğrisindeki statik kayma.....                                                                                                              | 27    |
| Şekil 4.7. Bir sondaj eğrisinin değerlendirmesi .....                                                                                                                                                     | 28    |
| Şekil 4.8. 2B ERT Wenner dizilimi araştırması için elektrotların ana bileşenleri ve düzeni.....                                                                                                           | 30    |
| Şekil 4.9. 2B ERT için dipol-dipol (a) ve pol-pol dizilimleri (b).....                                                                                                                                    | 31    |
| Şekil 4.10. Dipol-dipol dizilimi için 2B duyarlılık kesitleri.....                                                                                                                                        | 32    |
| Şekil 4.11. Pol-pol dizilimi için 2B duyarlılık kesiti.....                                                                                                                                               | 33    |
| Şekil 4.12. Çalışmada kullanılan tam otomatik SuperSting öz direnç cihazı .                                                                                                                               | 34    |
| Şekil 4.13. ERT ters çözümde kullanılan 2B yer modeli örneği.....                                                                                                                                         | 36    |
| Şekil 5.1. Yeraltı suyu araştırması için inceleme alanı jeofizik ölçümleri lokasyon haritası.....                                                                                                         | 39    |
| Şekil 5.2. DES-1 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 42    |
| Şekil 5.3. DES-2 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 43    |
| Şekil 5.4. DES-3 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 44    |
| Şekil 5.5. DES-4 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 45    |
| Şekil 5.6. DES-5 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 46    |
| Şekil 5.7. DES-6 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 47    |
| Şekil 5.8. DES-7 ölçümü değerlendirme sonuçları.....                                                                                                                                                      | 48    |
| Şekil 5.9. ERT-1 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen öz direnç model.....                                                                                                       | 50    |
| Şekil 5.10. ERT-2 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen öz direnç model .....                                                                                                     | 51    |
| Şekil 5.11. ERT-3 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen öz direnç model .....                                                                                                     | 52    |
| Şekil 5.12. ERT-4 profili boyunca dipol-dipol dizilimi ile ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen öz direnç model .....                                                                            | 53    |
| Şekil 5.13. ERT-5 profili boyunca dipol-dipol dizilimi ile ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen öz direnç model .....                                                                            | 53    |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.14. Su amaçlı açılmış sondajların litolojik bilgileri .....                                                                           | 54 |
| Şekil 5.15. 4 adet DES 1B öz direnç model verilerinin birleştirilmesiyle<br>elde edilen KB-GD doğrultulu Profil-1 için 2B yer öz direnç kesit | 57 |
| Şekil 5.16. 3 adet DES 1B öz direnç model verilerinin birleştirilmesiyle<br>elde edilen GB-KD doğrultulu Profil-2 için 2B yer öz direnç kesit | 57 |
| Şekil 5.17. D-B doğrultulu ERT-1 (a), ERT-4 (b) ve K-G doğrultulu ERT-5 (c)<br>kesitlerinin jeolojik olarak yorumu .....                      | 59 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                          | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 4.1. Dipol-dipol ve pol-pol dizilimleri için medyan araştırma derinlikleri ..... | 37    |
| Çizelge 5.1. Emirdağ-Karaağaç bölgesi Schlumberger dizilimi DES saha ölçüm verileri..... | 41    |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|            |                              |
|------------|------------------------------|
| DES        | Düşey Elektrik Sondajı       |
| DSİ        | Devlet Su İşleri             |
| ERT        | Elektrik Özdirenç Tomografi  |
| I          | Akım                         |
| K          | Geometrik Faktör             |
| RMS        | Karekök Ortalama             |
| S          | Su doygunluğu                |
| SK         | Sondaj Kuyusu                |
| V          | Potansiyel                   |
| Ze         | Medyan Araştırma Derinliği   |
| $\Delta V$ | Potansiyel Fark              |
| $\kappa$   | Bağıl Dielektrik Geçirgenlik |
| $\rho$     | Özdirenç                     |
| $\rho_a$   | Görünür Özdirenç             |
| $\sigma$   | İletkenlik                   |
| $\Phi$     | Gözeneklilik                 |
| $\Omega m$ | ohm metre                    |

## 1. GİRİŞ

Su çoğunlukla denizlerde ve okyanuslarda olmak üzere yeryüzünün %71'ini kaplar. Suyun küçük bir kısmı, yeraltı katmanlarında yeraltı suyu (% 1,7) olarak, Antarktika ve Grönland'ın buzullarında (% 1,7) ve buhar, bulut ve yağış olarak havada (% 0,001) bulunur. İnsanlar, suyu farklı amaçlar için kullanmaktadırlar. Dünya ekonomisinde önemli bir role sahip suyun yaklaşık %70'i tarımda kullanılır. Endüstride ve konutlarda soğutma ve ısıtma için büyük miktarlarda su, buz ve buhar kullanılmaktadır. Su, aynı zamanda hem mineral hem de organik çok çeşitli maddeler için mükemmel bir çözücü olduğu için endüstriyel işlemlerde, yemek pişirme ve yıkamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Su, buz ve kar aynı zamanda çeşitli spor ve diğer eğlence amaçlı merkezlerde yer almaktadır (Wikipedia, 2020).

Temiz suya erişim bir insan hakkı olmakla birlikte ekonomik kalkınma için temel bir gerekliliktir. En güvenli su kaynağı yeraltı suyunun kullanılmasıdır. Yeraltı suyu, alüvyon malzemeler (kum, çakıl, silt, kil) veya kayalardaki çatlaklar arasındaki küçük boşlukları dolduran su olarak tanımlanabilir. Yeraltı suyu normalde örtü tabakaları vasıtasıyla kirlenmeye karşı doğal bir korumaya sahip olduğundan, yalnızca az bir kısmının arıtılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kaynakların kullanımı sürdürülebilir olması için yeraltı suyu rezervuarlarının kapsamı, hidrolik özellikleri ve hassasiyeti hakkında ayrıntılı bilgi gereklidir.

Yeraltı suyu dünyadaki su arzının yaklaşık %20'sidir (Kumar, 2011). Toplam suyun %0.62'sinin; yaklaşık yarısı 800 m derinliğin altındadır ve yüzeyden pratik olarak erişilebilir değildir. Dünya nüfusunun yarısından fazlası içme suyu kaynakları için yeraltı suyuna bağımlıdır. Birleşik Krallık' ta kamu su kaynaklarının yaklaşık %30'u, ABD'de yaklaşık %50 ve Danimarka'da %99 ve Almanya'da %70'i yeraltı suyundan sağlanmaktadır (Ewusi, 2006). 2007 yılında Türkiye'nin yeraltı sularının %55'i sulama amaçlı, geri kalanı içme suyu olarak ve sanayide kullanılmaktadır (Apaydın, 2011).

Göller ve nehirler gibi yüzey suları, kolay kirlenmeleri nedeniyle güvenli değildir. En güvenli tatlı su kaynağı olan yeraltı suyunun dünyadaki dağılımı da eşit değildir. Yeraltı suyu hakkında veri sağlamanın en doğrudan yöntemi, gözlem ve su sağlama kuyuları açmaktır, ancak bu işlemler pahalıdır ve bu yüzden çoğu zaman verimsizdir. Nispeten ucuz olan jeofizik yöntemlerin kullanılması, gerekli sondaj sayısını azaltarak ve onların konumlarını iyileştirerek, yeraltı suyu araştırmalarının maliyetini büyük ölçüde azaltabilmektedir. Bu sebeple, yeraltı suları ile ilgili olarak, nerede, ne kadarı var ve kalitesi gibi bazı temel soruların cevabını bulmada jeofizik yöntemler yardımcı olmaktadır (Fitterman ve Stewart, 1986).

Yeraltı suyu araştırmalarında yer elektrik yöntemlerin etkinliği oldukça yüksektir. Farklı yöntemler kullanan çok sayıda elektrik öz direnç araştırma, bu önemli hedefin belirlenmesinde çok iyi sonuçlar göstermiştir (Roy ve Elliot, 1980; Stewart, 1982; Fitterman ve Hoekstra, 1984; Mills vd., 1988; Goldman vd., 1989). Su içeren akiferlerin elektrik öz direnci büyük ölçüde değişebildiğinden ve mutlak öz direnç değerleri nadiren belirli bir litolojiye karşılık geldiğinden su arama genellikle dolaylı olarak yapılır. Bu, suyu doğrudan aramak yerine yer elektrik hedeflerin belirli litolojik kontrastları veya ortamları temsil eden uygun öz direnç yapıları olduğu anlamına gelmektedir. Su akiferi olan alüvyondaki gözenekli çakıl bölgelerinin tespit edilmesi örneğinde olduğu gibi, yüzeyden temel kayaya kadar olan bölümün haritalanması ve çakıl bölgelerinin tespit edilmesi önemli bir araştırma sorunudur (Fitterman ve Stewart, 1986).

Düşey elektrik sondajı (DES) ve elektrik öz direnç tomografi (ERT), yeraltı suyu araştırmalarında yaygın olarak kullanılan başlıca tamamlayıcı jeofizik yöntemlerdir. Bu yöntemler, temel katmanlarının tanımlanmasında ve çatlaklı ortamların ve tortul oluşumlardaki çatlaklar, kırıklar ve faylar gibi ilişkili akifer bölgelerinin konumlandırılmasında kullanılırlar. Kayaçların gözenekliliği ve geçirgenliği gibi hidrojeoloji için önemli olan jeolojik oluşum özelliklerinin çoğu, elektriksel iletkenlik ile ilişkilidir. Bu sebeple, jeofizik arama tekniklerinden elektrik öz direnç yöntemi yeraltı suyu araştırmaları için etkilidir.

Yeraltı suyu çalışmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılmasının ana nedenleri, su sondajı açma risklerini azaltmak ve zayıf yeraltı suyu üretimiyle ilişkili maliyeti düşürmektir. Jeofizik yöntemler zamandan ve maliyetten tasarruf sağladıkları için yeraltı suyu araştırmalarında başarıyla kullanılmıştır (Stampolidis vd., 2005; Kalisperi vd., 2009). Elektrik zdiren yöntemleri ve özellikle DES yöntemi, farklı litolojik ortamlarda yeraltı suyu kalitesinin araştırılmasında başarıyla kullanılmıştır. Çünkü saha uygulaması kolaydır ve verilerin analizi diğer yöntemlere kıyasla basittir (Zohdy vd., 1974; Stampolidis vd., 2005; Soupios vd., 2007; Kalisperi vd., 2009). DES araştırma tekniği, yeraltı suyu koşullarının incelenmesi ve yer altı yer elektrik katmanlarının değerlendirilmesi için etkili bir şekilde kullanılmıştır (Shankar 1994; Lashkaripour vd., 2005; Oseji vd., 2006). Bu araştırma tekniği, su taşıyan oluşumun kalınlığını ve derinliğini belirlemek için de kullanılabilir (Lashkaripour 2003; Sahu ve Sahoo 2006).

Yeraltı suyu araştırmalarında elektrik zdirencin DES tekniği dışında, çok elektrotlu özdirenç tekniği de son on yıllarda başarılı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem elektrik özdirenç tomografi olarak adlandırılmıştır. Yöntemin teorisi, pratik uygulama ve yorumlama teknikleri açısından oldukça iyi bir şekilde oluşturulmuştur (rneğin Barker 1981; Dahlin 1993; Loke ve Barker 1996a, b). Geleneksel DES yöntemi ve özdirenç profili yönteminden başarılı şekilde faydalanılması yanında sahada kapsadığı alan açısından zayıf kalabilmektedir. Bu sebeple, çok elektrotlu sistemleri kullanan ERT yöntemi daha geniş alanlarda daha hızlı ve sağlıklı ölçüm almayı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasına konu olan Emirdağ (Afyonkarahisar), Ege Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında geçiş noktasında ve aynı zamanda Yukarı Sakarya kesiminde yer almaktadır. Bu bölgede çok sayıda doğal su kaynağı bulunmaktadır. Su kaynakları, içme ve ev ihtiyaçları için birincil kaynaktır. Ayrıca bu kaynaklar tarımsal sulama, alabalık vb. amaçlar için kullanılmaktadır. Emirdağ Ovası' nda bölgenin en önemli yüzey suyu olan Sakarya nehri dışında çok sayıda mevsimlik dere bulunmaktadır. Bu dereler üzerindeki birkaç gölet Emirdağ ilçesinin içme suyu ihtiyaının bir bölümünü karşılamaktadır. Ancak,

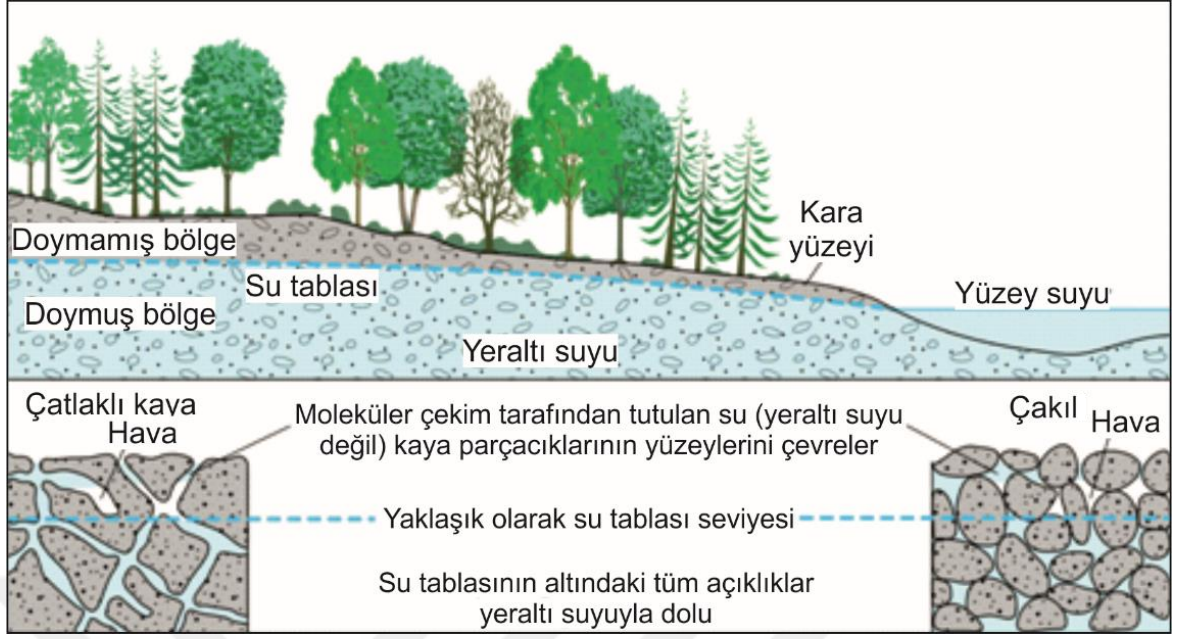
yüzey suları ihtiyacı karşılamadığı için, Devlet Su İşleri (DSİ) bölgede su sondajları açmak için farklı projeler yürütmüştür. Bu tez çalışmasında kullanılan jeofizik saha verileri, 2015 ve 2017 yıllarında DSİ 18. Bölge Müdürlüğü mühendisleri tarafından su sondaj yerlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalardan sağlanmıştır. Hem DES hem de ERT saha verileri değerlendirilerek elde edilen sonuçlar, su amaçlı açılan sondajlardan sağlanan litolojiler ile ilişkilendirilmiştir. Böylece, inceleme alanının muhtemel yeraltı suyu bulunduran jeolojik yapıların (akiferler) dağılımı belirlenmiştir.

### **1.1. Yeraltı Suyu Oluşumu**

Yeraltı suyu, kaya/toprakların gözenek boşlukları, çatlaklar ve kırıklar ile çeşitli jeolojik oluşumların arasında birikir. Yeraltı suyunun toprak ve kayalarda hareketi, boşlukların şekli ve boyutunun hidrolik özelliklerine bağlıdır. Su, topraktaki belirli kayalardan kolayca yer altı akifer sistemine akabilir, ancak su tipik olarak çatlaklar, kırıklar ve diğer bazı jeolojik oluşumlardan geçer.

Yeraltı suyu, beslenme bölgelerinden boşalım bölgelerine, farklı uzunluklardaki akış yolları boyunca geçer ve esasen alçak rakımlı alanlarda yüzey suyu ile birleşir (Fleckenstein vd., 2010). Yüzey suyu kaynakları çoğunlukla bölgesel yağışa/yağmura bağlıdır ve nehir yatağı, nemli toprak tabakası ve çatlaklar veya kırıklar yoluyla yeraltı suyu sistemi ile etkileşime girecek şekilde sızarak kaybolabilir (Conant vd., 2019).

Yeraltı suyunun dağılımı, su tablasına göre doymuş ve doymamış olmak üzere iki bölgeye ayrılır (Şekil 1.1). Burada, su tablasının altındaki zeminin suya nasıl doygun olduğu görülmektedir. Su tablasının üzerindeki "doymamış bölge" hala su içerir, ancak tamamen suya doymamış değildir. Bu, suyun yeraltı kaya parçacıkları arasında nasıl depolandığını yakından gösteren şeklin altındaki iki çizimden görülebilir (USGS, 2020).



**Şekil 1.1.** Yeraltı suyunun şematik gösterimi ve kayalarda yeraltı suyu oluşumu (USGS, 2020' den değiştirilmiştir)

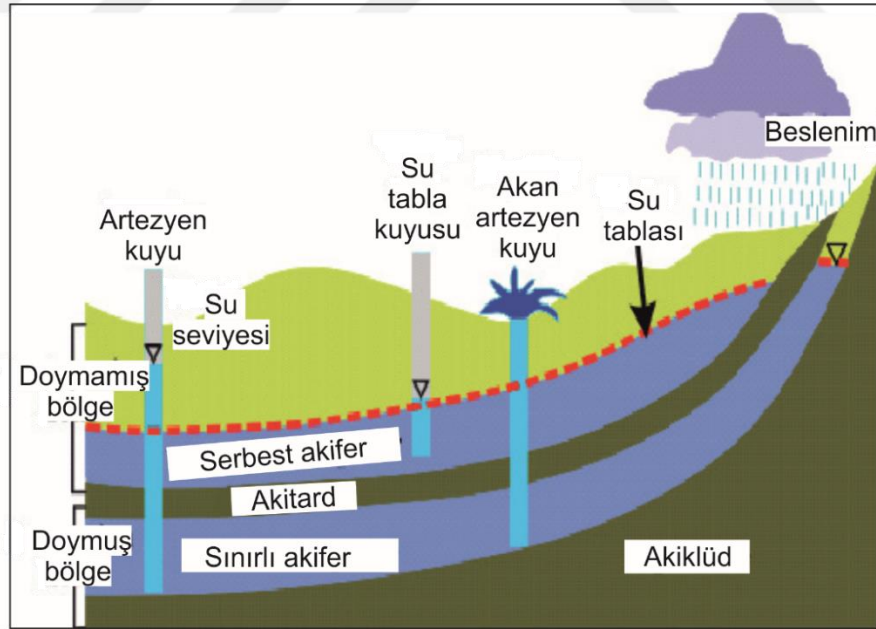
Su tablasının üstündeki toprak yüzeyine doymamış bölge denir ve burada hem oksijen hem de su tortular arasındaki boşlukları doldurur. Doymamış bölge, topraktaki oksijen varlığından dolayı havalandırma bölgesi olarak da adlandırılır. Su tablasının altında, suyun tortular arasındaki tüm boşlukları doldurduğu doymuş bölge bulunur. Doymuş bölge, altta geçirimsiz kaya ile sınırlanmıştır. Su tablası seviyesi farklı alanlarda ve hatta aynı alan içinde değişebilir. Su tablası seviyesindeki dalgalanmalar, mevsimler ve yıllar arasında yağıştaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Karın eridiği ve yağışların yüksek olduğu kış sonu ve ilkbahar aylarında su tablası yükselir (USGS, 2020).

Akiferlerdeki su hareketi büyük ölçüde akifer malzemesinin geçirimsizliğine bağlıdır. Geçirimsiz malzeme, suyun serbestçe hareket etmesine izin verecek kadar çok sayıda ve yeterince büyük olan birbirine bağlı çatlaklar veya boşluklar içerir. Bazı geçirgen malzemelerde yeraltı suyu günde birkaç metre hareket edebilir; diğer yerlerde, bir yüzyılda sadece birkaç santimetre hareket edebilir. Su bir akifere girdikten sonra, yavaşça yer içine sızar ve akiferlerde depolanır ve sonunda pınarlar şeklinde yeryüzüne ulaşır, akarsulara sızar veya kuyularla yer içinden çekilir. Kil veya şist gibi geçirimsizliği düşük kayaların

katmanları arasındaki akiferlerdeki yeraltı suyu basınç altında tutulabilir. Bu tür sınırlı bir akifere kuyu açıldığında, su akiferin tepesinden yükselecek ve hatta kuyudan kara yüzeyine akacaktır (USGS, 2020).

## 1.2. Akiferler ve Türleri

Genel olarak, yeraltı suyu kaynağının mevcudiyetini belirleyen üç farklı tür yeraltı suyu oluşumu (akiferler, akitard ve akiklud) vardır (Şekil 1.2). Akifer, hem suyun depolandığı hem de yeterli miktarda suyun sağlandığı ve bu nedenle önemli yeraltı suyu kaynakları olarak düşünülen, oldukça geçirimli ve gözenekli doymuş bir oluşumdur (konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, pekişmemiş kum, çakıllar, çatlaklı kireçtaşı, çatlaklı bazalt vb.). Akitard, suyun içinden geçmesine izin veren ancak akiferden yeterince kullanılabılır su sağlamayan kısmen doymuş bir oluşumdur (şeyl veya kil). Bir akiklud ise, yüksek gözenekliliği nedeniyle büyük oranda su depolayan ancak önemli miktarda su sağlamayan geçirimsiz bir katmandır (kil) (Akthar vd., 2020).



**Şekil 1.2.** Yeraltı suyu bulunduran formasyonlar ve akifer tiplerini gösteren enine şematik diyagram (Akthar vd., 2020' den değiştirilmiştir). Serbest akiferde kuyudaki su seviyesi su tablasının yüksekliği ile aynıdır. Sınırlı akiferde su seviyesi akiferin tepesinden daha yüksektir (bu akiferin tamamen doymuş olduğunu ve suyun basınç altında olduğunu gösterir)



Ana serbest akiferin üzerinde ondan ayrı ve ondan çok daha küçük sahada bir havalanma zonunu oluşturan ve geçirimli formasyonların arasında yer alan tünnek akifer, geçirimsiz seviyelere veya tabakalara bağlı olarak oluşurlar (Şekil 1.4). Serbest akiferin özel bir durumudur. Bu tür akifer, su taşıyan serbest akiferde bir mercek şeklinde geçirimsiz veya nispeten geçirimsiz bir sınırlı alan tabakası bulunduğunda oluşur. Yer altına sızan suların ana akifere inmesine engel olan bu yerel geçirimsiz seviyeler, yeraltı sularının bir kısmını kendi üzerlerinde depolar. Tünnek akiferlerin boyutları tipik olarak küçüktür (iklim koşulları ve akitard katmanlarının boyutu tarafından belirlenir) ve içerdikleri su hacmi iklim koşullarına duyarlıdır ve bu nedenle zaman açısından oldukça değişkendir.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tüm jeofizik araştırmaların ve tabii ki yeraltı suyu araştırmalarının önemli bir kısmı, yeraltı jeolojik koşulları belirleme amacına yöneliktir. Jeofiziğin özellikle yer elektrik özdirenç yöntemi, genellikle yer altı suyu aramaları için en umut verici ve en uygun yöntem olarak kabul edilir. Yeraltı suyu aramalarında jeofizik araştırmaların hedefi, yeraltı suyunun kendisi değil suyun var olduğu jeolojik durumdur (Anon, 1997). Bunlar arasında akiferlerin derinliği ve kalınlığının haritalanması, sınırlayıcı birimlerin haritalanması, çatlaklar ve fay bölgeleri gibi suyun geçiş yollarının bulunması ve tuzlu su girişinden kaynaklanan yeraltı suyunun kirlenmesinin haritalandırılması yer almaktadır (Anon, 1997).

