

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ESKİDEN İŞLETİLMİŞ MADEN GALERİLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLER
İLE TESPİT EDİLMESİ (GÜMÜŞHANE, KARAMUSTAFA KÖSTÜRELİK
ALANI)**

YÜKSEK LİSANS

Mehmet AVCIL

ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ESKİDEN İŞLETİLMİŞ MADEN GALERİLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLER
İLE TESPİT EDİLMESİ (GÜMÜŞHANE, KARAMUSTAFA KÖSTÜRELİK
ALANI)**

**DETECTION OF FORMERLY OPERATED MINE GALLERIES WITH
GEOPHYSICAL METHODS (GÜMÜŞHANE, KARAMUSTAFA KÖSTÜRELİK
AREA)**

YÜKSEK LİSANS

Mehmet AVCIL

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ESKİDEN İŞLETİLMİŞ MADEN GALERİLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLER
İLE TESPİT EDİLMESİ (GÜMÜŞHANE, KARAMUSTAFA KÖSTÜRELİK
ALANI)**

**DETECTION OF FORMERLY OPERATED MINE GALLERIES WITH
GEOPHYSICAL METHODS (GÜMÜŞHANE, KARAMUSTAFA KÖSTÜRELİK
AREA)**

YÜKSEK LİSANS

Mehmet AVCIL

Danışman: Doç. Dr. Mahmut SARI

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**

KABUL VE ONAY

X X X X

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Eskiden İşletilmiş Maden Galerilerinin Jeofizik Yöntemler ile Tespit Edilmesi (Gümüşhane, Karamustafa Köstürelilik Alanı)**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, baştan sona kadar danışmanlarım Doç. Dr. Mahmut SARI ve Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ sorumluluğunda tamamladığımı, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakça da belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

04/02/2025

Mehmet AVCIL

TEŞEKKÜR

“Eskiden İşletilmiş Maden Galerilerinin Jeofizik Yöntemler ile Tespit Edilmesi (Gümüşhane, Karamustafa Köstürelilik Alanı)” adlı bu bilimsel çalışmada kullanılan veriler gerçek veri olup; Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. maden sahasında Gümüşhane Üniversitesi (G.Ü) Jeofizik Mühendislik bölümü bünyesindeki ekipmanlar ve kendime ait öz direnç cihazım ile alınmıştır.

Bu bilimsel çalışmamın saha araştırmalarından arazi ölçümlerine, veri değerlendirme aşamasından veri analizlerine kadar tüm safhalarda benden bilgi, tecrübe ve yardımını esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç Dr. Mahmut SARI’ya, bize tüm imkanların sağlanması ve sunulması konusunda aynı şekilde bilgi, tecrübe ve yardımını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Sayın Selçuk ALEMDAĞ’a , ayrıca değerli katkılarından ötürü yüksek jeofizik mühendisi Rasim Taylan KARA’ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışmalarında ve arazi ölçümlerinde bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım ve meslektaşım jeofizik yüksek mühendisi Sayın Osman ABANOZ’a ve arazi saha çalışmaları sırasında bize misafirhanesini açan değerli Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. yönetimi ve arazi çalışmaları sırasında destek veren Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. arazi ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmamı süreç boyunca desteğini benden esirgemeyen kıymetli aileme armağan ederim.