Yeraltı suyu, kayaçların arasındaki çatlakları ve kırık sistemlerini dolduran su şeklinde tanımlanmaktadır. Jeolojik olarak yeraltı suyu, kayaların yerinde ayrışmasından ve tortul arazide iken çatlaklı ana kayadan türeyen üstteki pekişmemiş malzemede oluşmakta ve yeraltındaki doymuş bölgenin gözenekli ve geçirgen tabakasında birikmektedir (Clark, 1985; Jones, 1985; Bala ve Ike, 2001). Nüfus artışı, sosyo-ekonomik gelişme, teknolojik ve iklim değişiklikleri sebebiyle suya olan talep dünya çapında önemli ölçüde artmıştır (Olayinka vd., 1999). Yer altı suyu ihtiyacının insanlar tarafından sağlanması, uygun jeofizik ve hidrojeolojik araştırmayı (Olayinka vd., 1999; Olorunfemi vd., 1999; Lashkaripour, 2003; Batayneh, 2010; Omosuyi, 2010; Anudu vd., 2011) artırmıştır. Diğer taraftan, yapılan araştırmalar, yüksek kentleşme oranı, sanayileşme ve diğer insan faaliyetleri, akifer içine atık malzemenin sızmasına neden olarak yeraltı suyu kirlilik alanları da oluşturmuştur.

Yeraltı suyu aramalarına yönelik ölkemizde de çok sayıda jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiş olup, bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Brousse (1963), karmaşık granit alanlarında yeraltı suyu araştırmalarında elektrik özdirenç yönteminin etkinliğini raporlamıştır. Yöntemi, su rezervuarı görevi gören çatlakları, olukları ve fayları haritalamak için kullanmıştır.

Olorunfemi ve Fasuyi (1993), Güney Nijerya'da yer-elektrik ve hidro-jeolojik özelliklerinin araştırılmasında elektrik öz direnç yöntemini kullanmıştır.

Gnanasunder ve Elango (1999), yer-elektrik tekniklerini kullanarak Hindistan, Madras, Chennai Şehrini güneyinde yer alan bir kıyı akiferinin yeraltı suyu kalite değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, kıyı akiferinin orta kısmındaki yeraltı suyu kalitesine sahip bir tatlı su alanını ortaya koyarken, akiferin doğu ve batı kenarlarında ise kalitesiz yeraltı suyu bulunduğunu tespit etmiştir.

Mario vd. (2011), elektrik öz direnç yöntemini kullanmış ve yeraltı suyuyla kirlenmiş alanları bulmak için çalışmışlardır.

Somiah (2013), yaptığı çalışmada elektrik ve elektromanyetik yöntemlerin yeraltı suyu aramalarında iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır.

Yeraltı suyu aramalarına yönelik ülkemizde de çok sayıda jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiş olup, bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Özdemir (2008), çok-elektrotlu elektrik öz direnç yönteminin yeraltı suyu araştırmalarında kullanımına yönelik birkaç uygulama örneği göstermiştir. Çok elektrotlu öz direnç yöntemi ile çok geniş alanların hızlı araştırılabilmesini ve yeraltı suyu araştırmalarında yeraltının iki ve üç boyutlu modellemesinin ve diğer araştırma yöntemleri ile birlikte uygulanışının faydalı olacağını rapor etmiştir.

Kurtuluş ve Bozkurt (2010), İzmit-Başiskele ilçesinde yeraltı suyu aramaları için DES yöntemiyle beş lokasyonda ölçümler yapılmıştır. Tortul birimlerden oluşan kumlu çakıllı katmanlardan 80 m derinlikten 12 lt/s su elde edildiği rapor edilmiştir.

Kopaçlı ve Karakılçık (2012), Hatay'ın Yayladağ ilçesinde yeraltı suyu araştırmasını DES yöntemini kullanarak yapmışlardır. Schlumberger elektrot

dizilimi kullanılarak görünür özdirençler hesaplanmış ve su ihtiva ettiği düşünülen iki adet sondaj yeri önermişlerdir.

Ateş ve Yeşil (2014), Düzce ili Küçük Melen çayı etrafında alüvyon çökellerinde yer altı suyu araştırmak için DES yöntemini kullanmıştır. Dört lokasyondan elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle, kumlu, siltli ve çakıllı formasyonların akifer özellik gösterdiği ve açılan kuyulardan farklı derinliklerden ortalama 10 lt/s su elde edildiği rapor edilmiştir.



### 3. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

#### 3.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma alanını içinde bulunduran Afyonkarahisar ili Emirdağ ilçesi, Ege Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında geçiş noktasındadır (Şekil 3.1). Emirdağ, Adaçal Tepesinin (1259 m) eteğinde ve çukur bir arazide konumlanmış ve 983 m rakıma sahiptir. Topoğrafik olarak hemen hemen düz bir yapıya sahip olan yerleşim alanının kuzey ve doğusunda oldukça geniş ovalar ve güneyinde ise 2.295 m rakımlı Emirdağı vardır. Afyonkarahisar'a 70 km uzaklıkta olan Emirdağ'ın kuzeyinde Eskişehir-Sivrihisar ve Çifteler, kuzeybatısında Eskişehir-Han, batısında Bayat, güneyinde Bolvadin ve Sultandağı, doğusunda Konya-Çeltik ve güneydoğusunda Konya-Yunak ile komşudur.

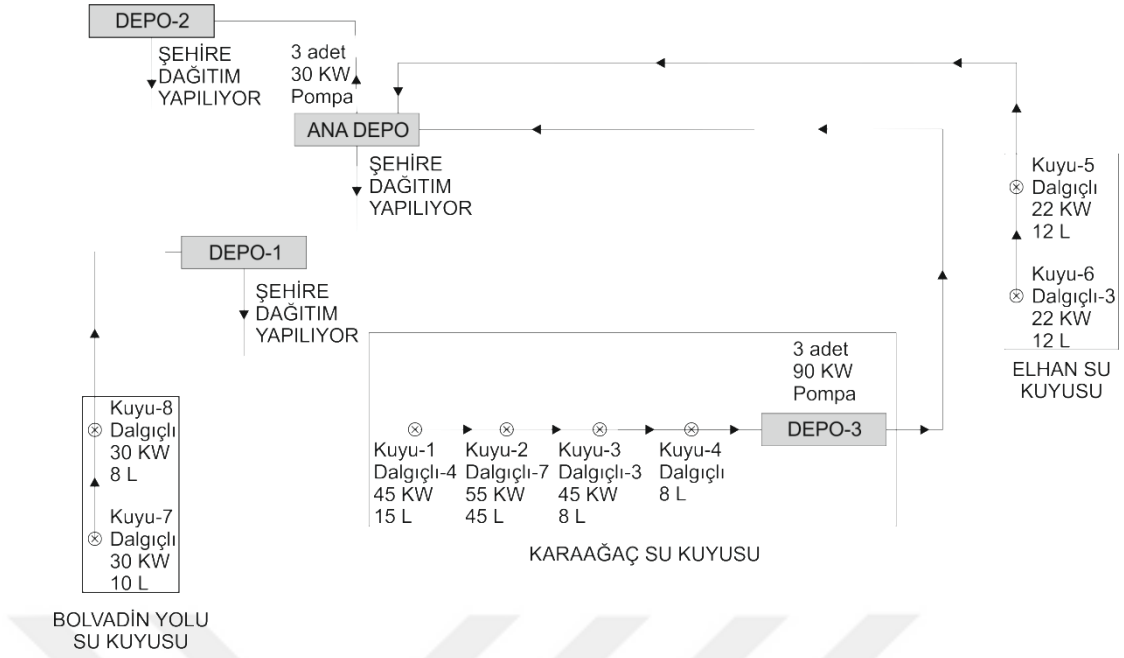
İklim özellikleri yönünden Emirdağ ilçesi Orta Anadolu Bölgesinde hüküm süren karasal iklimi ile Akdeniz geçiş tipi arasında yer almaktadır. Emirdağ' da yıllık ortalama toplam yağış 394.8 mm ve yıllık ortalama sıcaklık ise 11.4 °C dir (Günok, 1999).

Yetersiz yeraltı suyu miktarı ve yeraltı suyu derinliğinin artması Emirdağ ilçesinin kırsal kesimlerindeki nüfusu giderek azaltmıştır (Yakar, 2009). Ancak ilçede tarımsal ve evsel su kullanımına olan talep yaz aylarında artmaktadır. Bölgedeki yüksek kesimlerden boşalan su kaynakları ağırlıklı olarak içme, sulama ve evsel kullanım amaçlı temin edilmektedir.



**Şekil 3.1.** Afyonkarahisar ili Emirdağ ilçesi coğrafik konumu

Emirdağ yerleşim alanında su temini kuyulardan sağlanmaktadır. Bunlar, Karaağaç köyü yakınlarında bulunan Karaağaç su kuyusu, Elhan köyü yakınlarında bulunan Elhan su kuyusu ve Bolvadin yolu üzerinde bulunan Bolvadin su kuyusudur (Okumuşer, 2017). Su kuyularının krokisi Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yeraltı su kaynaklarından temin edilen su, içme suyu ve kullanma suyu olarak kullanılmaktadır. Emirdağ Belediyesi tarafından yapımı tamamlanan içme suyu arıtma tesisi faaliyette olup DSİ tarafından işletilmektedir. 2014 yılı verilerine göre Emirdağ’ daki toplam tarım alanlarının yaklaşık %15’i sulanabilmektedir (Okumuşer, 2017).



**Şekil 3.2.** Emirdağ ilçesi su kuyuları (Okumuşer, 2017'den yeniden düzenlenmiştir)

### 3.2. Emirdağ Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi Şekil 3.3'te verilmektedir. Buradaki birimlere ait tanımlamalar Aksever (2019)'den özetlenmiştir. KB-GD yönünde uzanan Emirdağ ovasının büyük bölümü genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyondan oluşmaktadır. Güneyinde yer alan Emirdağ dağlık kütlesi, Mesozoyik kireçtaşları ve volkanik kayalardan oluşmaktadır (Canlı, 2007). Bölgenin temelini oluşturan Triyas kristalize kireçtaşları ve dolomitler Wirtz (1955) tarafından "Emirdağ kireçtaşları" olarak adlandırılmıştır.

Çalışma alanı temelini kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Mesozoyik yaşlı Loras formasyonu oluşturmaktadır. Formasyon havzası Orta-Üst Triyas yaşlı dolomit ve kristalize kireçtaşları ile başlar. Birim, Orta Triyas-Üst Jura yaşlı, oolitik, algli kireçtaşları ve dolomitlerle yukarı doğru devam etmektedir. Formasyon Jura-Kretase yaşlı kristalize kireçtaşı ve çörtlü kristalize kireçtaşları ile sonlanmaktadır. Formasyon mikritik kireçtaşı, killi kireçtaşı, çamurtaşı, çört ve şeylden oluşur (Aksever, 2019).



|            |      |                                           |
|------------|------|-------------------------------------------|
| Kuvaterner | Qal  | Alüvyon (gözenekli akifer)                |
|            | Qaf  | Alüvyon yelpazesi (gözenekli akifer)      |
|            | Qof  | Eski akarsu çökeltisi (gözenekli akifer)  |
|            | Qoa  | Eski alüvyon yelpazesi (gözenekli akifer) |
| Pliyosen   | Tplk | Kıran formasyonu (akitard ortam)          |
| Miyosen    | Tmur | Uruş formasyonu (akitard ortam)           |
|            | Tmgö | Gömü formasyonu (akitard ortam)           |
| Triyas     | TRJI | Loras formasyonu (karstik akifer)         |

**Şekil 3.3.** Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Aksever, 2019'dan değiştirildi)

Kumtaşı, kilitaşı ve konglomera gibi sağlam kayalardan oluşan Üst Miyosen yaşlı Gömü formasyonu, volkaniklerin üzerine uyumsuz olarak gelir. Kalker, marn, jips, kumtaşı, kilitaşı ve konglomeradan oluşan Uruş formasyonu, Gömü formasyonu ile geçişlidir. Baskın litolojinin çakıl taşlarından oluştuğu Kıran formasyonu, kumtaşı, kilitaşı, siltaşı ve killi kireçtaşı gibi sağlam kayalardan oluşur (Aksever, 2019).

Çalışma alanındaki gevşek çakıl, kil, kum, çamur gibi malzemelerin oluşturduğu Kuvaterner birimler, eski alüvyon yelpaze, eski akarsu çökelleri, alüvyon yelpazesi ve alüvyon olarak ayırt edilmektedir (Özcan vd., 1990; Umut 2008; Acarlar vd., 2009; Öcal vd., 2011).

### **3.3. Emirdağ Hidrojeolojisi**

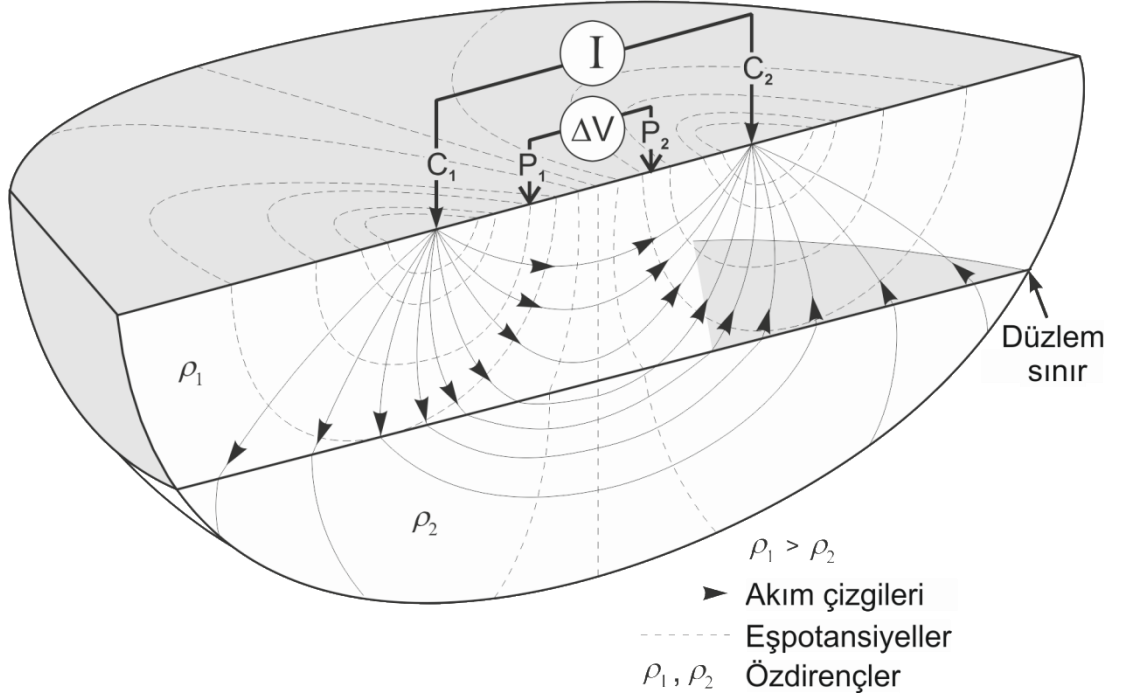
Su doğal ortamda düzgün dağılmaz. Yeraltı suyu, yağış veya yüzey suyunun sızmasının bir sonucu olarak yeraltı jeolojik katmanlarının altında bir akifer olarak bulunan, insan kullanımı için mevcut suyun büyük kısmını kapsamaktadır (Duque vd., 2008; Akhter ve Hasan, 2016). Çalışma bölgesinde bulunan alüvyon, kireçtaşı, çakıltası seviyeleri su alınabilen akifer özelliği göstermektedir. Bölgede bulunan gölsel çökeller alüvyon ile benzer özellik göstererek geçirimli birimleri oluşturmaktadır. İnceleme alanında bulunan kireçtaşı birimleri karstik geçirimli birimlerdir ancak, bölgede bulunan marn geçirimsizliği sınırlamıştır. Yeraltı suyu çakıltası ve kireçtaşı birimlerinden alınmaktadır (Aksever, 2019).

Kuzeybatı Anadolu'nun en büyük akarsuyu olan Sakarya Nehri bölgedeki en önemli yüzey suyudur. Bölgenin içme suyu ihtiyacını Emirdağ Yedikapı Göleti sağlamaktadır. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından Sakarya Nehri, büyük su taşıma kapasitesine sahip olduğu için 2009 yılında "Ulusal Sulak Alan" olarak ilan dılmıştır (Meriç ve Çağırankaya., 2013).

## 4. DOĞRU AKIM ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

### 4.1. Elektrik Yöntemlerin İlkesi

Doğru akım (DC) öz direnç yöntemler yerden bir elektrik potansiyel alan üretmek için yapay akım kaynağı kullanır. Hemen hemen tüm öz direnç yöntemlerinde, nokta elektrotlar ( $C_1$ ,  $C_2$ ) vasıtasıyla yer içine bir akım verilir ve potansiyel alan diğer iki elektrot ( $P_1$ ,  $P_2$ ) kullanılarak ölçülür (Şekil 4.1). Kaynak akımı, doğru akım veya düşük frekanslı (0.1 - 30 Hz) alternatif akım olabilir. Elektrik potansiyel alanı oluşturma ve ölçmenin amacı, yerdeki uzaysal öz direnç dağılımını (veya karşılık gelen iletkenliği) belirlemektir.  $P_1$  ve  $P_2$  noktaları arasındaki potansiyel,  $C_1$  ve  $C_2$  vasıtasıyla yere verilen akım ve elektrot dizilimi bilindiği için, yerin öz direnci belirlenebilir. Bu "görünür öz direnç" olarak bilinir.



**Şekil 4.1.** Dört elektrot dizilimiyle görünür öz direnç ölçümünün ilkesi (Seidel ve Lange, 2007)

Özdirenç ölçümleri yer yüzeyinde, kuyularda veya kuyu ve yüzey arasında yapılabilir. Özel kablolar ile göllerde, nehirlerde ve kıyı bölgelerinde suyun altında ölçümler yapılabilir. Elektrik özdirenç ölçümleri farklı saha teknikleri şeklinde kullanılmaktadır. Bunlar;

- Özdirenç profil yöntemi veya haritalama,
- DES,
- Birleşik sondaj-profil yöntemi (iki-boyutlu özdirenç görüntüleme veya ERT).

Özdirenç profil yöntemi, bir profil boyunca sabit elektrot aralığının değerine göre yaklaşık aynı araştırma derinliğinde yerin yanal yöndeki özdirenç değişimlerini belirlemek için kullanılır. Sonuçlar normalde nitel olarak yorumlanır. Ölçülen görünür özdirençlerden kontur haritaları veya profil çizimleri, yeraltı jeolojik yapıların yanal sınırlarının ve hidrojeolojik koşulların yanında dış kaynaklı sorunların (örneğin, atık dolgu alanları ve kirlilik bölgeleri) araştırılmasına olanak sağlar.

DES temel amacı, yer içindeki özdirençin düşey yöndeki dağılımını belirlemektir. Profiller boyunca düzenli aralıklarla veya inceleme bölgesinde rastgele olarak yapılan DES ölçümleri, yapıların yanal boyutları hakkında da bilgi sağlayacaktır. DES ölçümleri, yerin yüzeyden yüzlerce metre derinliğine kadar araştırma derinliği sağlayabilir. Ölçülen veriler hem niteliksel hem de niceliksel olarak yorumlanabilir. DES verilerinin daha verimli yorumlanması için, mekanik sondaj verileri veya diğer jeofizik yöntemlerin sonuçlarıyla birlikte jeolojik bilgiler ilişkilendirilmelidir.

Sondaj ve profil yöntemleri, güçlü yanal özdirenç değişimli karmaşık jeolojik yapıları araştırmak için ayrı bir yöntem (iki-boyutlu özdirenç görüntüleme veya ERT) dönüşebilir. Bu kombinasyon profil boyunca hem yanal hem de düşey olarak detaylı bilgi sağlar ve çevre, hidrojeolojik ve yakın yüzey çalışmalarında en sık uygulanan tekniktir. 2B ters çözüm sayesinde yerin bir 2B özdirenç dağılımı elde edilir.

## 4.2. Fiziksel temeller

Elektrik akımı (I) veren bir nokta elektrot, kaynaktan r uzaklıkta bir potansiyel ( $V_r$ ) oluşturacaktır. Hem kaynak hem de ölçüm noktaları,  $\rho$  öz dirençli homojen bir yarı sonsuz ortam yüzeyindeyse, bu potansiyel şu şekilde verilir:

$$V_r = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (4.1)$$

Bir  $\pm I$  akımı sağlayan iki akım elektrotundan ( $C_1, C_2$ ) oluşan dört elektrotlu bir dizilim (Şekil 4.1) durumunda,  $P_1$  ve  $P_2$  potansiyel elektrotları arasındaki gerilim farkı ( $\Delta V$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

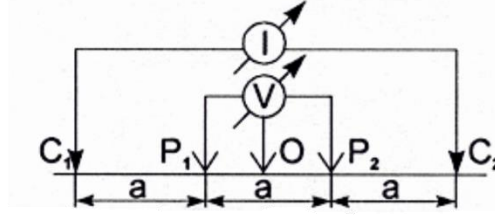
$$\Delta V = \rho I \left[ \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (4.2)$$

burada  $r_1=C_1P_1$ ,  $r_2=C_1P_2$ ,  $r_3=C_2P_1$  ve  $r_4=C_2P_2$ . Böylece homojen yarı sonsuz bir ortam için öz direnç,

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4.3)$$

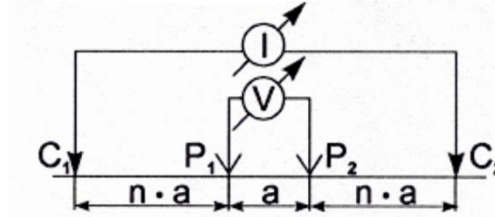
bağıntısıyla elde edilir. K parametresi, geometrik faktördür ve elektrot dizilime göre değişmekte olup elektrotların konumlarından kolayca hesaplanabilir. Şekil 4.2'de yaygın kullanılan elektrot dizilimleri ve geometrik katsayıları verilmektedir. Homojen olmayan koşullar için, denklem 4.3 eşdeğer homojen bir yarı sonsuz ortamın öz direncini verir. Bu nicelik görünür öz dirençtir ( $\rho_a$ ). Bir öz direnç araştırması için elektrot diziliminin seçiminde çözünürlük ve araştırma derinliği önemli bir rol oynamaktadır.

Wenner



$$K=2\pi a$$

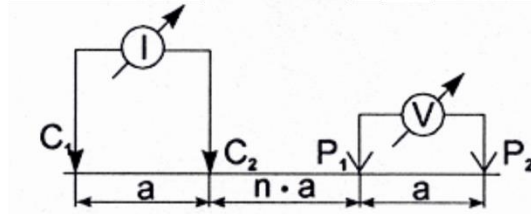
Schlumberger



$$K=\pi n(n+1)a$$

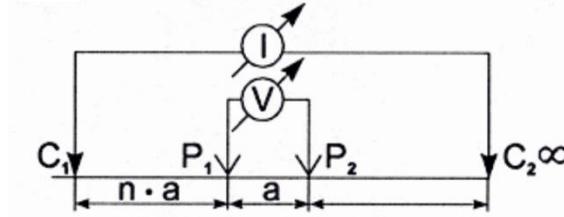
$$n>3$$

dipol-dipol



$$K=\pi n(n+1)(n+2)a$$

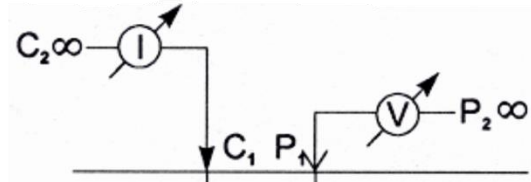
pol-dipol



$$K=2\pi n(n+1)a$$

$$n>3$$

pol-pol



$$K=2\pi a$$

**Şekil 4.2.** Yaygın elektrot dizimleri ve geometrik katsayıları

### 4.3. Kayaçların Elektriksel Özellikleri

Kayaçların iki elektriksel özelliği dielektrik geçirgenlik ve elektrik iletkenliktir. Dielektrik geçirgenlik, elektrik yer değiştirme ile elektrik alanı arasındaki orandır ve tipik olarak bağıl dielektrik geçirgenlik ( $\kappa$ ) denklem (4.4) ile tanımlanır:

$$\kappa = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (4.4)$$

burada  $\varepsilon = 8.8542 \cdot 10^{-12} F/m$  boş alanın elektrik geçirgenliğidir. Elektrik iletkenlik, akım yoğunluğu ile elektrik alan yoğunluğu arasındaki orandır. Pratikte,  $\rho = 1/\sigma$  [ $\Omega m$ ] olarak tanımlanan elektrik özdirenç terimini kullanırız. Kayaçların hem elektrik iletkenliği hem de dielektrik geçirgenliği, su varlığından büyük ölçüde etkilenir (Keller, 1987).