Mehmet AVCIL

GÜMÜŞHANE-2025

ÖZET

Önceden işletilmiş eski maden galerilerinin yeniden işletmeye açılmasında olası galeri ve boşluklu yapı unsurlarının tespit edilmesi çok önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında; Yıldız Bakır Madencilik tarafından işletilmesi planlanan Köstürelilik Tepe Mevkii'ndeki yeraltı işletmesi için, daha önceden işletilmiş olan eski maden galerilerinin jeofizik yöntemlerle tespiti yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda jeofizik yöntemlerden; Manyetik, Elektrik Öz direnç Tomografi (EÖT) ve Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümleri alınmıştır. Alınan elektrik ölçümler Res2dinv programı kullanılarak çalışma alanı 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Manyetik yöntemlerden düşey gradyent ölçüm tekniği ile yükseklikleri farklılık gösteren iki sensör ile ölçüm noktalarının her birinde yer manyetik alanın toplam bileşeni ölçülmeye çalışılarak 70,9 nT/m ile -96,2nT/m aralığında değişen granyent ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerde (-30nT/m ile -90nT/m aralığında) negatif değer veren bölgelerin boşluklu yapı unsurlarını karakterize ettiği ve boşluklu yapılarda derine açılmış çukurların, geniş ama sığ derinliklerde bulunanlara göre daha güçlü anomaliler ürettiği gözlemlenmiştir. EÖT ve DES ölçümleri alınarak alanının boşluklu yapı unsurlarının düşey ve yanal yöndeki süreklilik durumları ve yönelimleri belirlenmiştir. EÖT kesitlerinde yüksek öz direnç değerlerine sahip (5000-23000 Ohm.m aralığında değişen) alanların inceleme alandan alınan yakın sondaj verisiyle karşılaştırıldığında boşluklu yapı unsurlarını karakterize ettiği belirlenmiştir. Eskiden ilkel yöntemler ile açılan galerilerin tekrar jeofizik yöntemlerle tespit edilip, günümüz koşullarında yeniden işletilmesi planlanan bu işletme için ön bir galeri boşluk modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maden ocağı, Galeri boşlukları, Jeofizik yöntemler

SUMMARY

Identifying potential gallery and cavity structural features is crucial in the reopening of previously operating old mine galleries. In this thesis study; For the underground operation in Köstürelilik Tepe Locality planned to be operated by Yıldız Bakır Mining, the old mine galleries that were previously operated were determined by geophysical methods. To achieve this objective, geophysical techniques including Magnetic, Electrical Resistivity Tomography (ERT), and Vertical Electrical Sounding (VES) measurements were employed. The electrical measurements taken were modeled in 2 dimensions using Res2dinv and Mapinfo computer programs. Employing the vertical gradient measuring approach from magnetic techniques, two receivers positioned at varying elevations were utilised to assess the entire component of the terrestrial magnetic field at each measurement location, yielding gradient readings between 70,9 nT/m and -96,2nT/m. In these measurements (-30nT/m and -90nT/m) it was observed that the regions giving negative anomalies characterize the elements of the porous structure and that the deep holes in the porous structures produce stronger anomalies than those found at wide but shallow depths. By taking ERT and VES measurements, the vertical and lateral continuity and orientations of the hollow structure elements of the area were determined. It has been determined that areas with high resistivity values (ranging between 5000-23000 Ohm.m) are associated with drilling data and characterize those with high voids where galleries or ore are extracted. A preliminary gallery cavity model has been developed for this operation, which is planned to be operated again under current conditions by detecting the galleries that were previously opened with primitive methods using geophysical methods.