Kayaç bileşenlerinin elektrik iletkenliği, çatlak ve gözeneklerdeki sudan önemli ölçüde farklıdır. Gözenekli bir ortamın elektrik iletkenliği ile gözeneklilik ve su doygunluğu arasındaki ilişkileri tanımlayan deneysel bir formül Archie (1942) tarafından önerildi. Archie yasasının genelleştirilmiş bir formülasyonunu kullanan gözenekli kayaçların iletkenliği şu şekilde tanımlanır:

$$\sigma = a\sigma_w S^n \phi^m + \sigma_s \quad (4.5)$$

burada  $\sigma$ , kayacın iletkenliğidir,  $\sigma_w$ , gözenek suyunun iletkenliğidir,  $S$ , su doygunluğudur,  $\phi$ , gözenekliliktir,  $\sigma_s$ , yüzey iletkenliğidir ve  $a$ , orantılılık faktörüdür,  $m$ , çimentolanma katsayısıdır ve  $n$ , doygunluk sabitidir.

Özdirenç araştırmaları, yeraltı özdirenç dağılımının bir resmini verir. Bu nedenle incelenen alanın jeolojisi hakkında biraz bilgi edinerek özdirenç dağılımının jeolojik bir resme dönüştürülmesi sağlanmalıdır. Dolayısıyla farklı türdeki yer altı malzemeleri için tipik özdirenç değerlerini bilmek önemlidir. Kayaçların tüm jeofiziksel özelliklerinden en fazla değişken olan elektrik özdirençtir. Şekil 4.3 önemli kayaç gruplarının özdirençlerinin birbirleriyle nasıl karşılaştırıldığını çok genel olarak göstermektedir. Çoğu yer materyallerinin elektrik özdirenci, 0.01  $\Omega m$  ile birkaç 100 k $\Omega m$  arasında geniş bir aralıktadır. Bu nedenle, yeraltındaki hedef yapılar ve ana kayaç arasındaki bu yüksek kontrastlar, yeraltını haritalamak ve çözmek için bir avantaj sağlar.

Palacky (1987), yer materyallerinin özdirençlerini, ayrışmamış kayaçlar, ayrışmış kayaçlar, buzul çökeltileri, tortul kayaçlar ve su, akiferler olarak beş grupta sınıflandırmıştır (Şekil 4.3). Magmatik ve metamorfik kayaçlar tipik olarak yüksek özdirenç (>1000 m) değerlerine sahiptir. Bu kayaçların özdirenci,

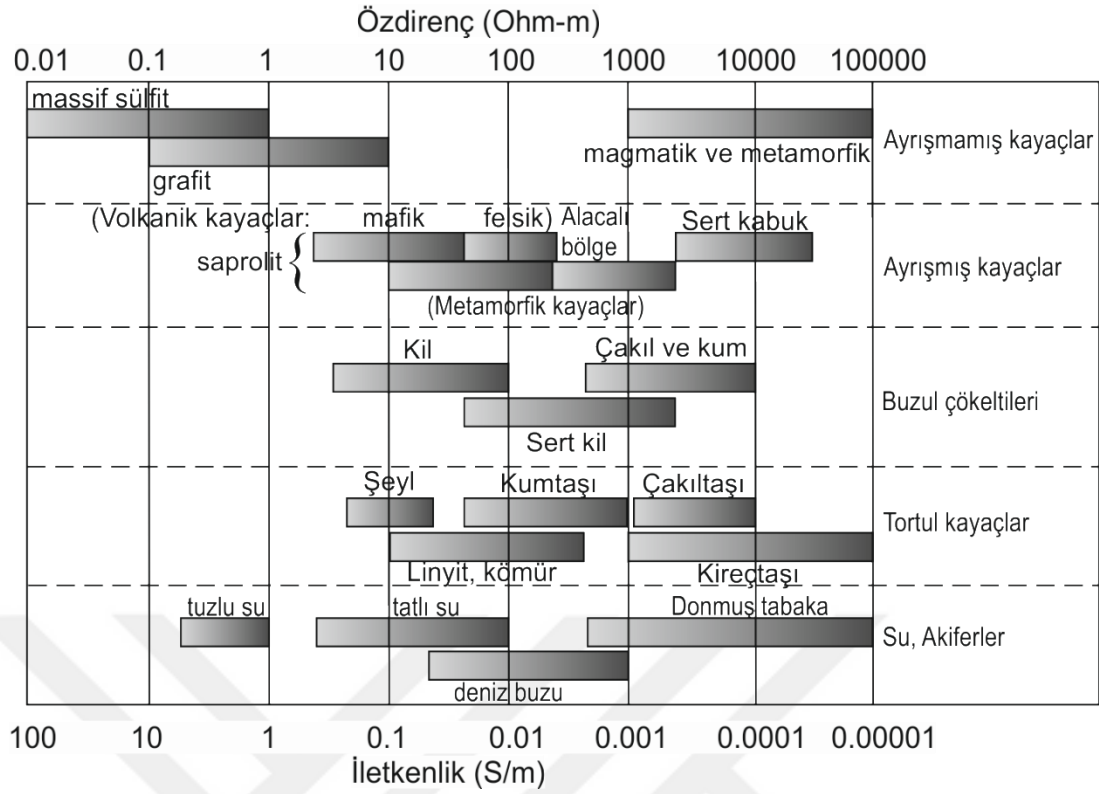
büyük ölçüde kırık veya çatlaklık derecesine ve yer altı suyu ile dolu çatlakların yüzdesine bağlıdır. Genellikle daha gözenekli olan ve daha yüksek su içeriğine sahip olan tortul kayaçlar, normalde daha düşük öz direnç değerlerine sahiptir. Ayrışmış bir tabaka olmaması durumunda, masif sülfidler ( $<1 \Omega m$ ) ve grafit, yeraltındaki tek iletkenlerdir. Kalkopirit (demir ve bakır), galen (kurşun) ve pirit (demir) gibi birçok önemli metal cevherleri sülfidlerdir.

Ayrışmış tabakaların olduğu bölgelerde, saprolitler (2-200  $\Omega m$ ) en iletken bileşendir (Şekil 4.3). Saprolitler, ağırlıklı olarak kuvars ve diğer kil mineralleri ile birlikte yüksek oranda kaolinit içerir; bunlar, başta feldspatlar olmak üzere birincil minerallerin kimyasal ayrışmasıyla oluşur. Ayrışmış tabakanın diğer bileşenleri ise daha az iletken (200-2000  $\Omega m$ ) alacalı bölge ve dirençli (2-30  $k\Omega m$ ) sert kabuktur.

Buzul çökeltileri grubunda, killi en iletken (5-100  $\Omega m$ ) malzeme olup, ardından buztaşı çökeltisi (50-10000  $\Omega m$ ) yani dirençli ile kötü iletken arasında çakıl, kum ve sert killi gelmektedir (Şekil 4.3).

Tortul alanlarda iletkenlik, kayaların kil içeriğine, gözenekliliğine, çözülmüş mineraline ve su doygunluğuna bağlıdır (Palacky, 1987).

Islak topraklar ve tatlı yeraltı suları daha da düşük öz direnç değerlerine sahiptir. Killi toprak normalde kumlu topraktan daha düşük bir öz direnç değerine sahiptir. Bununla birlikte, farklı kayaç ve toprak sınıflarının öz direnç değerlerinde örtüşme olması doğaldır. Bunun nedeni, belirli bir kayaç veya toprak numunesinin öz direncinin gözeneklilik, suya doygunluk derecesi ve çözülmüş tuzların konsantrasyonu gibi bir dizi faktöre bağlı olmasıdır. Yeraltı suyunun öz direnci, çözülmüş tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak 10-100  $\Omega m$  arasında değişir. Nispeten yüksek tuz içeriği nedeniyle deniz suyu düşük öz dirence (yaklaşık 0,2  $\Omega m$ ) sahiptir (Şekil 4.3). Bu, öz direnç yöntemini kıyı bölgelerindeki tuzlu ve tatlı su ara yüzeyini haritalamak için ideal bir yöntem haline getirmektedir.



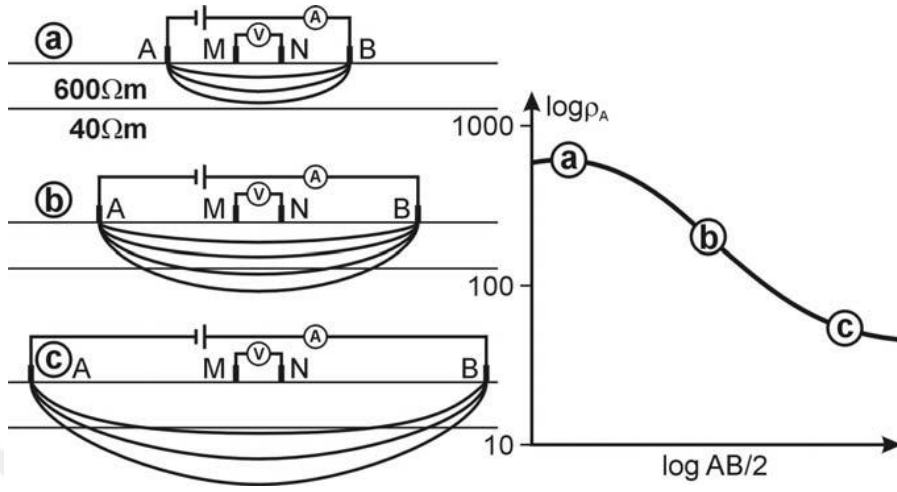
**Şekil 4.3.** Yer materyallerinin tipik özdirenç aralıkları (Palacky, 1987' den yeniden çizilmiştir)

#### 4.4. Düşey Elektrik Sondajı (DES)

DES, yeraltının yatay veya yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu kabulü esasına dayanmaktadır. Jeolojik hedefler, örneğin farklı litolojilere sahip tortul kayalar, farklı özelliklere sahip tabakalı akiferler, magmatik kayaların üzerindeki tortul kayalar veya volkanik kayaların ayrışma bölgesi olabilir. Bir DES araştırmasının sonucunda, yerin bir-boyutlu özdirenç dağılımı yani yatay konumlanmış tabakaların sayısı, kalınlıkları ve özdirençleri belirlenir.

Yerin düşey yöndeki özdirenç dağılımını veren tabakalı ortamı belirleme fikri, yere verilen akım yerlerinin (A ve B) her iki taraftan dışa doğru değiştirilerek AB aralığının kademeli olarak artırılması ile mümkün olacaktır. Böylece, yere verilen akımın daha derinlere nüfuzu sağlanacak ve bu şekilde daha derindeki yatay konumlanmış tabakalar belirlenmiş olacaktır (Şekil 4.4). Kademeli olarak ölçülen görünür özdirençler, bir log/log ölçeğinde akım elektrot aralığına karşı

çizilir. Bu eğriye, yerin öz direnç/derinlik yapısını elde etmek için tüm verilerin ters çözümünün temelini oluşturan sondaj eğrisi adı verilmektedir (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4.** Yere verilen akımın artan nüfuz derinliğine yol açan artan akım elektrot aralığı ile görünür öz direnç ölçümleri (solda) ve ölçülen verilerin log-log ölçekte çizimiyle sonuçlanan sondaj eğrisi (sağda) (Kirsch, 2006)

DES yönteminde çoğunlukla, pratik oluşu ve metodik avantajlarından dolayı, M, N voltaj elektrotlarının yakın aralıklarla yerleştirilip dizilimin merkezine sabitlendiği ve A, B akım elektrotlarının dışarı doğru hareket ettirildiği simetrik Schlumberger dizilimi kullanır (Şekil 4.5). Geometrik faktör,

$$K = \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{MN} \cdot \pi \quad (4.6)$$

Eğer,  $AB \gg MN$  ise

$$K = \frac{\pi}{MN} \cdot \left(\frac{AB}{2}\right)^2 \quad (4.7)$$

bağıntısıyla verilir.

Ayrıca, topografik koşullar tam bir Schlumberger açılımını engellediğinde, sıklıkla yarım-Schlumberger diziliminin kullanımı avantaj sağlamaktadır. Teorik

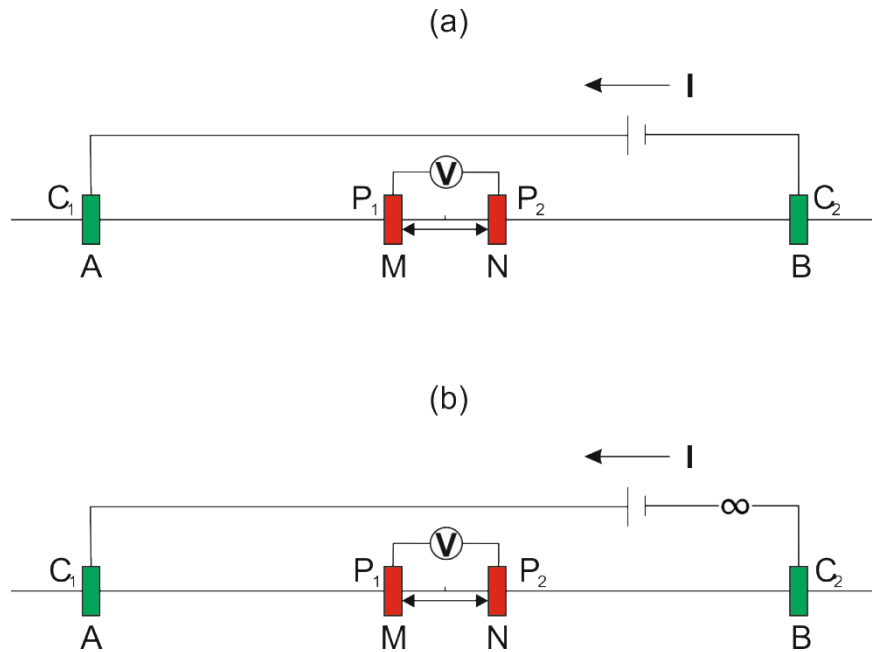
olarak, bu dizilimde akım elektrotu B, potansiyel elektrotlara sıfır katkı ile sonsuza yerleştirilir. Bu durumda geometrik faktör,

$$K = \frac{(AO)^2 - (MN)^2}{4MN} \cdot 2\pi \quad (4.8)$$

Eğer,  $AB \gg MN$  ise

$$K = \frac{2\pi}{MN} \cdot \left(\frac{AO}{2}\right)^2 \quad (4.9)$$

bağıntısıyla verilir. Burada AO, C<sub>1</sub> akımı ile P<sub>1</sub> ve P<sub>2</sub> potansiyel elektrotları orta noktası arasındaki uzaklıktır.



**Şekil 4.5.** DES ölçümleri için Schlumberger (a) ve yarım-Schlumberger (b) elektrot dizilimleri

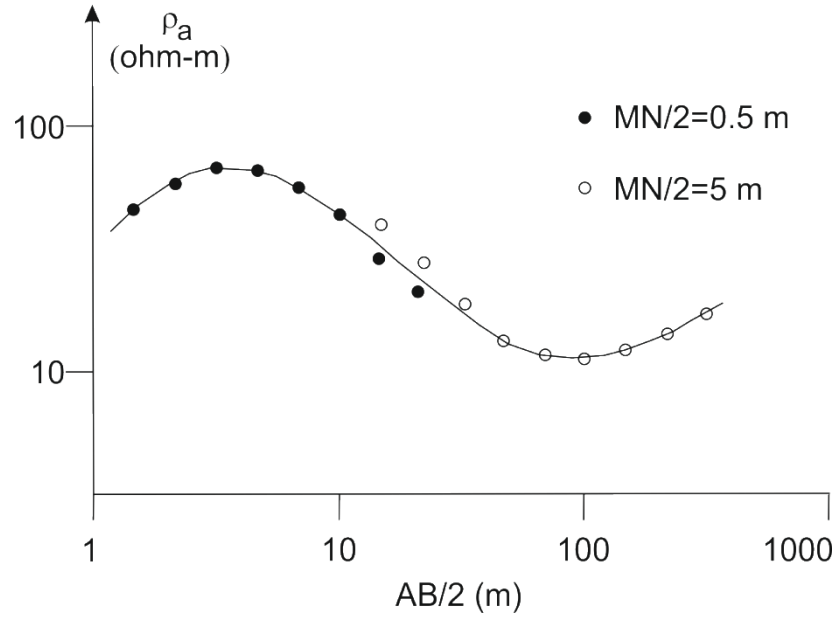
Schlumberger elektrot konfigürasyonunda, dört elektrot simetrik olarak düz bir hat boyunca akım elektrotları dışarıda ve potansiyel elektrotlar içeride olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 4.5). Araştırma derinliğini değiştirmek veya artırmak için, genel olarak potansiyel elektrotlar aynı konumda sabit bırakılırken, akım elektrotları dışarı doğru belli oranlarda yer değiştirilir. Akım

elektrotları arasındaki mesafenin potansiyel elektrotlar arasındaki mesafeye oranı çok büyük olduğunda, potansiyel farkı yeterli doğrulukla ölçülemeyecek kadar küçük hale gelir. Bu durumda, potansiyel elektrotları ara mesafesi arttırılır (Koefoed, 1979).

#### **4.4.1. Saha Ölçümleri**

Bir hidrojeolojik problemi çözmek için DES ölçümlerinin planlaması, bilinen jeolojik ortam ve arazi koşullarına göre yapılır. Eğer, ilgilenilen bölgede öz direnç / derinlik yapısı hakkında bir takım bilgiler mevcutsa, gerekli ölçüm profil boyu veya elektrot açılma uzunluğu, model hesaplamalar sonucu ortaya konabilir. DES eğrisini etkileyebilecek yüzey topografik değişimlerden kaçınmak için, elektrot açılım yönü yaklaşık olarak düz bir hat boyunca seçilmelidir. Bu nedenle, engebeli veya zor arazilerde genellikle yarım-Schlumberger dizilimi tercih edilebilir (Kirsch, 2006).

DES eğrilerinin yorumlanması, yeraltının yatay katmanlardan oluştuğu varsayımı ile yapılır. DES ölçümlerinde,  $AB/2$  aralığı logaritmik ölçekte her iki yönde de eşit aralıklarda arttırılır. Artan  $AB/2$  mesafesi, M, N elektrotlarında ölçülecek olan potansiyel farkının çok küçülmesine yol açar. Bu durumda, artan akım elektrotları ara mesafesine karşılık voltaj değerini arttırmak için MN mesafesi de artırılabilir. MN, örneğin 1 m'den 5 m'ye yükseltildiğinde, yakın yüzey öz direnç heterojenliklere bağlı olarak sondaj eğrisinde statik bir kayma sıklıkla gözlemlenir. Bu kayma, her iki MN aralığı ile üst üste ölçümlere bindirerek giderilebilir (Şekil 4.6).



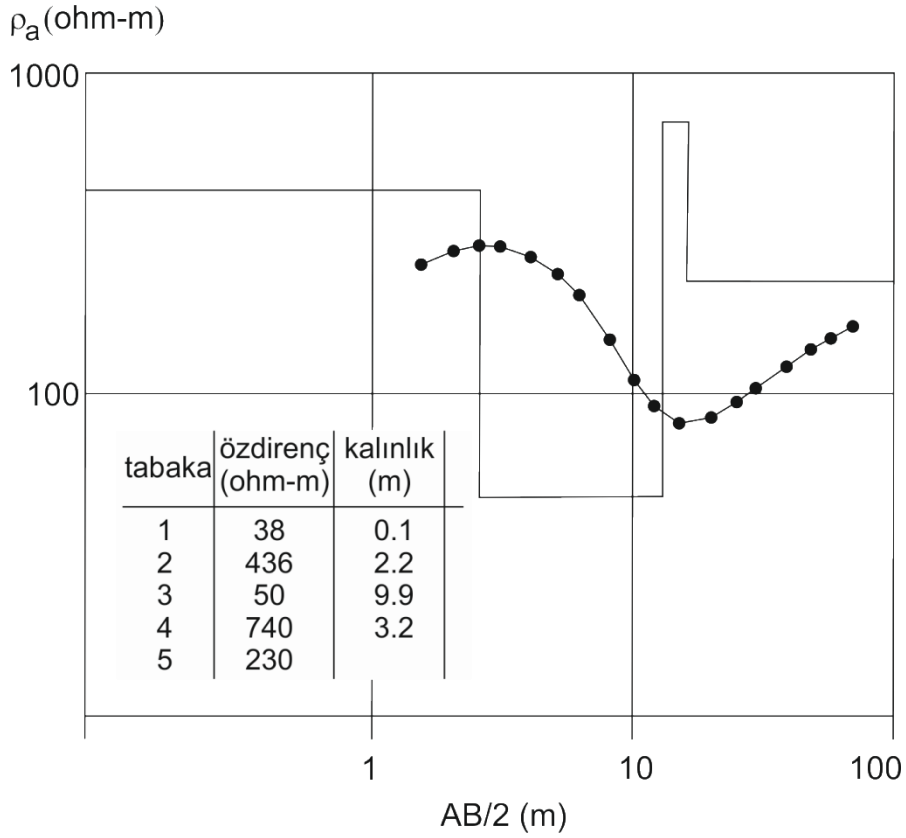
**Şekil 4.6.** M ve N elektrotlarının artan uzaklığı nedeniyle DES eğrisindeki statik kayma

Yatay tabakalı yer üzerinde ölçülen DES eğrileri genellikle pürüzsüzdür. Ölçüm yapan operatörün ölçülen görünür öz direnç değerlerinde önemli sapmalar ve hatta sondaj eğrisi boyunca net kaymaları gözlemlemesi durumunda, ya yer içinde insan yapımı güç hatları, borular vb. vardır ya da cihaz arızası söz konusu olabilir (Kirsch, 2006).

#### 4.4.2. DES Eğrilerinin Yorumu

Yatay tabakalardan oluşan bir yer modelinde tabakalara ait öz dirençler ve kalınlıklar, ölçülen görünür öz dirençlerin AB elektrot aralığının bir fonksiyonu olarak çizilmesi ile hesaplanabilir. DES verilerinin yorumunda, genellikle bir ters çözüm algoritması kullanılır. Teoriden farklı olarak, çözüm veri saçılımı çerçevesinde kesin değildir (Kirsch, 2006). Günümüzde DES eğrilerini değerlendirmek için otomatik ters çözüm sağlayan yazılımlar (IPI2Win, Res1d, Winsev vd.) kullanılmaktadır. Ters çözüm işlemi, sahadan ölçülen ve hesaplanan model eğrilerin çakışmasını sağlar. Bu işlem sonucunda, yatay tabakalara ait öz direnç ve kalınlık parametreleri hesaplanır (Şekil 4.7). Yorumlayıcı, elde edilen çözümün fiziksel olarak eşdeğer birkaç modelden yalnızca biri olduğunun

ve jeolojik güvenilirlik açısından tüm eşdeğerlik aralığını göz önünde bulundurması gerektiğinin farkında olmalıdır (Kirsch, 2006).



**Şekil 4.7.** Bir sondaj eğrisinin değerlendirmesi. Burada ölçülen görünür özdirençler (noktalar), en uygun tabaka modeli (tablo) ve çıkan model eğrisi (sürekli çizgi) görülmektedir. Teoride en alt tabakanın kalınlığının her zaman sonsuz olduğu varsayılır

#### 4.5. Elektrik Özdirenç Tomografi (ERT)

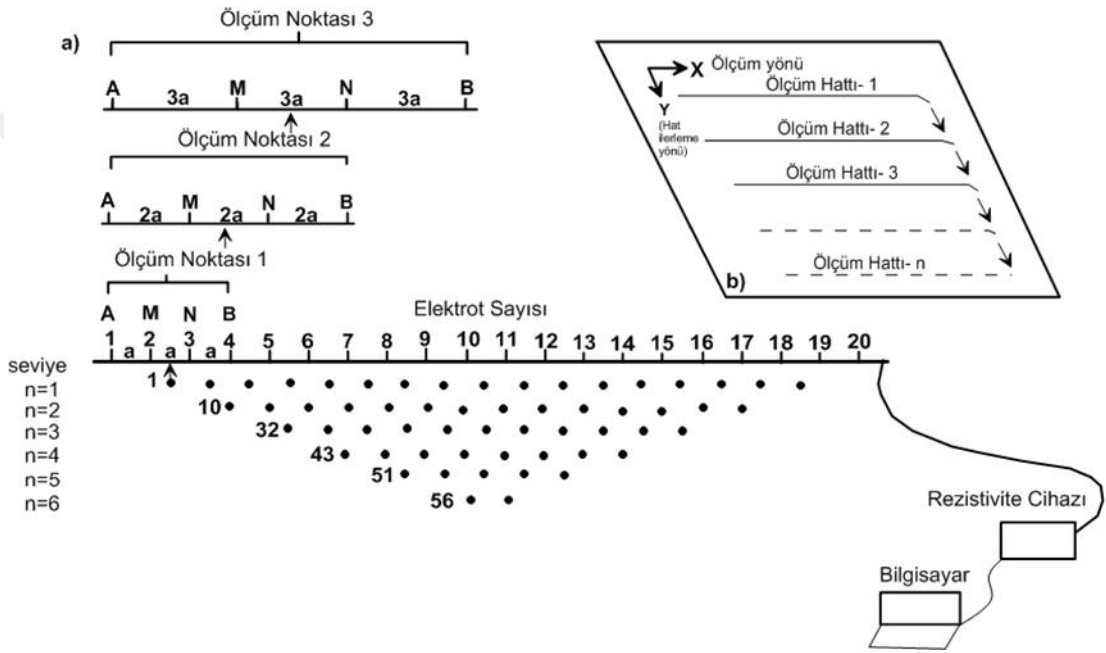
Elektrik özdirenç tomografi yöntemi (ERT), özdirençin düşey yönde ve ayrıca araştırma hattı boyunca yatay yönde değiştiği ancak araştırma hattına dik olan yönde özdirençin değişmediği varsayımına dayanır. Pek çok durumda, özellikle uzun jeolojik yapılar üzerindeki araştırmalar için bu makul bir varsayımdır. İki-boyutlu (2B) ERT özdirenç yönteminde, yeraltının tam bir görüntüsünü oluşturmak için normal bir-boyutlu (1B) özdirenç ölçümü (DES) farklı yerlerde ve farklı derinliklerde birkaç kez tekrarlanır. Bu, ölçümleri bir profil boyunca ileriye kaydırarak ve ayrıca derinliği artırmak için elektrotlar arasındaki mesafeyi artırarak yapılır.

ERT, yeraltı karmaşık jeolojisinin yüksek çözünürlüklü 2B veya 3B görüntüsünü sağlayan bir yerelektrik yöntemidir (Griffiths ve Barker, 1993). Loke (2001), 2B elektrik araştırma için tüm elektrot düzenlerini ve andıran kesit verilerini oluşturmak için ölçümlerin sırasını açıklamıştır. Genel süreç, yeraltı 2B öz direnç görüntüsü veren öz direnç noktalarını ölçmektir. Bu ERT veya 2B öz direnç araştırmalar, çoklu bir kabloya bağlı 25 veya daha fazla sayıda elektrotla yapılır. Dolayısıyla bu tür araştırmalar genellikle çok-elektrotlu sistemler kullanılarak gerçekleştirilir. Her ölçüm için ilgili dört elektrotu otomatik olarak seçmek için elektronik bir anahtarlama ünitesi ile birlikte bir dizüstü bilgisayar kullanılır (Şekil 4.8). Günümüzde, 2B öz direnç araştırmaları gerçekleştirmek için saha teknikleri ve ekipmanlar oldukça fazla gelişmiştir.

Şekil 4.8, 20 elektrotlu bir sistem için Wenner elektrot dizilimine göre olası bir ölçüm düzenini göstermektedir. Çoklu kablo, bir dizüstü bilgisayara bağlanan bir elektronik anahtarlama birimine bağlanır. Alınacak ölçümlerin sırası, kullanılacak dizilimin türü ve diğer ölçüm parametreleri normalde bir dizüstü bilgisayardaki bir bilgisayar programı tarafından okunabilen bir metin dosyasına girilir. Kontrol dosyası okunduktan sonra, bilgisayar programı her ölçüm için otomatik olarak uygun elektrotları seçer. Tipik bir araştırmada yapılması gereken işin çoğu, kablo ve elektrotların hat boyunca yerleştirilmesidir. Daha sonra ölçümler otomatik olarak alınır ve bilgisayara kaydedilir. Araştırma süresinin çoğu, öz direnç cihazının ölçümü tamamlamasını bekleyerek harcanmaktadır.

Bu örnekte, bitişik elektrotlar arasındaki mesafe "a" dır. İlk ölçüm, iki akım elektrotu ve iki potansiyel elektrot kullanılarak yapılır. Bunlar 1, 2, 3, 4 elektrot pozisyonlarında yapılır. Ölçülen noktanın derinliği, dizilimin toplam boyunun (3a) yaklaşık % 20-25'i kadardır. Elektrot pozisyonları 2, 3, 4, 5'den son pozisyon 17, 18, 19, 20'ye kadar değiştirildiğinde, n=1 seviyesinde ilk ölçüm derinliği tamamlanmış olur (Şekil 4.8). Ölçümler, derinlik seviyesini artırmak için elektrot aralığı artırılarak tekrarlanır. Örneğin, elektrotlar arasındaki mesafe "2a" ya arttırılarak, n=2'deki ikinci sıra ölçümler elde edilir. Bu işlem, tüm andıran kesit ve n=1' den n=6'ya kadar istenen tüm derinlik seviyeleri için

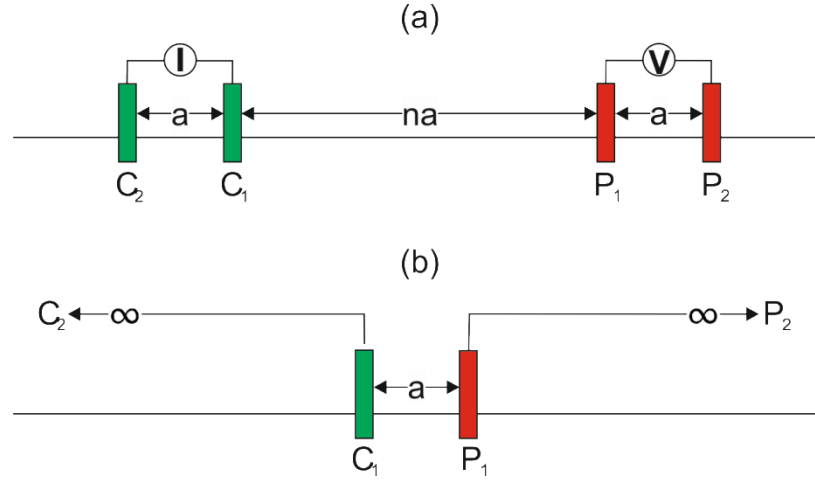
özdirenç değerlerinin ölçümüne kadar tekrarlanır. Elektrot aralığı arttıkça ölçüm sayısı azalmaktadır. Ölçüm profili boyunca belirli sayıda elektrot için her elektrot aralığı için elde edilebilecek ölçüm sayısı, kullanılan dizilimin türüne bağlıdır. Bu örnekte görüldüğü gibi, Wenner diziliminde diğer yaygın elektrot dizilimlerine kıyasla en az sayıda ölçüm olacaktır (Şekil 4.8a). Şekil 4.8b ise, inceleme yapılan sahada tüm alanı sistematik olarak ölçmede kullanılan ölçü düzenini göstermektedir. Ölçüm hatları aralıkları genellikle eşit alınır ve böylece, alansal olarak yeraltının 3B özdirenç dağılımı elde edilebilir.



**Şekil 4.8.** 2B ERT Wenner dizilimi araştırması için elektrotların ana bileşenleri ve düzeni. (a)  $n = 1$  ile  $n = 6$  derinlik seviyeleri için yeraltı andıran kesiti için bir özdirenç görüntüsü oluşturmak için kullanılan ölçüm sırası. (b) Alansal ölçüm için ölçüm hatları

#### 4.5.1. 2B ERT Dizilimleri

Bu çalışmada sinyal gücü ve yatay çözünürlüğü nedeniyle dipol-dipol dizilimi ve araştırma derinliğinin fazla olması sebebiyle pol-pol dizilimleri kullanılmıştır (Şekil 4.9).

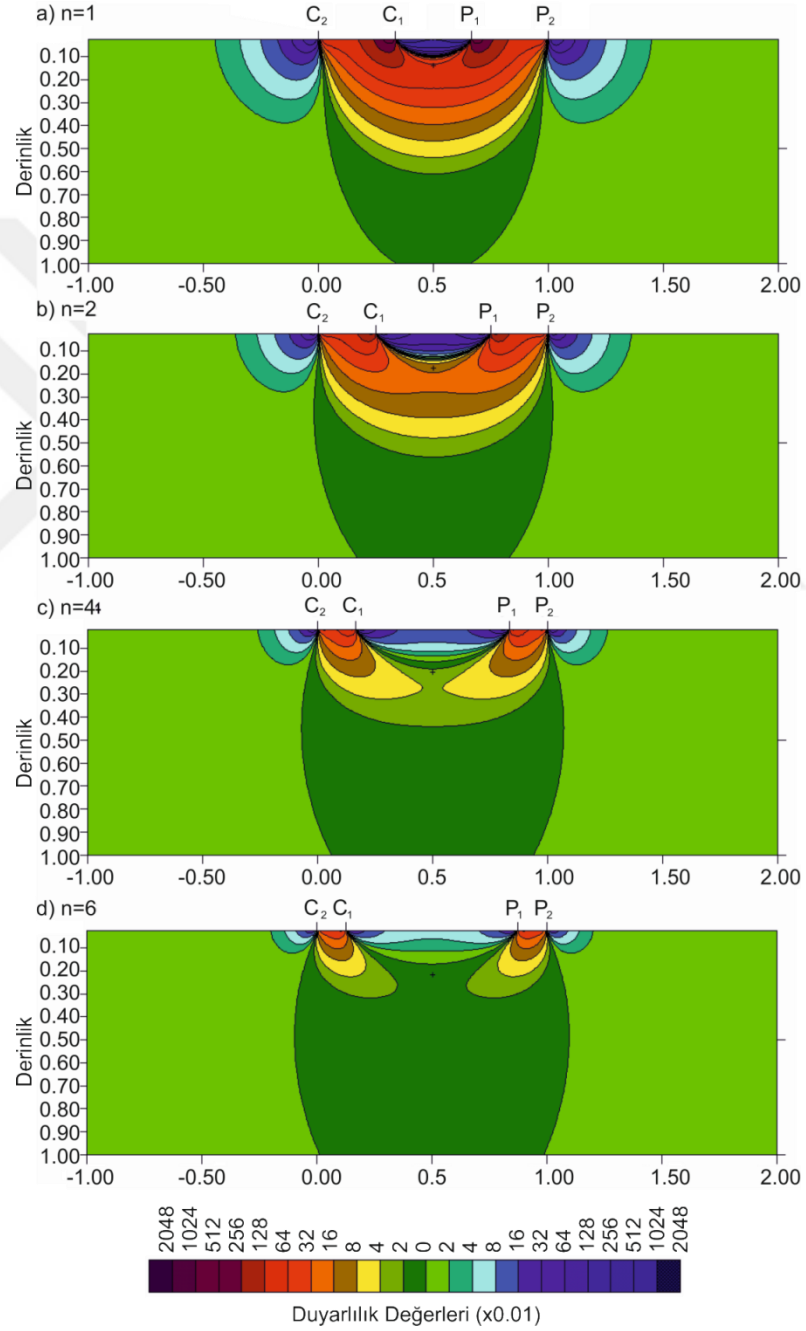


**Şekil 4.9.** 2B ERT için dipol-dipol (a) ve pol-pol (b) dizilimleri

Dipol-dipol elektrot diziliminde, bir hat boyunca  $C_2$ - $C_1$  akım ve  $P_1$ - $P_2$  potansiyel elektrot çiftleri Şekil 4.9a'da gösterildiği gibi dizilir. Akım elektrot çifti  $C_2$ - $C_1$  arasındaki mesafe, potansiyel elektrot çifti  $P_1$ - $P_2$  arasındaki mesafeyle aynı " $a$ " olarak verilmiştir. Bu dizilimde " $n$ " olarak gösterilen başka bir faktör vardır. Bu,  $C_1$  ve  $P_1$  elektrotları arasındaki mesafenin  $C_2$ - $C_1$  (veya  $P_1$ - $P_2$ ) dipol aralığına " $a$ " oranıdır. Bu dizilimde, " $a$ " aralığı başlangıçta sabit tutulur ve " $n$ " faktörü, araştırma derinliğini artırmak için 1'den 2 ye 3 veya daha fazla artırılır. Yatay noktanın pozisyonu, ölçüm alınırken kullanılan elektrotların orta noktasına yerleştirilir. Çizilen noktanın düşey konumu elektrotlar arasında orantılı olarak ayrılan bir uzaklığa yerleştirilir. Diğer bir yöntem ise, ölçülen verinin ortalama araştırma derinliğinde belirlenen noktanın düşey pozisyonuna yerleştirilmesidir (Edwards, 1977). Bu şekilde ölçülen görünür öz direnç yapma kesit verileri bir ters çözüm algoritması ile yorumlanarak profiller boyunca olası belirti yerlerini gösteren öz direnç kesitleri elde edilmektedir.

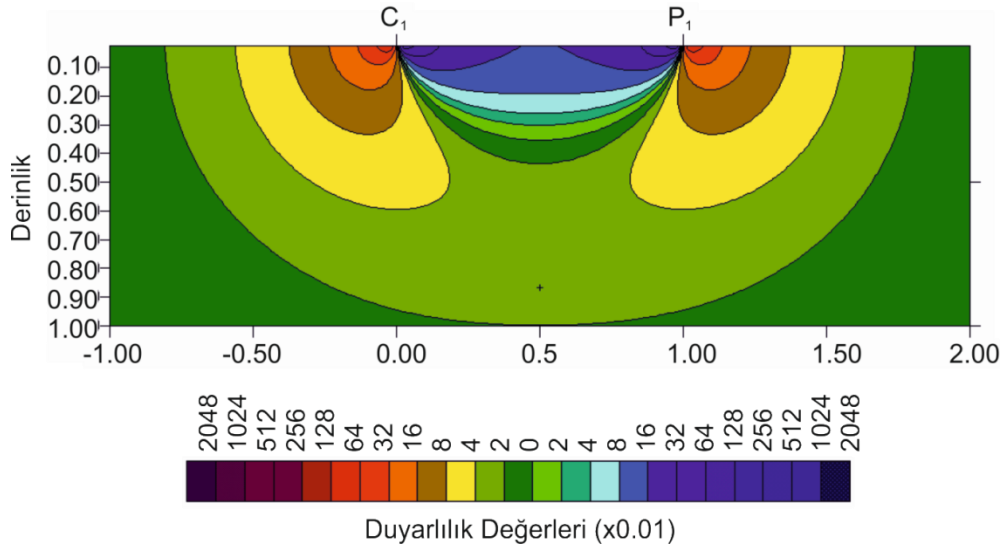
Duyarlılık fonksiyonları kesiti Şekil 4.10'da gösterilmektedir. En büyük duyarlılık değerlerinin  $C_2$ - $C_1$  dipol çifti arasında ve ayrıca  $P_1$ - $P_2$  çifti arasında yer aldığı görülmektedir. Bu, dipol-dipol dizilimin her bir dipol çiftindeki elektrotlar arasındaki öz direnç değişimlerine en duyarlı olduğu anlamına gelir. " $n$ " faktörü arttıkça, yüksek duyarlılık değerleri  $C_2$ - $C_1$  ve  $P_1$ - $P_2$  dipollerinin altında giderek daha yoğun hale gelirken  $C_1$ -  $P_1$  elektrotları arasındaki dizilim merkezinin altındaki duyarlılık değerleri azalır. 2'den büyük " $n$ " değerleri için, andıran kesit

çizim noktasındaki duyarlılık değerleri önemsiz hale gelir. Duyarlılık kontur deseni, 2'den büyük "n" değerleri için neredeyse düşey hale gelir. Bu nedenle, dipol-dipol dizilimi, öz dirençteki yatay değişimlere çok duyarlıdır, ancak öz dirençteki düşey değişimlere göreceli olarak duyarsızdır. Bu nedenle, dayklar ve boşluklar gibi düşey yapıların haritalanmasında iyidir, ancak tortul tabakalar gibi yatay yapıların haritalanmasında nispeten zayıftır (Loke, 2020).



**Şekil 4.10.** Dipol-dipol dizilimi için 2B duyarlılık kesitleri. Duyarlılık kesitleri (a)  $n=1$ , (b)  $n=2$ , (c)  $n=4$  ve (d)  $n=6$  için verilmiştir (Loke, 2020' den düzenlenmiştir)

Pratikte, sadece bir akım ve bir potansiyel elektrot ile ideal pol-pol dizilimi mevcut değildir. Pol-pol dizilimine yaklaşmak için, ikinci akım ve potansiyel elektrotlar ( $C_2$  ve  $P_2$ ), araştırmada kullanılan  $C_1$  ve  $P_1$  elektrotları arasındaki maksimum aralığının 20 katından daha fazla bir mesafeye yerleştirilmelidir.  $C_2$ 'nin (ve benzer şekilde  $P_2$  için) etkisi,  $C_1$ - $P_1$  mesafesinin  $C_2$ - $P_1$  mesafesine oranıyla yaklaşık orantılıdır.  $C_2$  ve  $P_2$  elektrotlarının etkileri hesaba katılmazsa, bu elektrotların araştırma hattından uzaklığı, hatanın % 5'ten az olmasını sağlamak için kullanılan en büyük  $C_1$ - $P_1$  aralığının en az 20 katı olmalıdır. Araştırma hattı boyunca elektrotlar arası mesafenin birkaç metreden fazla olduğu araştırmalarda, bu gereksinimi karşılamak için  $C_2$  ve  $P_2$  elektrotları için uygun konumlar bulmada pratik sorunlar olabilir. Bu dizilimin başka bir dezavantajı,  $P_1$  ve  $P_2$  elektrotları arasındaki büyük mesafe nedeniyle, ölçümlerin kalitesini ciddi şekilde bozabilecek büyük miktarda tellürik gürültü yakalayabilmesidir. Bu nedenle, bu dizilim esas olarak nispeten küçük elektrot aralıklarının (birkaç metreden daha az) kullanıldığı araştırmalarda kullanılır (Loke, 2020). Bu dizilim, en geniş yatay kapsama ve en derin araştırma derinliğine sahiptir (Loke, 2020). Bununla birlikte, duyarlılık fonksiyonunda görülen konturlar arasındaki nispeten büyük boşluklar zayıf çözünürlüğe işaretir (Şekil 4.11).



**Şekil 4.11.** Pol-pol dizilimi için 2B duyarlılık kesiti (Loke, 2020' den düzenlenmiştir)

#### 4.5.2. Özdirenç Ölçüm Cihazı

Burada sunulan veriler, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü bünyesinde bulunan 8 kanallı bir alıcıya sahip Super Sting R8/IP ünitesi (Şekil 4.12) kullanılarak ölçülmüştür. SuperSting™ Wi-Fi, yeraltını görüntülemek ve sonuçları 2B kesitler veya 3B görselleştirmek için kullanılan yeni nesil bir elektrik özdirenç cihazıdır (Advanced Geosciences Inc., AGI).



**Şekil 4.12.** Çalışmada kullanılan tam otomatik SuperSting özdirenç cihazı (AGI Advanced Geosciences, Inc.)

#### 4.5.3. 2B ERT Verilerinin Değerlendirilmesi

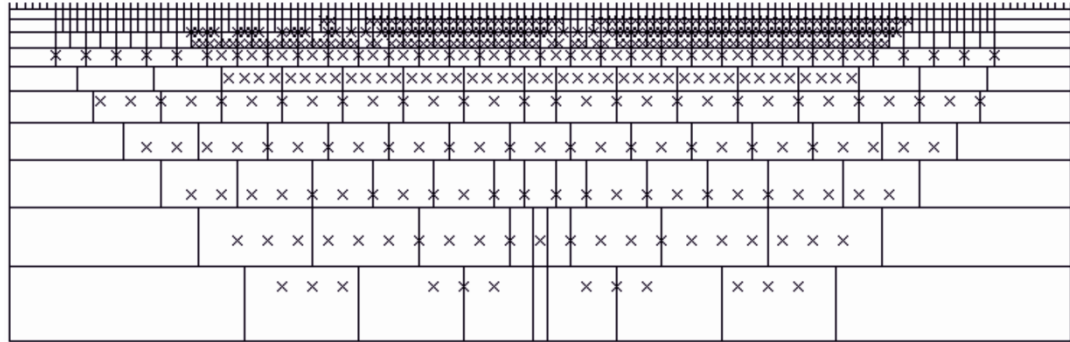
Elektrik özdirenç yönteminde kullanılan çok elektrotlu özdirenç sistemleri, eşit aralıklı olarak ve düz bir hat boyunca çakılmış elektrotlar (2B araştırmalarında 20 veya daha fazla, 3-B araştırmalarında 256 veya daha fazla) ile bunların bağlantısını sağlayan çoklu kablodan oluşmaktadır. Tüm elektrotlar bir kablo aracılığıyla ölçü cihazına bağlanır ve istenilen elektrot dizilimi için sıralı ve otomatik olarak ölçü alınır. Bilgisayarla kontrol edilen kontrol kutusu sayesinde ölçümler alınarak depolanır. Alınan ölçümler farklı programlarla değerlendirilebilir.

Gerçek yer altı öz direnç dağılımını belirlemek için, ölçülen görünür öz direnç verilerin bir ters çözümü yapılır. Görünür öz direnç kesitlerinin yeraltı öz direnç dağılımının 2B modellerine dönüştürülmesi, genellikle Loke ve Barker (1996a) tarafından önerilen yöntem kullanılarak yapılır. Res2Dinv (Geotomo Software) ters çözüm algoritması, doğrusal olmayan en-küçük kareler optimizasyon tekniğini kullanır (Loke ve Barker, 1996b). Res2Dinv (Geotomo Software) ters çözüm optimizasyon tekniği, model yeraltı bloklarının öz direncini ayarlayarak hesaplanan ve ölçülen görünür öz direnç değerleri arasındaki farkı en aza indirmeye çalışır. Bu farkın bir ölçüsü genellikle 3 ile 5 iterasyondan sonra karekök ortalama (RMS) hatasıyla verilir. Program hem sonlu fark hem de sonlu elemanlar ileri modelleme tekniklerini destekler.

Saha ERT verilerinin değerlendirmesinde kullanılan Res2Dinv programında, yeraltının birçok dörtgen bloklara bölündüğü bir 2B model kullanılır (Şekil 4.13). Modeldeki bloklar, ölçülen görünür öz direnç verilerin andıran kesitteki dağılımına bağlıdır ve blokların derinlikleri ise dizilimin araştırma derinliğine (Çizelge 4.1) eşittir. Varsayılan olarak program, model bloklarının boyutunu ve konumunu oluşturmak için kısmen veri noktalarının konumuna dayalı bir sezgisel algoritma kullanır. Kullanılan algoritmada, modeldeki en alt tabakaya kadar olan derinlik, veri noktalarının en büyük araştırma derinliği ile yaklaşık olarak aynı olacak şekilde ayarlanır ve model blokların sayısı veri noktalarının sayısını aşmaz. Tabaka kalınlıkları, artan derinlikle öz direnç yönteminin azalan çözünürlüğünü yansıtacak şekilde artırılır. Genel olarak, bu, tabakaların kalınlığının derinlikle arttığı ve kenarlarda ve daha alt tabakalarda daha kalın blokların olduğu bir model üretir (Şekil 4.13a). Andıran kesitteki veri noktalarının dağılımı, model bloklara bölmede bir rehber olarak kullanılır, fakat model kesit katı bir şekilde andıran kesite bağlı değildir. Bununla birlikte, algoritmada çeşitli seçenekler kullanılarak blokların genişliği ve kalınlığı değiştirilebilir. Program bir veri dosyasını okuduğunda, normalde veri noktalarının minimum andıran derinliğini kullanarak ilk tabaka kalınlığını ayarlayacaktır. Yüzey araştırmaları için, çözünürlük derinlikle azaldığından, tabakaların kalınlığı normalde her derin tabakada % 5 ile 15 arasında artar. Program normalde, en derindeki tabakaya kadar olan derinliğin ölçülen veri

setindeki maksimum andıran derinliği aşmadığı bir model kullanır. Daha derin bir derinlik aralığını kapsayan bir model kullanmak için, model derinlik aralığı artırılabilir (Loke, 2020).

a)



Model blok

Veri konumu

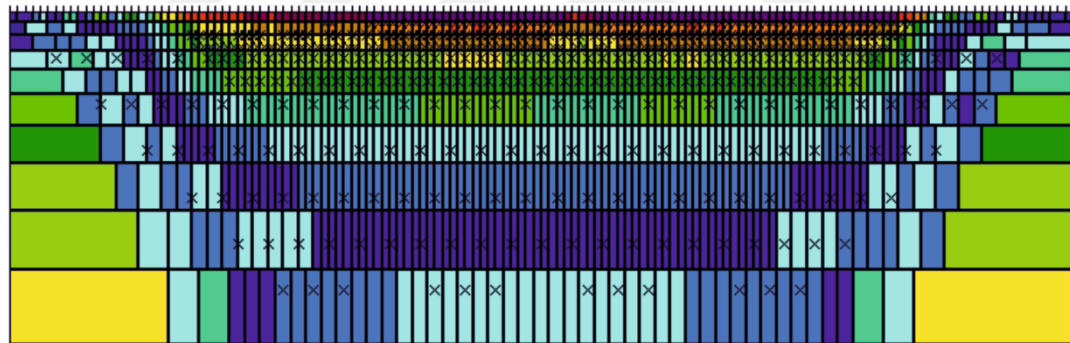
Model tabakaların sayısı 10

Model blok sayısı: 433

Veri sayısı: 447

Birim elektrot aralığı 5 m

b)



Model blok

Veri konumu

Model tabakaların sayısı 10

Model blok sayısı: 1071

Veri sayısı: 447

Birim elektrot aralığı 5 m

0.16 0.26 0.41 0.65 1.0 1.7 2.6 4.2  
Bağıl duyarlılık değerleri

**Şekil 4.13.** ERT ters çözümde kullanılan 2B yer modeli örneği. (a) Görünür öz direnç andıran kesit verilerinin konumlarıyla birlikte ters çözüm işleminde kullanılan blokların düzeni. (b) Homojen bir yer modeli için duyarlılık değerlerinin kullanımı ile elde edilmiş model (Loke, 2020’den yeniden düzenlenmiştir)

Yeraltını alt bölümlere ayırmak için kullanılan tüm yöntemler sezgisel algoritmalara dayanmaktadır (Loke, 2020). Şekil 4.13b, model blokların duyarlılık değerlerine dayalı daha nicel bir yaklaşımla üretilen blok dağılımını

göstermektedir. Model duyarlılık kesitinde, kenarlardaki ve alttaki blokların daha büyük boyutları nedeniyle daha yüksek hassasiyet değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Loke, 2020).

**Çizelge 4.1.** Dipol-dipol ve pol-pol dizilimleri için medyan araştırma derinlikleri ( $z_e$ ) (Edwards, 1977). L dizilimin toplam uzunluğu. Geometrik katsayı  $a=1$  m içindir

| Dipol-dipol | $z_e/a$ | $z_e/L$ | Geometrik katsayı |
|-------------|---------|---------|-------------------|
| n=1         | 0.416   | 0.139   | 18.850            |
| n=2         | 0.697   | 0.174   | 75.398            |
| n=3         | 0.962   | 0.192   | 188.50            |
| n=4         | 1.220   | 0.203   | 376.99            |
| n=5         | 1.476   | 0.211   | 659.73            |
| n=6         | 1.730   | 0.216   | 1055.6            |
| n=7         | 1.983   | 0.220   | 1583.4            |
| n=8         | 2.236   | 0.224   | 2261.9            |
| Pol-pol     | 0.867   |         | 6.28319           |

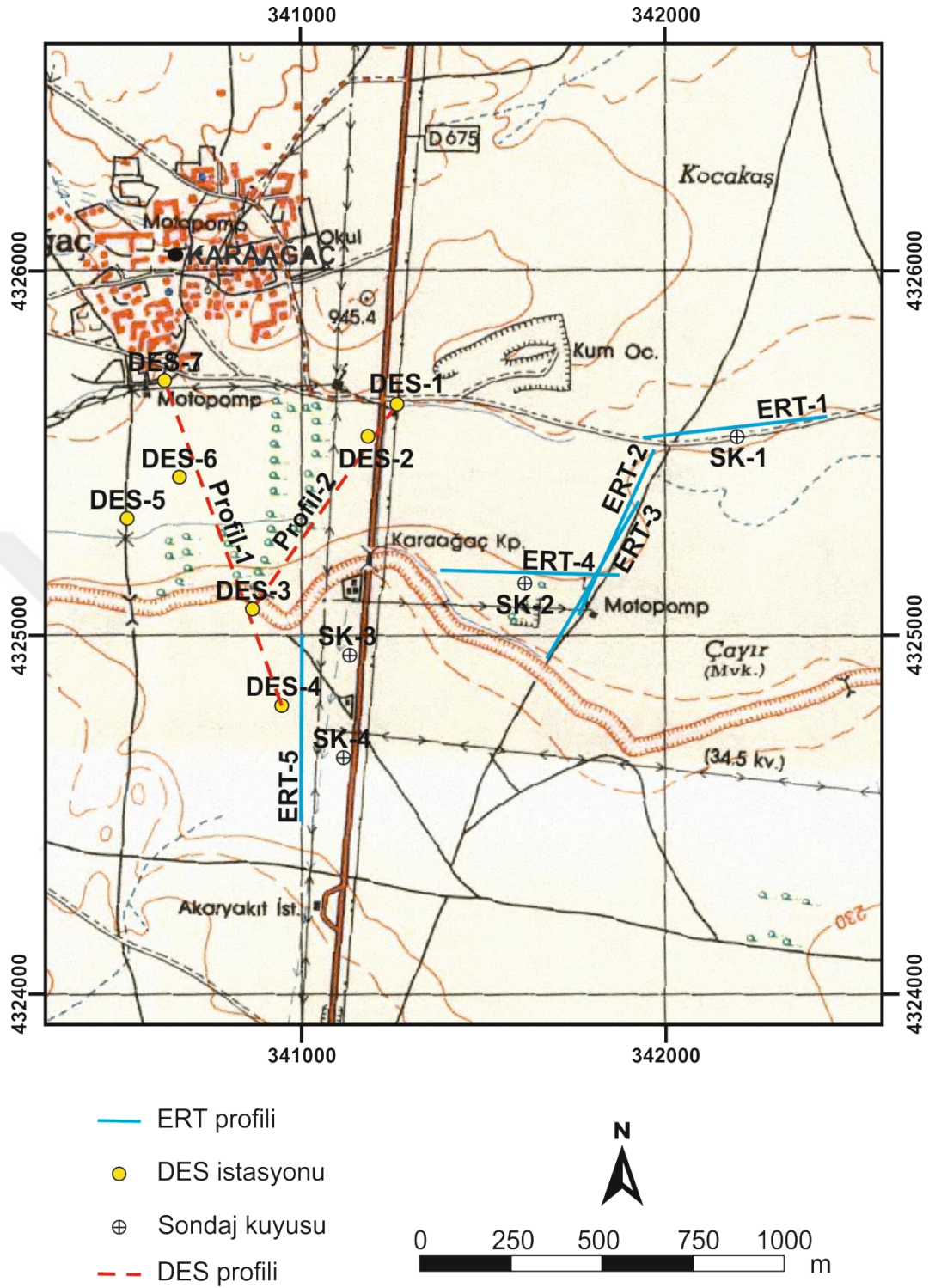
## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1. Ölçüm Düzeni

Ege ve İç Anadolu bölgeleri geçiş noktasında ve Yukarı Sakarya kesiminde yer alan Emirdağ bölgesinde çok sayıda doğal su kaynağı bulunmaktadır. Bunlar, içme ve ev ihtiyaçları yanında tarımsal sulama ve balık üretimi vb. amaçlar için kullanılmaktadır. Bölgenin içme suyu ihtiyacının bir bölümü, bölgenin en önemli yüzey suyu olan Sakarya nehri dışındaki mevsimlik dereler üzerinde inşa edilmiş göletlerden karşılanmaktadır. Ayrıca, Emirdağ yerleşim alanı ve çevresinde içme suyu ve kullanma suyu maksadıyla önceden açılmış ve işletilen su kuyuları (Karaağaç köyü yakınlarında bulunan Karaağaç su kuyusu, Elhan köyü yakınlarından bulunan Elhan su kuyusu ve Bolvadin yolu üzerinde bulunan Bolvadin su kuyusu) mevcuttur.

Bölgedeki nüfus yoğunluğunun yaz aylarında artması ve tarımsal sulama için yüzey sularının yetersizliği sebebiyle, yeraltı suyundan yararlanma yoluna gidilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından bölgede su sondajları açmak için farklı projeler yürütülmüştür.

Bu tez çalışmasında, Emirdağ-Karaağaç bölgesinde muhtemel yeraltı suyu bulunduran jeolojik yapıların araştırılması için, iki ayrı araştırmadan DES ve ERT yöntemlerine göre ölçülen veriler değerlendirilmiştir. Bu araştırma kapsamında kullanılan elektrik özdirenç saha verileri, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü mühendisleri tarafından su sondaj yerlerinin belirlenmesine yönelik yapılan iki ayrı çalışmadan sağlanmıştır. Bölgede açılmış sondajlardan sağlanan litolojik bilgiler ile elektrik özdirenç araştırma sonuçları yeraltı suyu açısından yorumlanmıştır.



**Şekil 5.1.** Yeraltı suyu araştırması için inceleme alanı jeofizik ölçümleri lokasyon haritası

Bu araştırma kapsamında, Emirdağ-Karaağaç bölgesinde 7 noktada DES ölçümü ve 5 profilde ERT ölçümü ve 4 lokasyonda açılmış sondajlar kullanılmıştır (Şekil 5.1). Her bir yöntem için saha verileri değerlendirilerek yeraltının 1B ve 2B

özdirenç dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Emirdağ Merkez bölgesinde jeolojik istif alttan üste doğru sırasıyla, Mesozoyik yaşlı kireçtaşı; kilitaşı-marn-kireçtaşı ve çakilitaşı ardalanmalı Pliyosen yaşlı gölsel çökeller ile Kuvaterner yaşlı alüvyon vardır. Alüvyon bölgede geniş yayılım göstermektedir. Pliyosen'e ait kireçtaşı, çakilitaşı seviyeleri ile alüvyona ait blok, çakıl ve kum boyutundaki malzemelerin olduğu seviyeler akifer özelliği göstermektedir (Aksever, 2019).

## **5.2. DES Verilerinin Değerlendirilmesi**

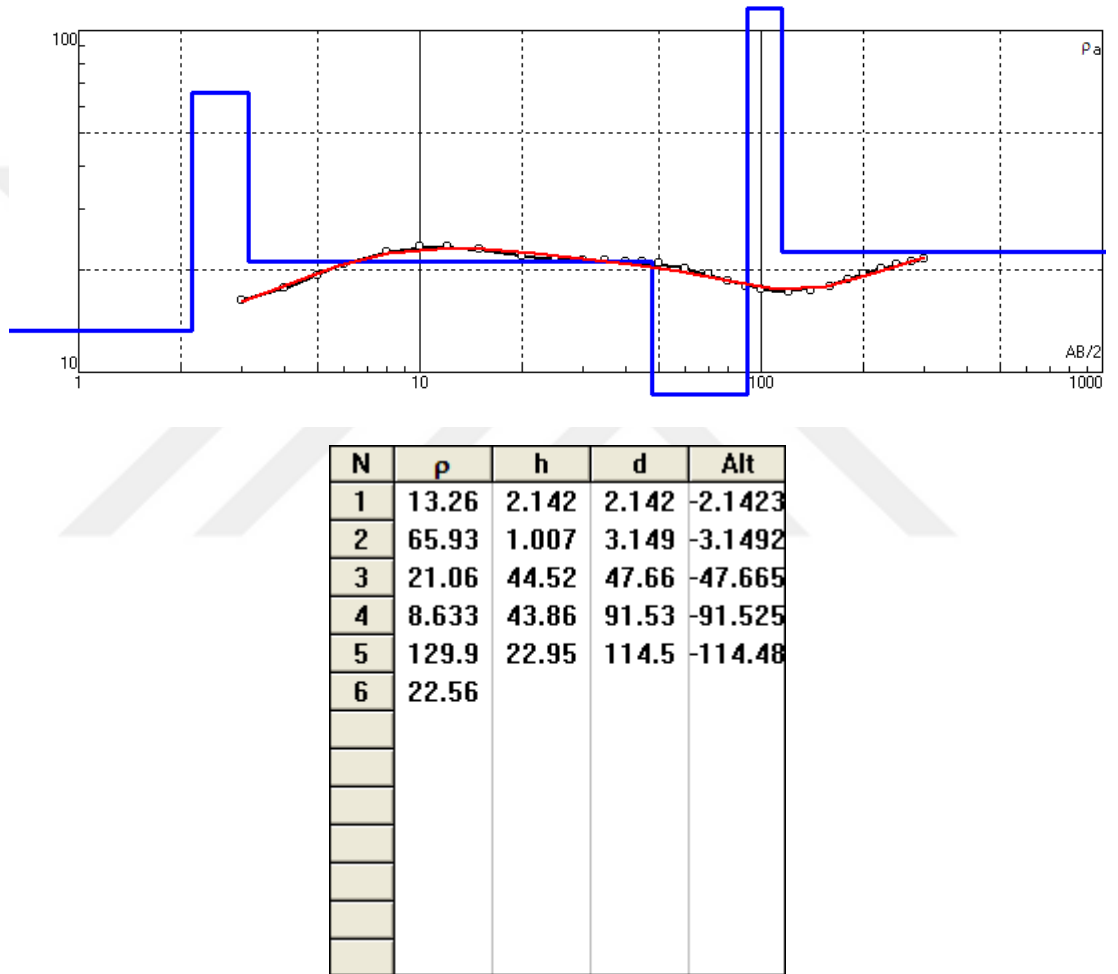
Yedi istasyonda düşey elektrik sondaj (DES) ölçümü (Çizelge 5.1) elde edilmiştir. Schlumberger dizilimine göre akım elektrotları arası maksimum yarı mesafeler ( $AB/2$ ), DES-1 için 350 m, DES-2, DES-4 ve DES-7 için 250 m, DES-3 için 300 m ve DES-5 ve DES-6 için ise 275 m olarak alınmıştır. DES ölçümlerinde akım elektrotları mesafe arttıkça potansiyel elektrotları ara mesafeleri de belli ölçümlerden sonra arttırılmıştır. Potansiyel elektrotları arası mesafesi sırasıyla 2 m, 10 m, 20 m ve 40 m olarak alınmıştır. Schlumberger elektrot dizilimine göre ölçülmüş saha DES verilerini değerlendirmede IPI2Win (Moscow State University) yazılımı kullanılmıştır.

Şekil 5.2-5.8 numaralı şekillerde saha ve model eğrileri üstte verilmiştir. Burada siyah çizgi ile birleştirilmiş içi boş daireler saha verilerini, kırmızı renkli eğriler modelden elde edilen sentetik verileri göstermektedir. 1B yer modelleri ise mavi renkli düz çizgiler ile gösterilmiştir. 1B yer modellerine ait sayısal bilgiler ise altta verilmiştir. Burada,  $\rho$ ,  $h$  ve  $d$  harfleri sırasıyla tabaka özdirenci, kalınlığı ve derinliğini ifade etmektedir.

**Çizelge 5.1.** Emirdağ-Karaağaç bölgesi Schlumberger dizilimi DES saha ölçüm verileri

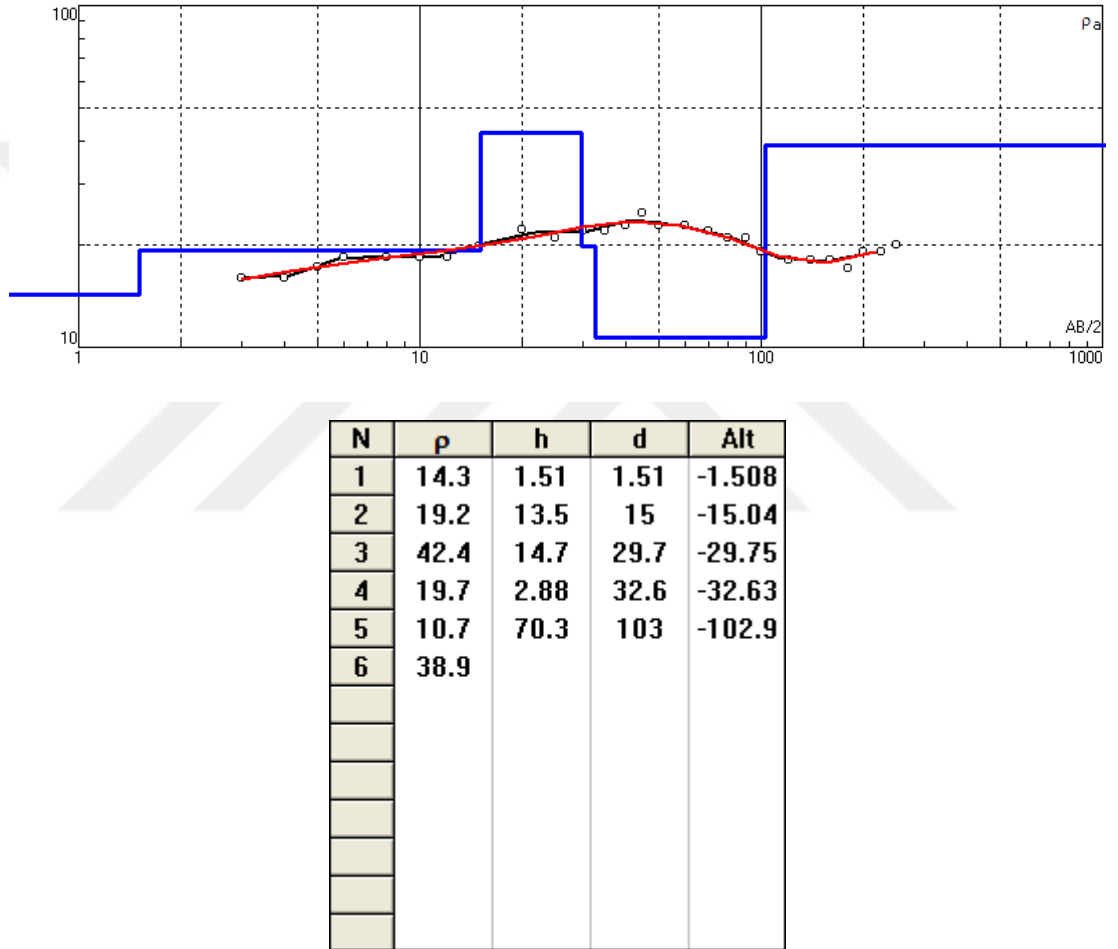
| AB/2 | MN | DES-1 | DES-2 | DES-3 | DES-4  | DES-5 | DES-6 | DES-7 |
|------|----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 3    | 2  | 17,70 | 12,7  | 38,7  | 104,11 | 22,2  | 45    | 91    |
| 4    | 2  | 18,5  | 12,84 | 37,5  | 110,9  | 25,8  | 45,07 | 87,12 |
| 5    | 2  | 20,6  | 14,09 | 35,2  | 111,5  | 27,56 | 45,45 | 76,8  |
| 6    | 2  | 22,02 | 14,6  | 34,01 | 104,5  | 29,2  | 46,27 | 61,54 |
| 8    | 2  | 24,7  | 15,2  | 32,8  | 84     | 31    | 47    | 45,9  |
| 10   | 2  | 27    | 15,2  | 32,6  | 70     | 32,37 | 48,73 | 44,9  |
| 12   | 2  | 27,1  | 14,8  | 32,16 | 53     | 32,63 | 48,93 | 41,69 |
| 15   | 2  | 25,2  | 16,1  | 31,7  | 36,9   | 31,03 | 50,26 | 39,2  |
| 20   | 2  | 23,8  | 17,5  | 31,9  | 27,3   | 30,4  | 50,45 | 36,14 |
| 25   | 2  | 22,2  | 17,4  | 32,12 | 26,17  | 27,6  | 49,26 | 30    |
| 25   | 10 | 19,8  | 21,9  | 31,4  | 25,6   | 29    | 50,37 | 27,01 |
| 30   | 10 | 20    | 23,19 | 32    | 25,61  | 26,6  | 45,86 | 23,8  |
| 35   | 10 | 21,15 | 23,23 | 32,37 | 25     | 25,12 | 43,02 | 21,5  |
| 40   | 10 | 21,96 | 24,1  | 32,56 | 24,96  | 24,01 | 40,24 | 19,9  |
| 45   | 10 | 22,06 | 26,2  | 32,3  | 23,3   | 22,4  | 37,69 | 19,3  |
| 50   | 10 | 21,6  | 23,91 | 32,35 | 22,46  | 21,4  | 35,31 | 19,69 |
| 60   | 10 | 20,6  | 24    | 32,1  | 21,07  | 19,09 | 31,1  | 20,3  |
| 70   | 10 | 18,15 | 23,01 | 30,6  | 20,45  | 19,03 | 27,64 | 19,81 |
| 80   | 10 | 18,6  | 22,4  | 29,16 | 19,71  | 18,6  | 24,9  | 18,74 |
| 90   | 10 | 17,5  | 21,7  | 28,8  | 19,14  | 18,3  | 22,34 | 18,51 |
| 100  | 10 | 15,5  | 20,37 | 26,9  | 18,81  | 17,7  | 20,35 | 17,9  |
| 100  | 20 | 16,3  | 19    | 26,22 | 19,02  | 18,4  | 20,31 | 16,88 |
| 120  | 20 | 16,4  | 18,43 | 25,3  | 18,2   | 18,34 | 29,02 | 15,9  |
| 140  | 20 | 17,05 | 17,87 | 24,8  | 18,5   | 18,6  | 18,66 | 15,97 |
| 160  | 20 | 19,4  | 18,45 | 25,05 | 18,4   | 19,14 | 18,65 | 16,44 |
| 180  | 20 | 20,38 | 17    | 25,5  | 19,65  | 19,3  | 18,4  | 16,36 |
| 200  | 20 | 21,3  | 18,7  | 26,6  | 20,6   | 20,14 | 18,73 | 16,95 |
| 225  | 20 | 19,8  | 19,19 | 27,5  | 22,19  | 21    | 20    | 17,5  |
| 250  | 20 | 19,9  | 20,3  | 29,14 | 23,13  | 21,4  | 20    | 18,8  |
| 275  | 40 | 20,98 |       | 28,6  |        | 22,2  | 21    |       |
| 300  | 40 | 21,15 |       | 30,5  |        |       |       |       |
| 350  | 40 | 22,8  |       |       |        |       |       |       |

DES-1 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.2). En üstte 2.1 m kalınlığında düşük öz dirençli ( $13 \Omega\text{m}$ ) bir örtü katmanı, onun altında yaklaşık 1 m kalınlığında daha dirençli ( $66 \Omega\text{m}$ ) bir tabaka, altında yaklaşık 45 m kalınlığında  $21 \Omega\text{m}$  öz direncinde bir tabaka, onun altında 44 m kalınlığında  $8 \Omega\text{m}$  öz direncinde iletken bir tabaka, altında yaklaşık 23 m kalınlığında nispeten yüksek öz dirençli ( $130 \Omega\text{m}$ ) bir tabaka, altında yaklaşık  $23 \Omega\text{m}$  öz direncinde bir tabaka vardır.



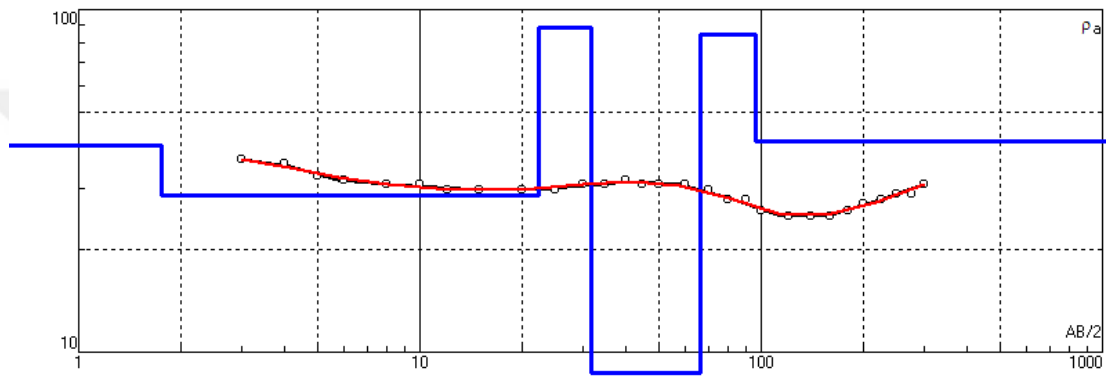
Şekil 5.2. DES-1 ölçümü değerlendirme sonuçları.

DES-2 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.3). Yaklaşık 1.5 m kalınlığında düşük öz dirençli ( $14 \Omega\text{m}$ ) bir örtü katmanı altında 13 m kalınlığa sahip bir tabaka (öz direnci  $19 \Omega\text{m}$ ), onun altında yaklaşık 15 m kalınlığında  $42 \Omega\text{m}$  öz direncinde bir tabaka, onun altında yaklaşık 3 m kalınlığında bir tabaka (öz direnci  $20 \Omega\text{m}$ ) altında 70 m kalınlığında iletken bir tabaka (öz direnci  $10 \Omega\text{m}$ ) ve en altta ise  $39 \Omega\text{m}$  öz direncinde bir tabaka vardır.



**Şekil 5.3.** DES-2 ölçümü değerlendirme sonuçları.

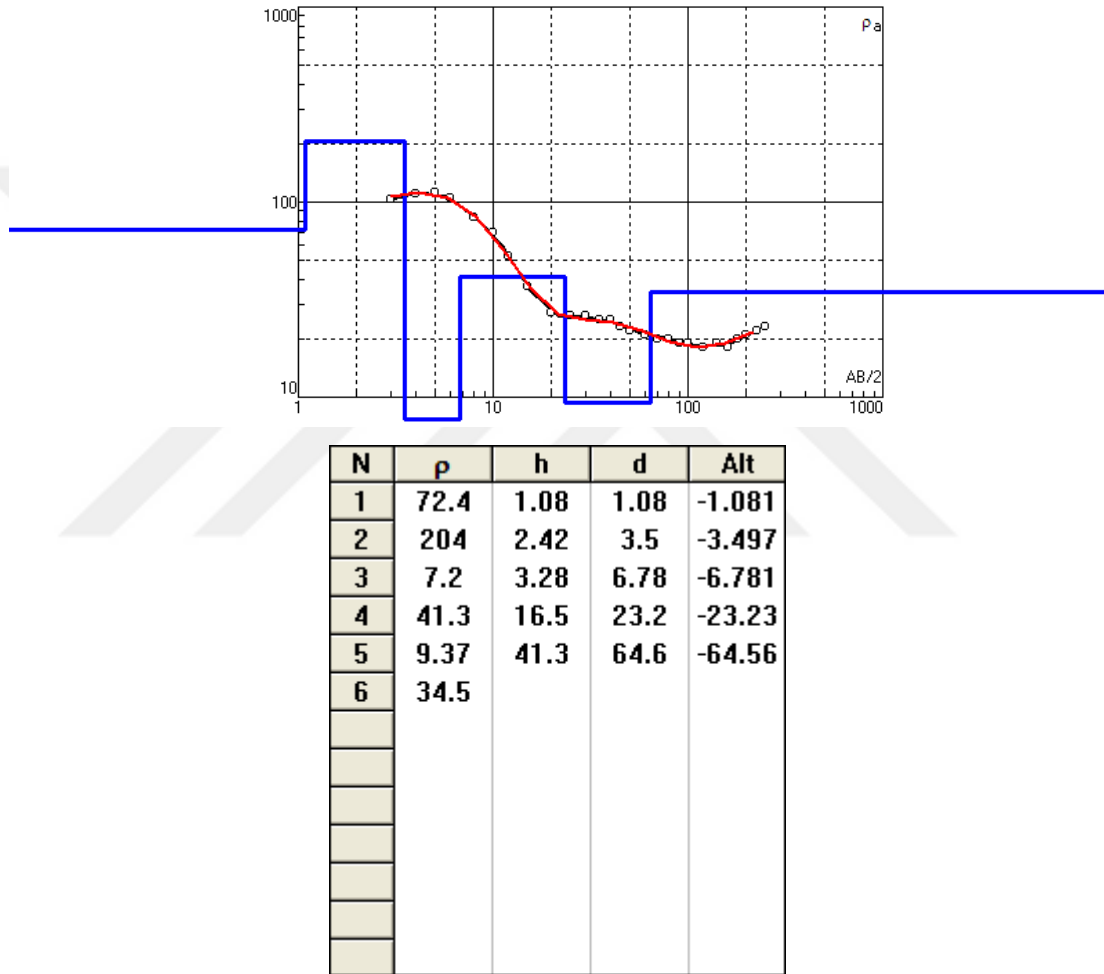
DES-3 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.4). En üstte yaklaşık 1.7 m kalınlığında yaklaşık 40  $\Omega$ m öz direncine sahip bir örtü katmanı, onun altında yaklaşık 20 m kalınlığa ve nispeten daha düşük öz dirençli (29  $\Omega$ m) bir tabaka ve onun altında yaklaşık 10 m kalınlığında nispeten yüksek öz dirençli (88  $\Omega$ m) bir tabaka, altında 35 m kalınlığında ve yaklaşık 9  $\Omega$ m öz direncinde iletken bir tabaka, altında kalınlığı 30 m ve öz direnci 85  $\Omega$ m olan bir tabaka ve en altta ise yaklaşık 41  $\Omega$ m öz direncinde bir alt tabaka vardır.



| N | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
|---|--------|-------|-------|---------|
| 1 | 40.12  | 1.751 | 1.751 | -1.7513 |
| 2 | 28.67  | 20.48 | 22.23 | -22.234 |
| 3 | 88.2   | 9.526 | 31.76 | -31.76  |
| 4 | 8.692  | 34.73 | 66.49 | -66.493 |
| 5 | 84.61  | 30.15 | 96.64 | -96.645 |
| 6 | 41.37  |       |       |         |
|   |        |       |       |         |
|   |        |       |       |         |
|   |        |       |       |         |
|   |        |       |       |         |
|   |        |       |       |         |
|   |        |       |       |         |

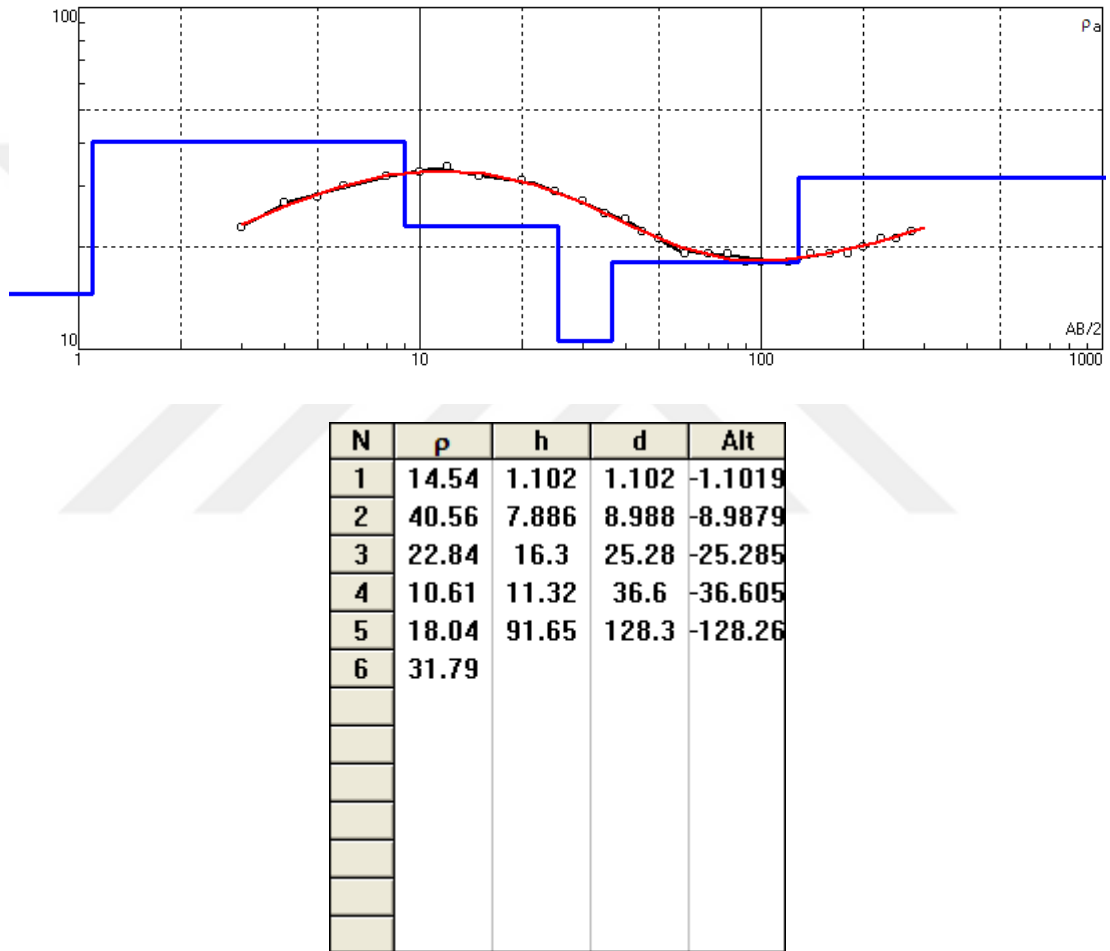
Şekil 5.4. DES-3 ölçümü değerlendirme sonuçları.

DES-4 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.5). En üstte yaklaşık 1 m kalınlığında ve yaklaşık 72  $\Omega$ m öz direncine sahip bir örtü katmanı altında yaklaşık 2.4 m kalınlığında ve 204  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka, altında yaklaşık 3 m kalınlığında iletken bir tabaka, altında yaklaşık 16 m kalınlığında öz direnci 41  $\Omega$ m olan bir tabaka, onun altında yaklaşık 41 m kalınlığında düşük öz dirençli (9  $\Omega$ m) bir tabaka, ve en altta ise yaklaşık 35  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka vardır.



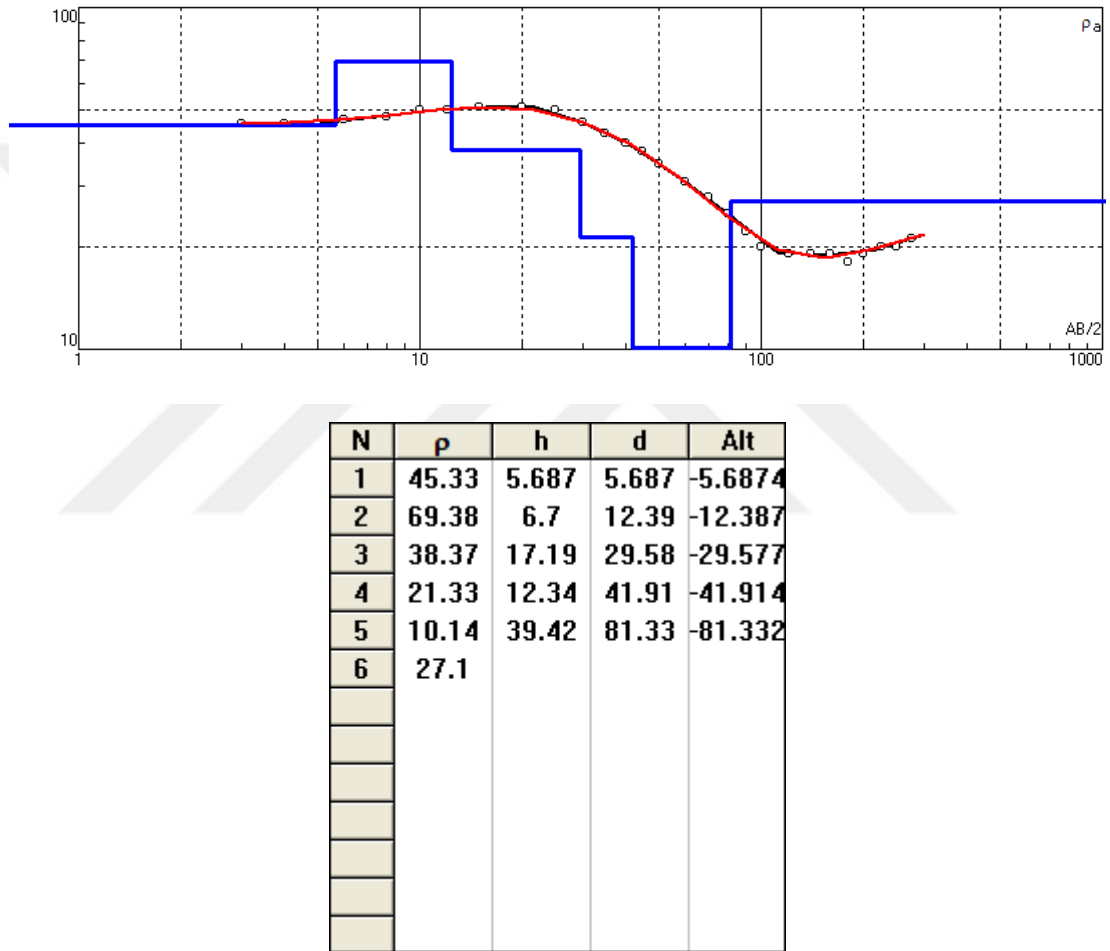
Şekil 5.5. DES-4 ölçümü değerlendirme sonuçları.

DES-5 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.6). Yaklaşık 1.1 m kalınlığında düşük öz dirençli ( $14 \Omega\text{m}$ ) bir örtü katmanı altında yaklaşık 8 m kalınlığında bir tabaka (öz direnci  $41 \Omega\text{m}$ ), altında 16 m kalınlığında  $23 \Omega\text{m}$  öz direncinde bir tabaka, onun altında yaklaşık 11 m kalınlığında iletken bir tabaka, altında yaklaşık 92 m kalınlığında ve yaklaşık  $18 \Omega\text{m}$  öz direncinde kalın bir tabaka ve en altta ise yaklaşık  $32 \Omega\text{m}$  öz direncinde bir tabaka vardır.



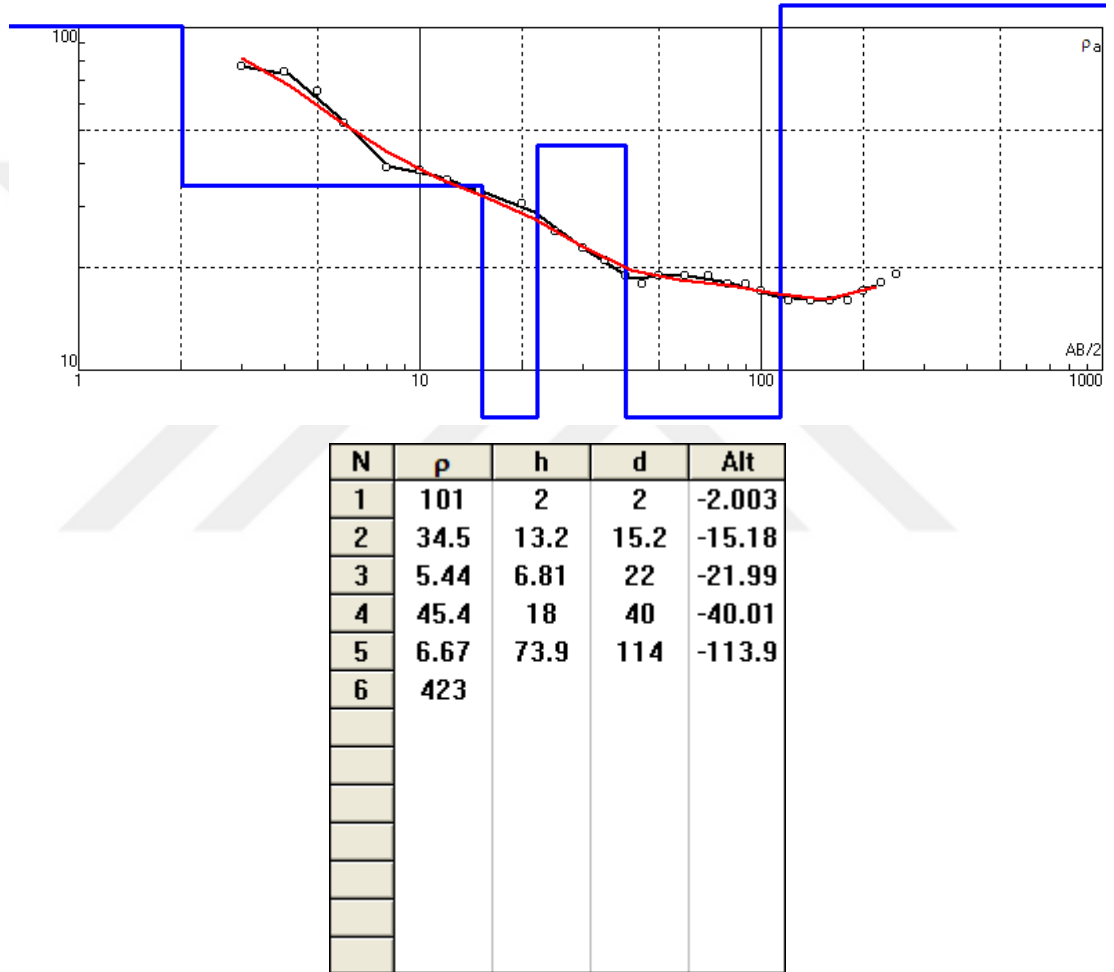
**Şekil 5.6.** DES-5 ölçümü değerlendirme sonuçları.

DES-6 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.7). Yaklaşık 6 m kalınlığında ve yaklaşık 45  $\Omega$ m öz dirence sahip bir örtü katmanı, altında 6.7 m kalınlığında 69  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka, onun altında yaklaşık 17 m kalınlığında ve 38  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka, altında yaklaşık 12 m kalınlığında ve 21  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka, onun altında yaklaşık 40 m kalınlığında iletken bir tabaka (öz direnci 10  $\Omega$ m) ve en altta ise 27  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka vardır.



Şekil 5.7. DES-6 ölçümü değerlendirme sonuçları.

DES-7 ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.8). 2 m kalınlığında ve 101  $\Omega$ m öz direncinde bir örtü tabakası altında 13 m kalınlığında 34  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka, altında 6.8 m kalınlığında 5  $\Omega$ m öz direncinde iletken bir tabaka, altında 18 m kalınlığında ve 45  $\Omega$ m öz direncinde bir tabaka, onun altında 74 m kalınlığında yaklaşık 7  $\Omega$ m öz direncinde iletken bir tabaka ve en alta ise yüksek öz dirençli bir tabaka vardır.



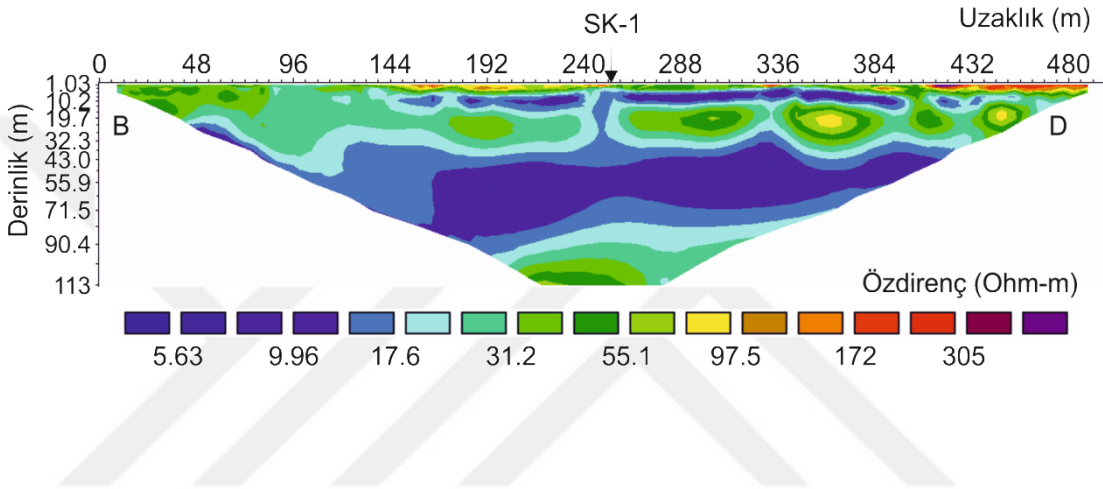
Şekil 5.8. DES-7 ölçümü değerlendirme sonuçları.

### 5.3. ERT Verilerinin Değerlendirilmesi

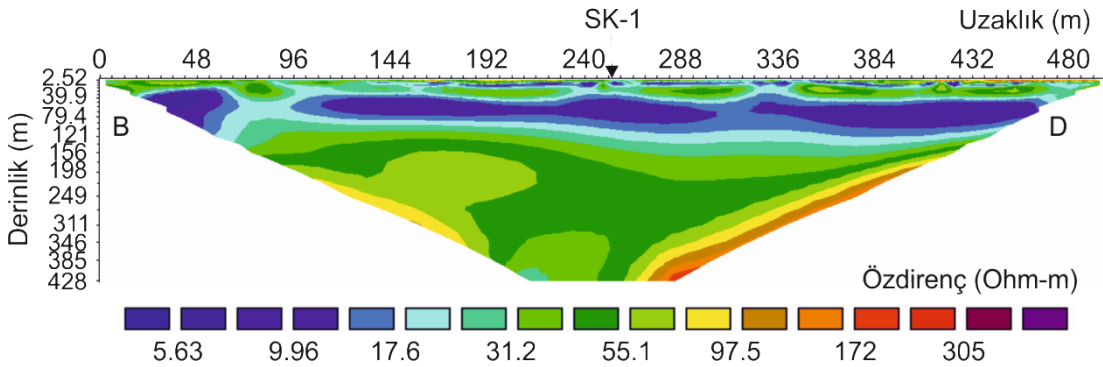
Emirdağ yerleşim alanı kuzeyinde yer alan Karaağaç köyü yakınlarında D-675 karayolunun doğusundaki inceleme alanında 5 profilde elektrik özdirenç tomografi (ERT) ölçümü vardır. Ölçümler için dipol-dipol ve pol-pol elektrot dizilimleri kullanılmıştır. Dizilimlerdeki birim elektrot aralığı 6 m'dir ve 84 elektrotlu çoklu-kablo özdirenç sistemi için profil uzunlukları  $83 \times 6 = 498$  m'dir. 2 profil (ERT-4 ve ERT-5) hariç 3 profilde (ERT-1, ERT-2 ve ERT-3) hem dipol-dipol hem de pol-pol elektrot dizilimlerine göre ölçümler yapılmıştır. Saha ERT verilerinin ters çözümü için Res2Dinv (Geotomo Software) programı kullanılmıştır. Her iki dizilimin araştırma derinlikleri, birim elektrot aralığına, kullanılan "n" seviyesine ve profil uzunluğuna bağlıdır. Saha verilerinin ters çözümlerinden elde edilen gerçek yeraltı özdirenç dağılımlarında veya 2B ERT kesitlerinde en yüksek derinlik, dipol-dipol için 113 m ve pol-pol dizilimi için 428 m'dir. Tüm saha verilerinin ters çözümleri, 3-7 iterasyon aralığında ve %1.37 ile %14.20 karekök ortalama (RMS) hata ile gerçekleşmiştir. Ters çözüm modellerinde hesaplanan özdirençler  $2.89 \Omega\text{m}$  ile  $1083.70 \Omega\text{m}$  arasında değişmektedir. Ancak, ERT kesitlerinin birbiriyle karşılaştırmasını yapmak maksadıyla aynı özdirenç arakılarında çizilmiştir. Saha 2B elektrik özdirenç verilerinin ters çözüm değerlendirme sonuçları Şekil 5.9 ile Şekil 5.13 arasında gösterilmiştir.

ERT-1 profiline ilişkin ERT kesitleri Şekil 5.9'da görülmektedir. Dipol-dipol ERT kesiti (Şekil 5.9a), 4 iterasyon ve %10.73 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç  $2.89 \Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise  $808,16 \Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Pol-pol ERT kesiti (Şekil 5.9b) ise, 4 iterasyon ve %2.69 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç  $6.22 \Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise  $302,53 \Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

a) ERT-1: Dipol-Dipol Dizilimi



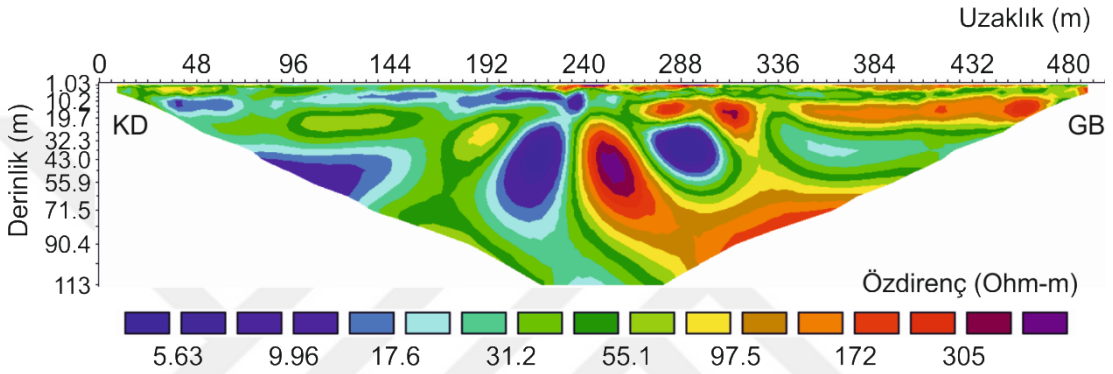
(b) ERT-1: Pol-Pol Dizilimi



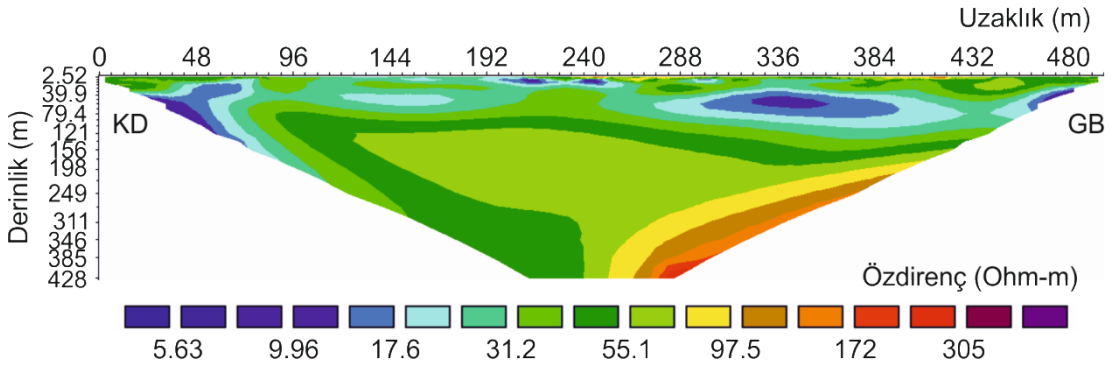
**Şekil 5.9.** ERT-1 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model. (a) Dipol-dipol dizilimi ve (b) pol-pol dizilimi.

ERT-2 profiline ilişkin ERT kesitleri Şekil 5.10'da görülmektedir. Dipol-dipol ERT kesiti (Şekil 5.10a), 4 iterasyon ve %5.44 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 8.16  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 427,79  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Pol-pol ERT kesiti (Şekil 5.10b) ise, 6 iterasyon ve %1.37 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 2.92  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 136,93  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

a) ERT-2: Dipol-Dipol Dizilimi



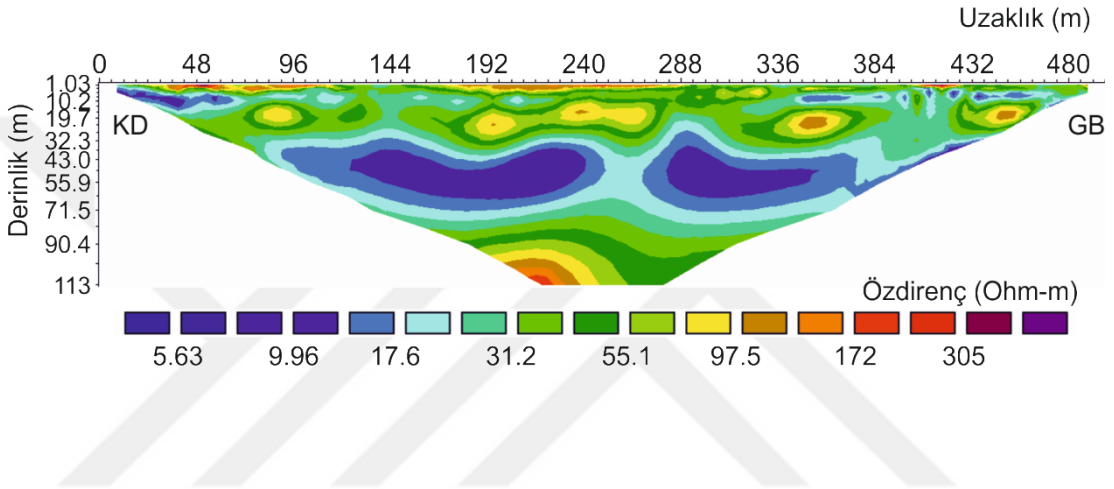
(b) ERT-2: Pol-Pol Dizilimi



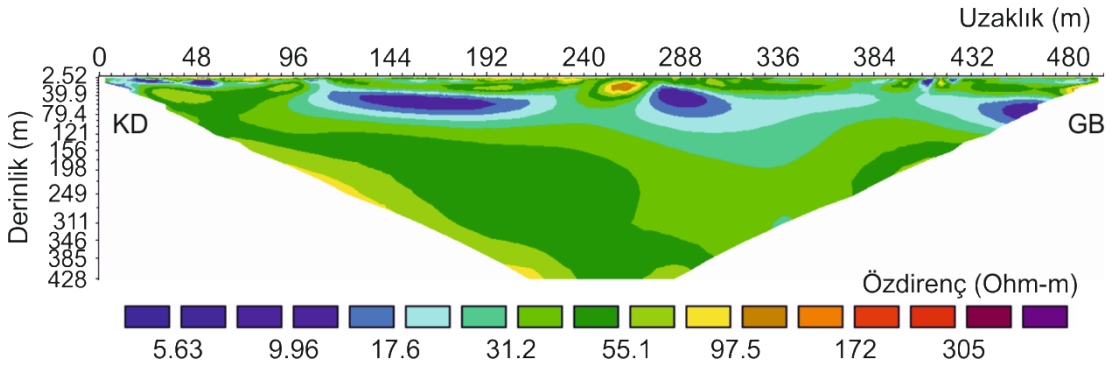
**Şekil 5.10.** ERT-2 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model. (a) Dipol-dipol dizilimi ve (b) pol-pol dizilimi.

ERT-3 profiline ilişkin ERT kesitleri Şekil 5.11’de görülmektedir. Dipol-dipol ERT kesiti (Şekil 5.11a), 3 iterasyon ve %14.20 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 5.99  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 1083,70  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Pol-pol ERT kesiti (Şekil 5.11b) ise, 7 iterasyon ve %1.75 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 3.09  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 202,35  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

a) ERT-3: Dipol-Dipol Dizilimi



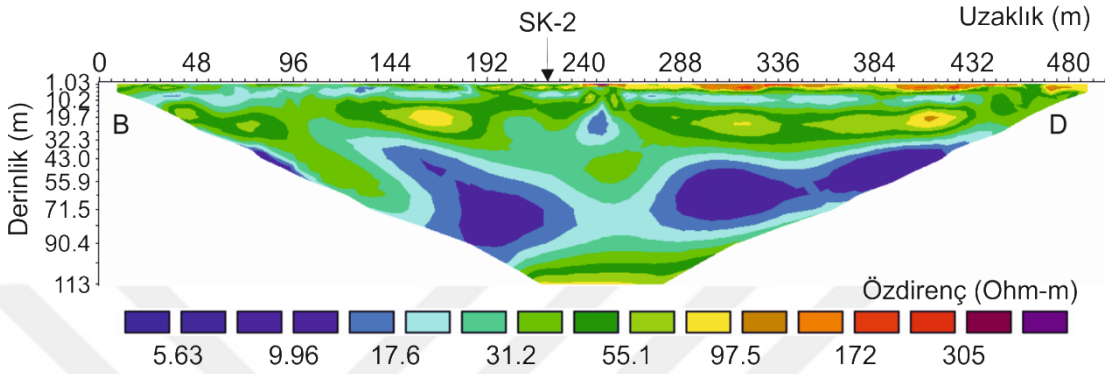
(b) ERT-3: Pol-Pol Dizilimi



**Şekil 5.11.** ERT-3 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model. (a) Dipol-dipol dizilim ve (b) pol-pol dizilimi.

ERT-4 profiline ilişkin ERT kesiti Şekil 5.12’de görülmektedir. Ters çözüm modeli, 5 iterasyon ve %4.96 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 4.49  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 896  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

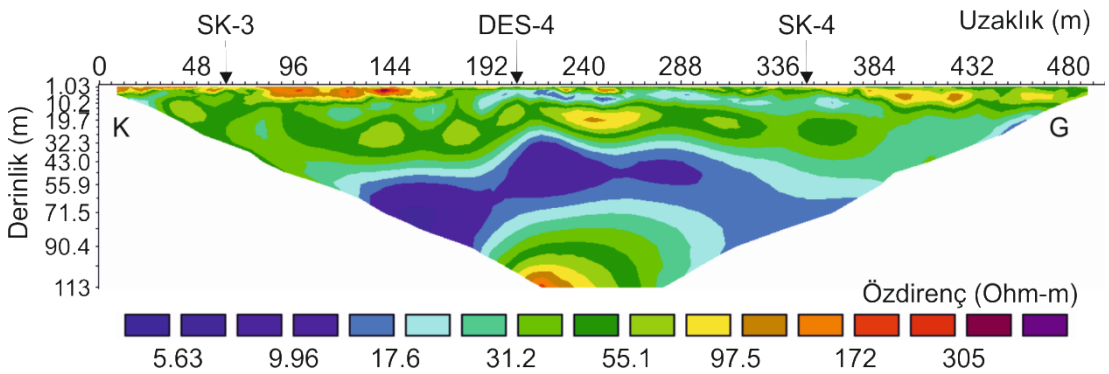
ERT-4: Dipol-Dipol Dizilimi



**Şekil 5.12.** ERT-4 profili boyunca dipol-dipol dizilimi ile ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model.

ERT-5 profiline ilişkin ERT kesiti Şekil 5.13’te görülmektedir. Ters çözüm modeli, 3 iterasyon ve %12.06 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 6.65  $\Omega\text{m}$  ve en yüksek özdirenç ise 423.91  $\Omega\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

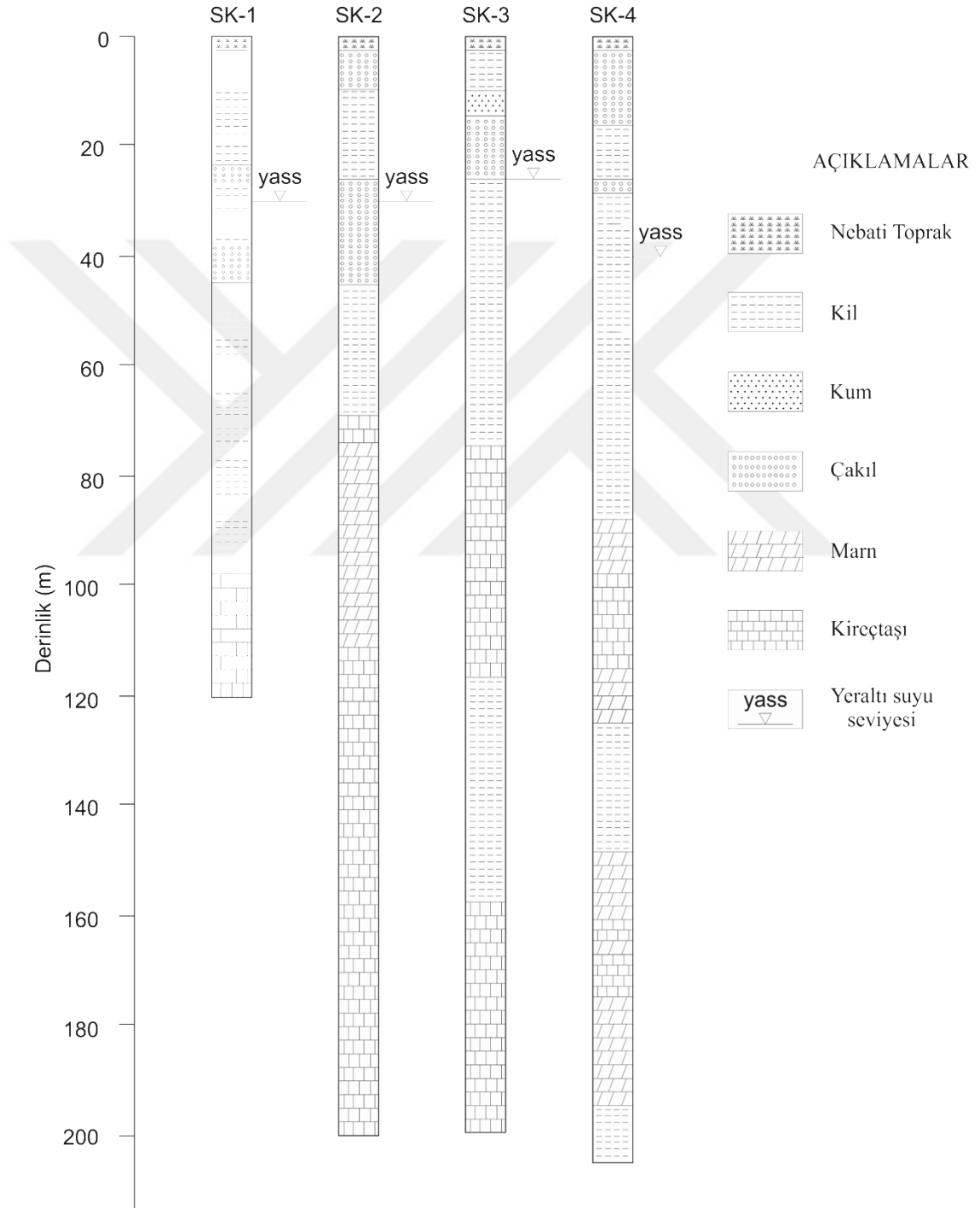
ERT-5: Dipol-Dipol Dizilimi



**Şekil 5.13.** ERT-5 profili boyunca dipol-dipol dizilimi ile ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model.

#### 5.4. Su Amaçlı Sondajların Litolojisi

Çalışma alanında farklı tarihlerde açılmış su sondaj kuyuları mevcuttur. Bunlardan 4 tanesinin (SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4) litolojik bilgileri Şekil 5.14'te verilmektedir.



Şekil 5.14. Su amaçlı açılmış sondajların litolojik bilgileri

SK-1 sondajı 120 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 23 m derinliğe kadar kil tabakası (10 m'lik kısmı az siltli çakıllı ve kalan kısmı ise çakıllı) vardır. Bu tabakanın altında 3 m kalınlığında çakıl tabakası ve altında 37 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası gözlenmiştir. Bu derinlikten sonra 6 m kalınlığında bir çakıl (killi kumlu) tabakası altında 98 m derinliğine kadar kil tabakası (53 m derinliğe kadar olan kısmı az çakıllı, geri kalan kısmı ise yer yer az çakıllı) vardır. Bu tabakanın altında 120 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 35,39 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 59.2 m) ve çakıllı kil ve killi kumlu çakıl sınırına karşılık gelmektedir.

SK-2 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 10 m derinliğe kadar kumlu çakıl tabakası vardır. Bu tabakanın altında 26 m derinliğe kadar kil tabakası ve onun altında 44 m derinliğe kadar uzanan killi çakıl tabakası gözlenmiştir. Bu derinlikten 68 m derinliğine kadar kil tabakası (yer yer az çakıllı) mevcuttur. Bu tabakanın altında 4 m kalınlığında kireçtaşı tabakası altında ise 112 m derinliğine kadar uzanan marn tabakası (83 m derinliğine kadar olan kısmı kireçtaşı bantlı) vardır. Bu tabakanın altında 200 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası (son 20 m olan kısmı marn aralanmalı) görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 35,12 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 58.3 m) ve killi çakıl tabakasına karşılık gelmektedir.

SK-3 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 3 m kalınlığında kil altında 14 m derinliğe kadar uzanan kum tabakası (üstte 3 m'lik kısmı az çakıllı, geri kalanı killi) vardır. Bu tabakanın altında 26 m derinliğe kadar çakıl tabakası (kireçtaşı, kuvars, volkanik elemanlı) altında 75 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası (yer yer kireçtaşı, kilaşı aralanmalı) gözlenmiştir. Bu derinlikten 117 m derinliğine kadar kireçtaşı tabakası mevcuttur. Bu tabakanın altında 158 m derinliğe kadar yer yer kireçtaşı bantlı kil tabakası vardır. Bu tabakanın altında 200 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası (2 m kalınlığında marn bantlı) görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 27,1 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 73.8 m) ve çakıl-kil sınırına karşılık gelmektedir.

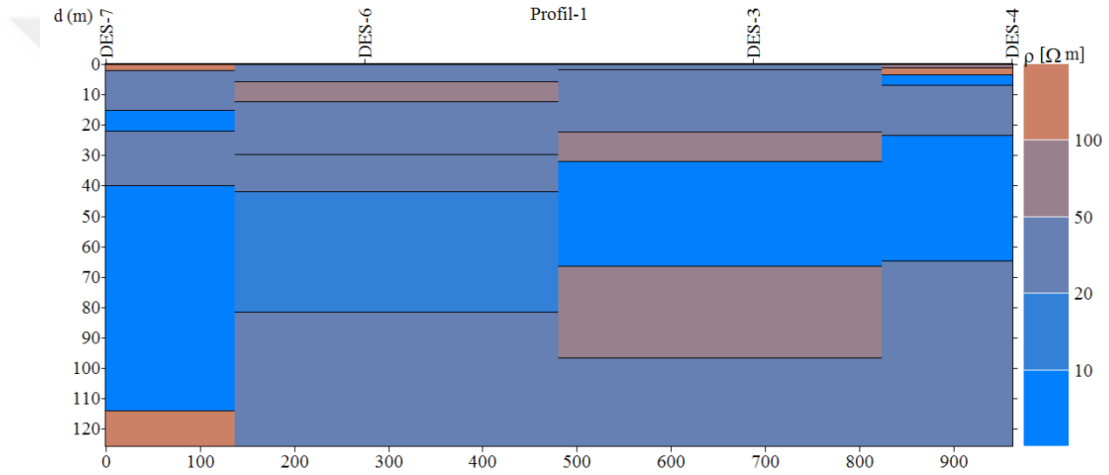
SK-4 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 14 m kalınlığında çakıl tabakası altında 84 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası vardır. Bu tabaka, 24 m derinliğe kadar çakıllı veya az çakıllı olup, 24-26 m derinlik aralığında killi çakıl tabakasından sonra 84 m derinliğe kadar çakıllı, az çakıllı, yer yer çakıllıdır. Bu tabakanın altında 124 m derinliğe kadar marn-kireçtaşı ardalanması gözlenmiştir. Bu derinlikten sonra kil tabakası 147 m derinliğine kadar uzanmaktadır. Bu tabakanın altında 194 m derinliğe kadar yine marn-kireçtaşı ardalanması gözlenmiştir. Onun altında ise 204 m derinliğe kadar kil tabakası görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 37,5 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 82.1 m) ve çakıllı kil tabakasına karşılık gelmektedir.

### **5.5. DES ve ERT Araştırmasından Elde Edilen Bulgular**

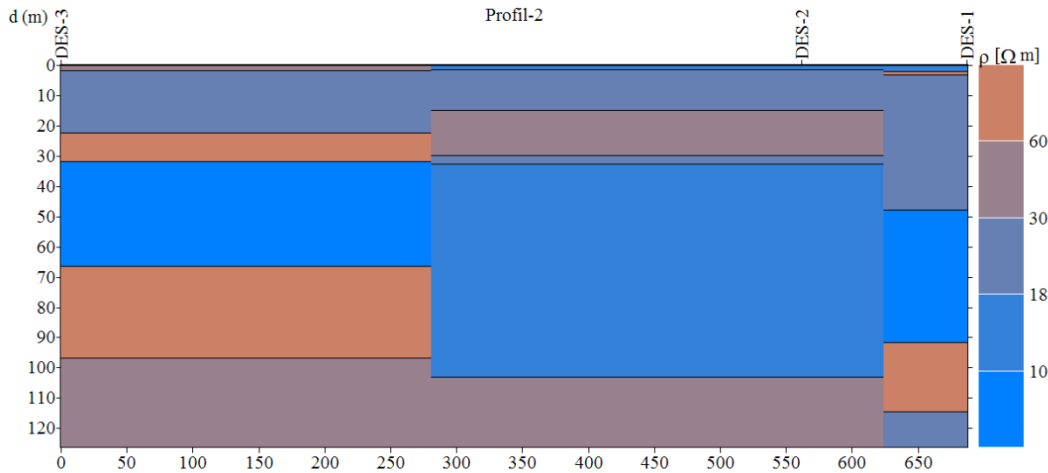
DES ölçüm istasyonlarının aynı doğrultuda olanlarından 2B yer öz direnç kesitleri IPI2Win programından elde edilmiştir. Bunlardan birincisi 4 DES istasyonunu (DES-7, DES-6, DES-3 ve DES-4) kapsamakta olup KB-GD doğrultuludur (Şekil 5.15). Kesitte istasyonlar arasındaki mesafeler soldan sağa sırasıyla 275 m, 412 m ve 275 m'dir. Kesit derinliği ise yaklaşık 125 m'dir. Kesitteki tabakaların jeolojik olarak nitelendirilmesi için DES istasyonlarına yakın mesafede olan SK-3 ve SK-4 sondaj kayıtlarından yararlanılmıştır. Kesite göre, yüzeyden 40 m derinliğe kadar kil, çakıl, kum istifi vardır. Sondajlardan statik yeraltı suyu seviyesi 27-38 m derinlik aralığında yer alan çakıl-kil tabakaları sınırına karşılık gelmektedir. Onun altında ise kesitin sol tarafında 115 m derinliğe kadar ulaşan, orta ve sağ tarafında 70-80 m derinliğe ulaşan kalın bir kil tabakası vardır. Bu tabakanın altında ise marnlı kireçtaşı birimleri vardır. Kuyu geliştirme sonunda dinamik su seviyesi 74-82 m derinliklerinde ve dolayısıyla kireçtaşı birimlerine karşılık gelmektedir. Kesitte de görüldüğü gibi 20  $\Omega$ m öz direncine kadar olan birim kil tabakası, 20-50  $\Omega$ m aralığı killi kumlu çakıllı birimler olup yeraltı suyu bulundurmamakla birlikte daha derindeki kireçtaşı birimlerinin (öz direnci >50  $\Omega$ m) akifer özellikte olduğu açıktır.

İkinci kesit ise, 3 DES istasyonunu (DES-3, DES-2 ve DES-1) kapsamakta olup GB-KD doğrultuludur (Şekil 5.16). Kesitte istasyonlar arasındaki mesafeler

soldan sağa sırasıyla 562 m ve 125 m'dir. Kesit derinliği ise yaklaşık 140 m'dir. Kesitteki tabakaların jeolojik olarak nitelendirilmesi için yine SK-3 ve SK-4 sondaj kayıtlarından yararlanılmıştır. Kesite göre, ortadaki 20  $\Omega$ m öz dirence kadar olan birim kil tabakasına, onun üstünde nispeten daha yüksek öz dirençli birimler kum ve çakıl istifine karşılık gelmektedir. Çakıllı birimlerin yeraltı suyu taşıdığı sondaj kayıtlarından bilinmektedir. Kil tabakasının altında nispeten yüksek öz dirençli bölge (kesitin sağ tarafında 70 m derinlikten sonra) marn ve kireçtaşı birimlerine karşılık geldiği görülmektedir. Sondaj kuyularına göre, kireçtaşı birimlerinin yeraltı suyu bulundurduğu ve dolayısıyla akifer özellikte olduğu açıktır.



**Şekil 5.15.** 4 adet DES 1B öz direnç model verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen KB-GD doğrultulu Profil-1 (bakınız Şekil 5.1) için 2B yer öz direnç kesit



**Şekil 5.16.** 3 adet DES 1B öz direnç model verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen GB-KD doğrultulu Profil-2 (bakınız Şekil 5.1) için 2B yer öz direnç kesiti

ERT araştırmasından elde edilen 2B yer özdirenç kesitleri Şekil 5.9-Şekil 5.13'te verilmiştir. ERT-1, ERT-2 ve ERT-3 profillerinde hem dipol-dipol hem de pol-pol dizilimi için 2B özdirenç kesitler vardır. Pol-pol diziliminden elde edilen ERT kesitleri dipol-dipol dizilim sonuçlarına göre daha derinden bilgi sağladığı için, derin akifer oluşturabilecek jeolojik tabakalar da gözlenmiştir. Dipol-dipol ve pol-pol özdirenç kesitlerindeki uyum açıkça gözlenmektedir (Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11). Dipol-dipol kesitlerinde orta bölgede yaklaşık 30 m ile 85 m derinlik aralığında gözlenen düşük özdirençli bölge (kesitlerde koyu mavi renkli kısım), pol-pol kesitlerinde de net olarak görülmektedir. Pol-pol kesitlerinde bu derinlikten sonra nispeten daha yüksek özdirençli taban kaya gözlenmektedir.

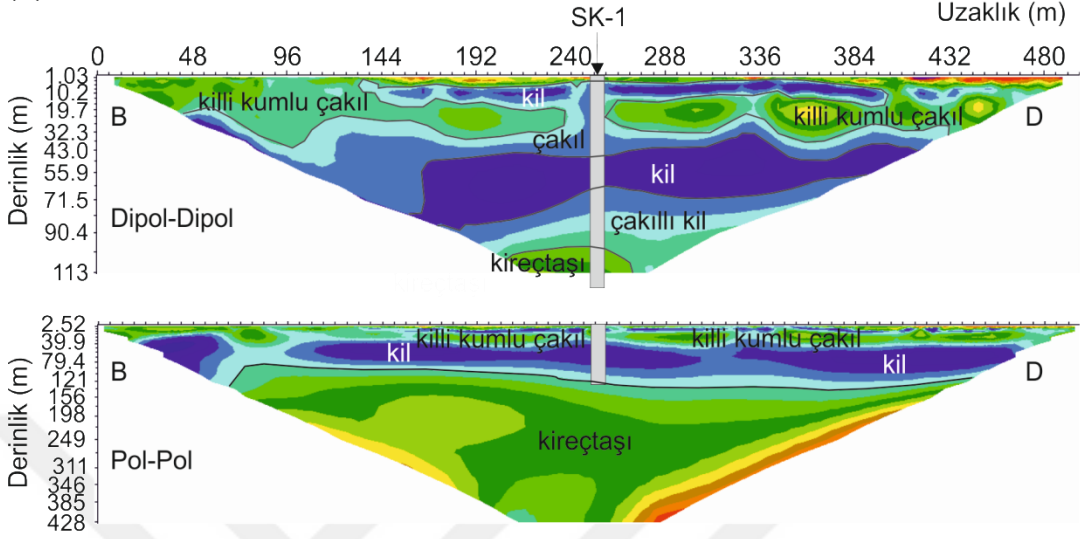
Özdirenç kesitlerinin jeolojik olarak yorumu, sondaj kuyu verileri de dikkate alınarak yapılmıştır. Bu sebeple, özdirenç profillerin üzerinde veya yakınında olan sondaj kuyuları (SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4) verilerine göre ERT-1, ERT-4 ve ERT-5 kesitleri jeolojik olarak yorumlanmıştır (Şekil 5.17).

B-D doğrultulu ERT-1 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölgeler kil, kum, çakıl istifine, altında sarı-yeşil renkli bölgeler çakıl ve yer yer çakıllı kile, onun altında yaklaşık 90 m derinliğe kadar uzanan geniş bir alanı kapsayan mavi renkli bölge kil tabakasına, onun altında ince bir çakıllı kil tabakasına ve kesitlerde en alttaki yeşil-kırmızı bölge kireçtaşı karşılık gelmektedir (Şekil 5.17a). SK-1 sondajına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.

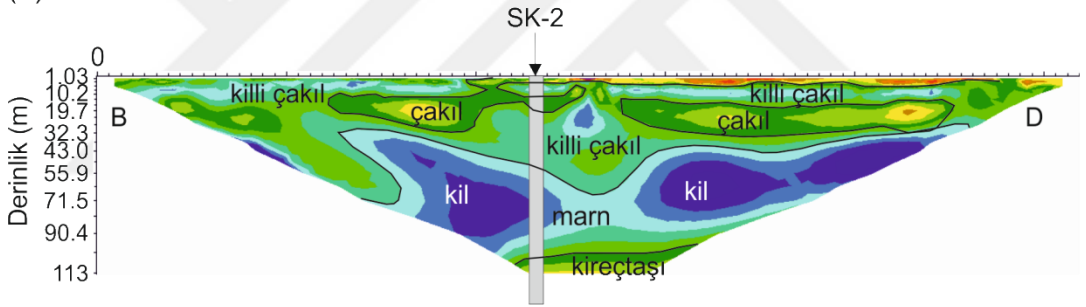
B-D doğrultulu ERT-4 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölge çakıl, kil istifine, kesitin sol ve sağ bölümlerinde yüzeye yakın sarı-yeşil renkli bölgeler killi çakıla, onun altında mercek şeklinde yeşil renkli bölgeler çakıl tabakasına, onun altında 70 m derinliğe kadar uzanan mavi-yeşil renkli bölge killi çakıl tabakasına, kesitin orta kısmında mercek şeklindeki mavi renkli bölgeler kil tabakasına ve onun altında kesitlerde en altta gözlenen yeşil bölge marn-kireçtaşı ar dalanmasına karşılık gelmektedir (Şekil 5.17b). SK-2 sondajına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla,

bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.

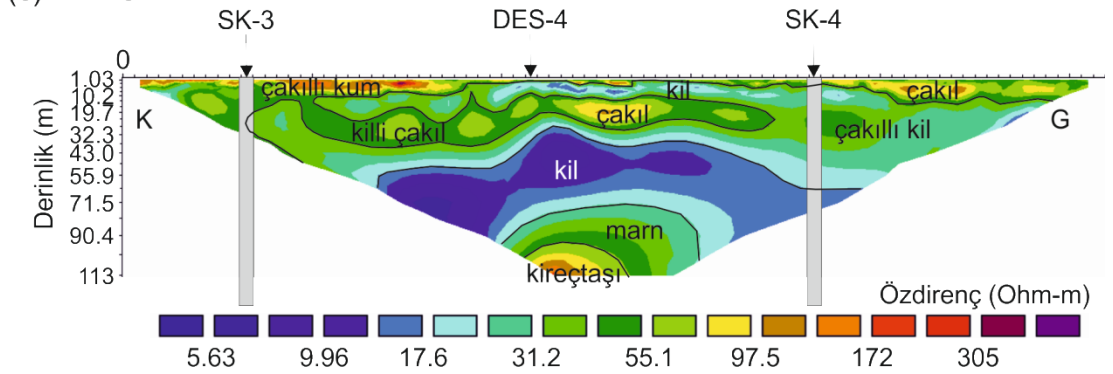
(a) ERT-1



(b) ERT-4



(c) ERT-5



**Şekil 5.17.** D-B doğrultulu ERT-1 (a), ERT-4 (b) ve K-G doğrultulu ERT-5 (c) kesitlerinin jeolojik olarak yorumu.

K-G doğrultulu ERT-5 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölgeler kum, çakıl, kil istifine, altında geniş bir alanı kapsayan mavi-yeşil renkli bölgeler kil ve yer yer çakıllı kile, kesitin orta bölgesinde yeşil-sarı bölgeler çakıl ve killi çakıl tabakasına, altında yaklaşık 85 m derinliğe kadar uzanan mavi renkli bölge kalın bir kil tabakasına ve kesitlerde en alttaki yeşil-kırmızı bölge kireçtaşına karşılık gelmektedir (Şekil 5.17c). SK-3 ve SK-4 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve marn-kireçtaşıdan gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



## 6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Emirdağ-Karaağaç bölgesinde muhtemel yeraltı suyu bulunduran jeolojik yapıların araştırılması için, 2015 ve 2017 yıllarında yapılan iki ayrı araştırmadan DES ve ERT yöntemlerine göre ölçülen veriler değerlendirilmiştir. Bölgede açılmış sondajlardan sağlanan litolojik bilgiler ile elektrik özdirenç araştırma sonuçları yeraltı suyu açısından yorumlanmıştır. Böylece, inceleme alanının muhtemel yeraltı suyu bulunduran akifer yapıların dağılımı belirlenmiştir.

Bu araştırma kapsamında, Emirdağ-Karaağaç bölgesinde 7 noktada düşey elektrik sondajı ölçümü ve 5 profilde elektrik özdirenç tomografi ölçümü ve 4 lokasyonda açılmış sondajlar kullanılmıştır. Her bir yöntem için saha verileri değerlendirilerek yeraltının bir-boyutlu ve iki-boyutlu özdirenç dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Emirdağ Merkez bölgesinde jeolojik istif alttan üste doğru sırasıyla, Mesozoyik yaşlı kireçtaşı; kilitaşı-marn-kireçtaşı ve çakilitaşı ardalanmalı Pliyosen yaşlı gölssel çökeller ile Kuvaterner yaşlı alüvyon vardır. Alüvyon bölgede geniş yayılım göstermektedir. Pliyosen'e ait kireçtaşı, çakilitaşı seviyeleri ile alüvyona ait blok, çakıl ve kum boyutundaki malzemelerin olduğu seviyeler akifer özelliği göstermektedir.

7 istasyonda gerçekleştirilmiş DES araştırmasından elde edilen 1B yer özdirenç modellerinden aynı doğrultuda olanlarından 2B yer özdirenç kesitleri elde edilmiştir. KB-GD doğrultulu olan Profil-1' den elde edilen kesitin jeolojik olarak yorumu için, DES istasyonlarına yakın mesafede olan SK-3 ve SK4 sondaj kayıtlarından yararlanılmıştır. Kesite göre, yüzeyden 40 m derinliğe kadar kil, çakıl, kum istifi vardır. Sondajlardan statik yeraltı suyu seviyesi 27-38 m derinlik aralığında yer alan çakıl-kil tabakaları sınırına karşılık gelmektedir. Onun altında ise kesitin sol tarafında 115 m derinliğe kadar ulaşan, orta ve sağ tarafında 70-80 m derinliğe ulaşan kalın bir kil tabakası vardır. Bu tabakanın altında ise marnlı kireçtaşı birimleri vardır. Kuyu geliştirme sonunda dinamik su seviyesi 74-82 m derinliklerinde ve dolayısıyla kireçtaşı birimlerine karşılık gelmektedir. Kesitte de görüldüğü gibi 20  $\Omega$ m özdirencine kadar olan birim kil

tabakası, 20-50  $\Omega$ m aralığı killi kumlu çakıllı birimler olup yeraltı suyu bulundurmakla birlikte daha derindeki kireçtaşı birimlerinin (özdirenci >50  $\Omega$ m) akifer özellikte olduğu açıktır.

GB-KD doğrultulu olan Profil-2' den elde edilen kesitin jeolojik olarak yorumu için, yine DES istasyonlarına yakın mesafede olan SK-3 ve SK4 sondaj kayıtlarından yararlanılmıştır. Kesite göre, ortadaki 20  $\Omega$ m özdirence kadar olan birim kil tabakasına, onun üstünde nispeten daha yüksek özdirençli birimler kum ve çakıl istifine karşılık gelmektedir. Çakıllı birimlerin yeraltı suyu taşıdığı sondaj kayıtlarından bilinmektedir. Kil tabakasının altında nispeten yüksek özdirençli bölge (kesitin sağ tarafında 70 m derinlikten sonra) marn ve kireçtaşı birimlerine karşılık geldiği görülmektedir. Sondaj kuyularına göre, kireçtaşı birimlerinin yeraltı suyu bulundurduğu ve dolayısıyla akifer özellikte olduğu açıktır.

5 profilde gerçekleştirilmiş ERT araştırmasından üçünde (ERT-1, ERT-2 ve ERT-3) hem dipol-dipol hem de pol-pol dizilimi diğerlerinde ise sadece dipol-dipol dizilimi ile ölçülen veriler değerlendirilip yorumlanmıştır. Pol-pol diziliminden elde edilen ERT kesitleri dipol-dipol dizilim sonuçlarına göre daha derinden bilgi sağlamakta ve dolayısıyla derin akifer oluşturabilecek jeolojik yapılar da gözlenmiştir. Dipol-dipol ve pol-pol özdirenç kesitlerindeki uyum açıkça gözlenmiştir. Dipol-dipol kesitlerinde orta bölgede yaklaşık 30 m ile 85 m derinlik aralığında gözlenen düşük özdirençli bölge (kil tabakası), pol-pol kesitlerinde de net olarak görülmüştür. Pol-pol kesitlerinde bu derinlikten sonra nispeten daha yüksek özdirençli akifer özellikteki kireçtaşı gözlenmiştir.

ERT profillerin üzerinde veya yakınında olan sondaj kuyuları (SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4) verilerine göre ERT-1, ERT-4 ve ERT-5 kesitleri jeolojik olarak yorumlanmıştır. B-D doğrultulu ERT-1 kesitine göre, yüzeyden derine doğru kil, kum, çakıl ardalanması yaklaşık olarak 90 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında kireçtaşı bulunmaktadır. B-D doğrultulu ERT-4 kesitine göre, çakıl, kil ardalanması yaklaşık olarak 70 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında marn-kireçtaşı ardalanmasına vardır. SK-1 ve SK-2 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. K-G doğrultulu ERT-5

kesatine göre, kum, çakıl, kil ardalanması yaklaşık olarak 85 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında kireçtaşı devam etmektedir. SK-3 ve SK-4 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve marn-kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, tüm bu ERT kesitlerinde gözlenmiş çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



## KAYNAKLAR

- Akhtar N., Syakir, M.I., Anees M.T., Qadir A., Yusuff M.S., 2020. Characteristics and Assessment of Groundwater, Groundwater – Chapter, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.93800.
- Akhter, G., Hasan, M., 2016. Determination of aquifer parameters using geoelectrical sounding and pumping test data in Khanewal District, Pakistan. Open Geosci. 8, 630–638.
- Acarlar, M., Güner, E., Turhan, N., 2009. 1:100 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları. No:118 Eskişehir-J26 paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- AGWT, 2020. The abc of aquifers, American Ground Water Trust. [www.agwt.com](http://www.agwt.com). Erişim Tarihi: 26.11.2020).
- Aksever F., 2019. Hydrogeochemical characterization and water quality assessment of springs in the Emirdağ (Afyonkarahisar) basin, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 12: 780, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4942-7>.
- Anon, 1997. Groundwater Storage. co. portage.wi.us, p.1. Available at: <http://www.co.portage.wi.us/groundwater/undrstnd/aquifer.htm>.
- Anudu, G.K., Onuba, L.N., Ufondu, L.S., 2011. Geoelectric sounding for groundwater exploration in the crystalline basement terrain around Onipe and adjoining areas, Southwestern Nigeria. Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation, 1, 343-354.
- Ateş, A., Yeşil, B., 2014. Küçük Melen Çayı yatağı civarında yeraltı suyu akiferlerinin tespitinde düşey elektrik sondaj verilerinin kullanılması: Düzce örneği. SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 4(1), 1-12.
- Apaydin A., 2011. Groundwater legislation in Turkey: problems of conception and application, Water International, 36:3, 314-327, DOI:10.1080/02508060.2011.586750.
- Archie, G.E., 1942. The electrical resistivity logs as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. AIME, 146, 54–62.
- Bala, A.E., Ike, E.C., 2001. The aquifer of the crystalline basement rocks in Gusau Area, North-Western Nigeria. J. Mining Geol. 37 (2), 177–184.
- Barker R., 1981. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. Geophys Prospect 29:128–143.
- Batayneh, A.T., 2010. Mapping Quaternary deposits in the El-Jufr playa (Southwestern Jordan plateau) using geoelectrical techniques:

implications for geology and hydrogeology. Sci. Res. Essays 5 (20), 3183–3192.

Brousse, J.J., 1963. Modern geophysical methods for subsurface water exploration: Geophysics, 28,4, 634-635.

Canlı, H., 2007. Emirdağ havzası ve çevresinde doğal ortam ile insan arasındaki ilişkiler. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 139 sayfa, (yayımlanmamış), Afyonkarahisar.

Clark, L., 1985. Groundwater abstraction from basement complex areas of Africa. Q. J. Eng. Geol. 18, 25–32.

Conant B, Robinson C.E., Hinton M.J., Russell H.A.J., 2019. A framework for conceptualizing groundwater-surface water interactions and identifying potential impacts on water quality, water quantity, and ecosystems. Journal of Hydrology. 574:609-627.

Dahlin, T., 1993. On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications. PhD Thesis. Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden. ISRN: LUTVDG/TVTG1007SE. ISBN 9162810324, 187 pp

Duque, C., Calvache, M.L., Pedrera, A., Martín-Rosales, W., López-Chicano, M., 2008. Combined time domain electromagnetic soundings and gravimetry to determine marine intrusion in a detrital coastal aquifer Southern Spain. J. Hydrol. 349, 536–547.

Edwards, L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization., Geophysics, 42, 1020-1036.

Ewusi A., 2006. Groundwater Exploration and Management using Geophysics : Northern Region of Ghana. Brandenburg Technical University of Cottbus.

Fitterman, D.V., Hoekstra, P., 1984. 'Mapping of Saltwater Intrusion with Transient Electromagnetic Soundings, Proceedings of NWWA/EPA Conference on Surface and Borehole Geophysical Methods in Groundwater Investigation, pp. 429-454.

Fitterman, D.V., Stewart, M.T., 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. Geophysics, 51(4), pp.995–1005.

Fleckenstein J.H., Krause S., Hannah D.M., Boano F., 2010. Groundwater-surface water interactions: New methods and models to improve understanding of processes and dynamics. Advances in Water Resources. 33(11):1291-1295.

- Gnanasundar, D., Elango, L. 1999. Groundwater quality assessment of a coastal aquifer using geo-electrical techniques: *Journal of Environmental Hydrology*, 7, 2.
- Goldman, M., Arad, A., Kafri, U., Gilad, D. and Melloul, A., 1989. Detection of Freshwater/Seawater Interface by the Time Domain Electromagnetic (TDEM) Method in Israel, *Proc. 10th SWIM, Ghent, 1988*, pp. 329-344.
- Günok, E., 1999. Afyonkarahisar'ın ilçelerinin iklim özelliklerinin karşılaştırılması ve sonuçları. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126 s.
- Griffiths, D. H., Barker, R. D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Jones, M.J., 1985. The weathered zone aquifers of the basement complex areas of Africa. *Q. J. Eng. Geol.* 18, 35-46
- Kalisperi D., Soupios P., Kouli M., Barsukov P., Kershaw S., Collins P., Vallianatos F., 2009. Coastal aquifer assessment using geophysical methods (TEM, VES), case study: Northern Crete, Greece, 3rd IASME/WSEAS international conference on geology and seismology (GES '09) Cambridge, UK, 24-26 February 2009
- Keller, G.V., 1987. Rock and mineral properties, in Nabighian, M.N., ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics theory: Tulsa, Okla., Society of Exploration Geophysicists*, 1, 13-51.
- Kirsch, R., 2006. *Groundwater Geophysics: A Tool for Hidrogeology*, Springer, Germany.
- Koefoed, O., 1979. Geosounding principles 1. Resistivity sounding measurements. Vol. 14A in *Methods in Geochemistry and Geophysics*, Elsevier, Amsterdam.
- Kopaçlı, A., Karakılçık, H., 2012. Groundwater Exploration by Using Resistivity Methods Around Yayladağ Village in Hatay, Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 28(1), 65-73
- Kurtuluş, C., Bozkurt, A., 2010. Başiskele-Kocaeli Civarında Yer Altı Suyu Akiferlerinin Tespiti için Jeofizik ve Sondaj Araştırmaları. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 2, 1-9
- Kumar, M., 2011. Exploration of Ground Water Using Electrical Resistivity Method. National Institute of Technology Rourkela.

- Lashkaripour, G.R., 2003. An investigation of groundwater condition by geoelectric resistivity method: a case study in Korin aquifer, Southeast Iran. *J. Spatial Hydrol.* 3(1), 1–5.
- Lashkaripour G.R., Ghafoori M., Dehghani A., 2005. Electrical resistivity survey for predicting Samsor aquifer properties, Southeast Iran. *Geophysical Research Abstracts, European Geosciences Union* 7, 1–5.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996a. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method. *Geophys Prospect* 44, 131–152.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophys Prospect* 44, 499–523.
- Loke, M.H., 2001. Two-dimensional and three-dimensional electrical imaging surveys. <http://www.geoelectrical.com/coursenotes.zip> 1 Eylül 2001.
- Loke, M.H., 2020. Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys. [www.geotomosoft.com](http://www.geotomosoft.com).
- Mario, Z., Joan, B., Rogelio, L., Xavier, M.P., 2011. Electrical methods (VES and ERT) for identifying, mapping and monitoring different salinedomains in a coastal plain region (Alt Emporda, Northern Spain). *J. Hydrol.* 409, 407–422.
- Meriç B.T., Çağırankaya S., 2013. Sulak Alanlar. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı, Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü, Kayıhan Ajans Turizm İnş. San. Tic. Ltd. Şti. Ankara, s:160.
- Mills, T., Hoekstra, P., Blohm, M., Evans, L., 1988. Time Domain Electromagnetic Soundings for Mapping Seawater Intrusion in Monterey County, California, *Ground Water*, 26, 771-782.
- Okumuşer, H.V., 2017. Afyonkarahisar ili 2016 yılı çevre durum raporu, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ÇED ve Çevre İzinlerinden Sorumlu Şube Müdürlüğü, Afyonkarahisar.
- Omosuyi, G.O., 2010. Geoelectric assessment of groundwater prospect an vulnerability of overburden aquifers at Idanre, Southwestern Nigeria. *Ozean J. Appl. Sci.* 3 (1), 19–28
- Olayinka, A.I., Abimbola, A.F., Isibor, R.A., Rafiu, A.R., 1999. A geoelectrical hydrogeochemical investigation of shallow groundwater occurrence in Ibadan, southwestern Nigeria. *Environ. Geol.* 37 (1–2), 31–39.

- Olorunfemi, M.O., Fasuyi S.A., 1993. Aquifer types and the geoelectric hydrogeologic characteristics of parts of the central basement terrain of Nigeria, Niger State: *Journal of African Earth Sciences*, 16(3), 309-317.
- Olorunfemi, M.O., Ojo, J.S., Akintunde, O.M., 1999. Hydrogeophysical evaluation of the groundwater potentials of Akure metropolis, Southwestern Nigeria. *J. Min. Geol.* 35(2), 207-228.
- Oseji J.O., Asokhia M.B., Okolie E.C., 2006. Determination of groundwater potential in Obiaruku and environs using surface geoelectric sounding. *Environmentalist* 26, 301-308
- Öcal, H., Alan, İ., Balcı, V., Keskin, H., 2011. 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası: Afyon-K26 paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Özcan A., Göncüoğlu M.C., Turhan N., Şentürk K., Uysal Ş., Işık A., 1990. Konya-Kadınhan dolayının temel jeolojisi. MTA Rapor No:9535 (yayınlanmamış).
- Özdemir, A., 2008. Çok-elektrotlu Özdirenc Ölçümlerinin Mühendislik Jeolojisi, Çevre ve Yeraltısu Kirliliği Araştırmalarındaki Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Sondaj Dünyası, Sondaj ve Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 7, 11-21.
- Palacky, G.J., 1987. Resistivity characteristics of geologic targets, in Nabighian, M.N., ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics theory*: Tulsa, Okla., Society of Exploration Geophysicists, 1, 53-129.
- Roy, K.K., Elliot, H.M. 1980. 'Resistivity and IP Survey for Delineating Saline Water and Freshwater Zones', *Geoexploration* 18, 145-162.
- Sahu P.C., Sahoo H., 2006. Targeting groundwater in tribal dominated Bonai area of drought-prone Sundargarh District, Orissa, India. A combined geophysical and remote sensing approach. *J Hum Ecol*, 20, 109-115.
- Salako A.O., Adepelumi A.A., 2018. Aquifer, Classification and Characterization, *Aquifers - Matrix and Fluids - Chapter*, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.72692.
- Seidel, K., Lange, G., 2007. Direct current resistivity methods. *Environmental Geology - Handbook of Field Methods and Case Studies*, pp. 205-237.
- Shankar K.R., 1994. Affordable water supply and sanitation. In: *Groundwater exploration 20th WEDC Conference Colombo, Sri Lanka, 1994*, 225-228.
- Somiah, J., 2013. Application of Electromagnetic and Electrical Resistivity Methods in Investigating Groundwater Resources of The Sunyani Municipality in The Brong-Ahafo Region of Ghana. Kwame Nkrumah University of Science and technology, Kumasi.

- Soupios P., Kouli M., Vallianatos F., Vafidis A., Stavroulakis G., 2007. Estimation of aquifer parameters from surficial geophysical methods. A case study of Keritis Basin in Crete. J Hydrol 338, 122–131
- Stampolidis A., Tsourlos P., Soupios P., Mimides T.H., Tsokas G., Vargemezis G., Vafidis A., 2005. Integrated geophysical investigation around the brackish spring of Rina, Kalimnos Isl., SW Greece. J Balk Geophys Soc 8(3), 63–73.
- Stewart, M. T. 1982. 'Evaluation of electromagnetic methods for rapid mapping of saltwater interfaces in coastal aquifers, Ground Water 20, 538-545.
- Umut, M., 2008. 1:100 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları. No:92 Ilgın-K27 paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- USGS, 2020. Aquifers and groundwater, [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov), Erişim tarihi: 24.11.2020.
- Yakar, M., 2009. Emirdağ ilçesi kırsalında göçün etkileri, sorunları ve çözüm önerileri. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 310 sayfa, Afyonkarahisar (yayımlanmamış).
- Zohdy, A.A., Eaton, C.P., Mabey, D.R., 1974. Application of surface geophysics to groundwater investigation. Tech. Water Resources Investigation, Washington, U.S Geological Survey, pp. 2401–2543.
- Wikipedia 2020. Water, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Water>. Erişim Tarihi: 3 Aralık 2020.
- Wirtz, D., 1955. 73/1.2.3.4. Emirdağ ve 74/3 Katrancı paftalarında yapılan jeolojik harita çalışmaları hakkında rapor: M.T.A. Enst. Rap. No: 2363.