Keywords: Mine, Gallery cavities, Geophysical methods

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
EKLER DİZİNİ	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1.GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2.İNCELEME ALANI JEOLJİSİ.....	2
1.3. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	6
2.KULLANILAN YÖNTEMLER.....	9
2.1.Manyetik Yöntem	9
2.1.1.Düşey Gradyometre Tekniği.....	10
2.2.Elektrik Yöntem.....	14
2.2.1.Düşey Elektrik Sondaj	14
2.2.2.Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntemi (EÖT)	19
3.YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	23
3.1.MANYETİK ÇALIŞMALAR.....	24
3.2.ELEKTRİK ÖZDİRENÇ TOMOGRAFİ /EÖT) ÇALIŞMALARI.....	27
3.3.DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJ (DES) ÇALIŞMALARI	31
3.4.SONDAJ ÇALIŞMASI	37
4.VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	38
5.SONUÇLAR.....	44
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası, (Google Earth,2022).....	2
Şekil 2. Genel jeoloji haritası (Güven, 1993; Aydınçakır, 2013 ve Akaryalı, 2016)	5
Şekil 3.Düşey manyetik gradyometre yönteminde sensör geometrileri ve arazide ölçü alımı (Arısoy ve Kaya, 2014).	11
Şekil 4.Düşey manyetik gradyometre yönteminde sensör aralıkları (a) 0.5m sensör aralığı, (b) 1m sensör aralığı, (c) 1.5m sensör aralığı (Arısoy ve Kaya, 2014).13	
Şekil 5.Schlumberger - Wenner diziliminin veri noktalarıyla şematik gösterimi (Goldman and Neubauer,1993).	15
Şekil 6.Düşey elektrik sondaj yöntemi şematik gösterimi (DSİ, Devlet Su İşleri, Jeoteknik Hizmetler Dairesi, 2012).	16
Şekil 7. Schlumberger ölçüm tekniği arazi dizilimi gösterimi	17
Şekil 8.Winglink programıyla değerlendirilen, Schlumberger ölçüm tekniği ile arazi diziliminden elde edilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) görünür öz direnç eğrisi gösterimi	18
Şekil 9.Winglink programıyla değerlendirilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) görünür öz direnç eğrisinden ters çözüm yapılarak gerçek öz direnç değerlerinden elde edilen tabaka sınırları gösterimi	18
Şekil 10.Elektrik öz direnç tomografi yöntemi elektrot dizilimleri (Griffiths and Barker, 1993).	20
Şekil 11. Elektrik öz direnç tomografi yöntemi (ABEM, 2006).	21
Şekil 12.İnceleme alanında alınan elektrik öz direnç ölçümlerinin konumları, hatların gösterimi, manyetik ölçüm sonuçları ve sondaj noktası konumları	24
Şekil 13. İnceleme alan sınırları içerisindeki ölçüm noktaları üzerinde olan manyetik harita	25
Şekil 14. İnceleme alanı sınırları içerisindeki manyetik ölçüm arazi çalışmaları	26
Şekil 15. İnceleme alanı sınırları içerisindeki yapılmış EÖT ölçüm arazi çalışmaları...	28
Şekil 16. İnceleme alanından alınan 2-boyutlu EÖT kesitleri	30
Şekil 17.İnceleme alanı sınırları içerisindeki 4 elektrot öz direnç cihazı kullanılarak yapılmış des ölçüm arazi çalışmaları	31
Şekil 18.DES 1 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	32
Şekil 19.DES 2 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	32

Şekil 20.DES 3 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	33
Şekil 21.DES 4 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	33
Şekil 22.DES 5 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	34
Şekil 23.DES 6 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	34
Şekil 24.DES 7 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	35
Şekil 25.DES 8 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	35
Şekil 26.DES 9 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	36
Şekil 27.DES 10 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	36
Şekil 28.DES 11 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti	37
Şekil 29. İnceleme alanı alınan sondaj işlemleri ve karot numune örnekleri	37
Şekil 30. İnceleme alanı ölçeksiz yorumlanmış EÖT hatları	40
Şekil 31. P1 hattı derinlikle değişen öz direnç değerleri	41
Şekil 32. P2 hattı derinlikle değişen öz direnç değerleri	41
Şekil 33. P3 hattı derinlikle değişen öz direnç değerleri	42
Şekil 34. P4 hattı derinlikle değişen öz direnç değerleri	42
Şekil 35. İnceleme alanı olası galeri alanları tespit modeli	43

EKLER DİZİNİ

Ek 1. Gümüşhane İl Sınırları İçerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Hizmet Binası Ve Arazi İnceleme Alanı Fotoğrafları	55
Ek 2. Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. araştırma alanının elektrik yöntem arazi verileri	59
Ek 3. Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. araştırma alanının sondaj karotları	80



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EÖT	: Elektrik Özdirenç Tomografi
DES	: Düşey Elektrik Sondaj
DC	: Doğru Akım
∂T	: Toplam Manyetik Alan
∂h	: Toplam Uzaklık
Δh	: Sensörler Arası Uzaklık
T_{alt}	: Alt Sensör İle Ölçülen Toplam Manyetik Alan Değeri
$T_{üst}$	: Üst Sensör İle Ölçülen Toplam Manyetik Alan Değeri
ρ	: Özdirenç
ΔV	: Yerde Oluşan Gerilim Farkı
I	: Yere Gönderilen Akım
L	: Özdirenç Değerine Sahip Bir Telin Boyu
R	: Yerin Direnci
A	: Yüzey Alanı
J	: Akım Yoğunluğu
Ohm.m	: Elektrik Özdirenç Birimi
nT/m	: Manyetik Ölçü Birimi

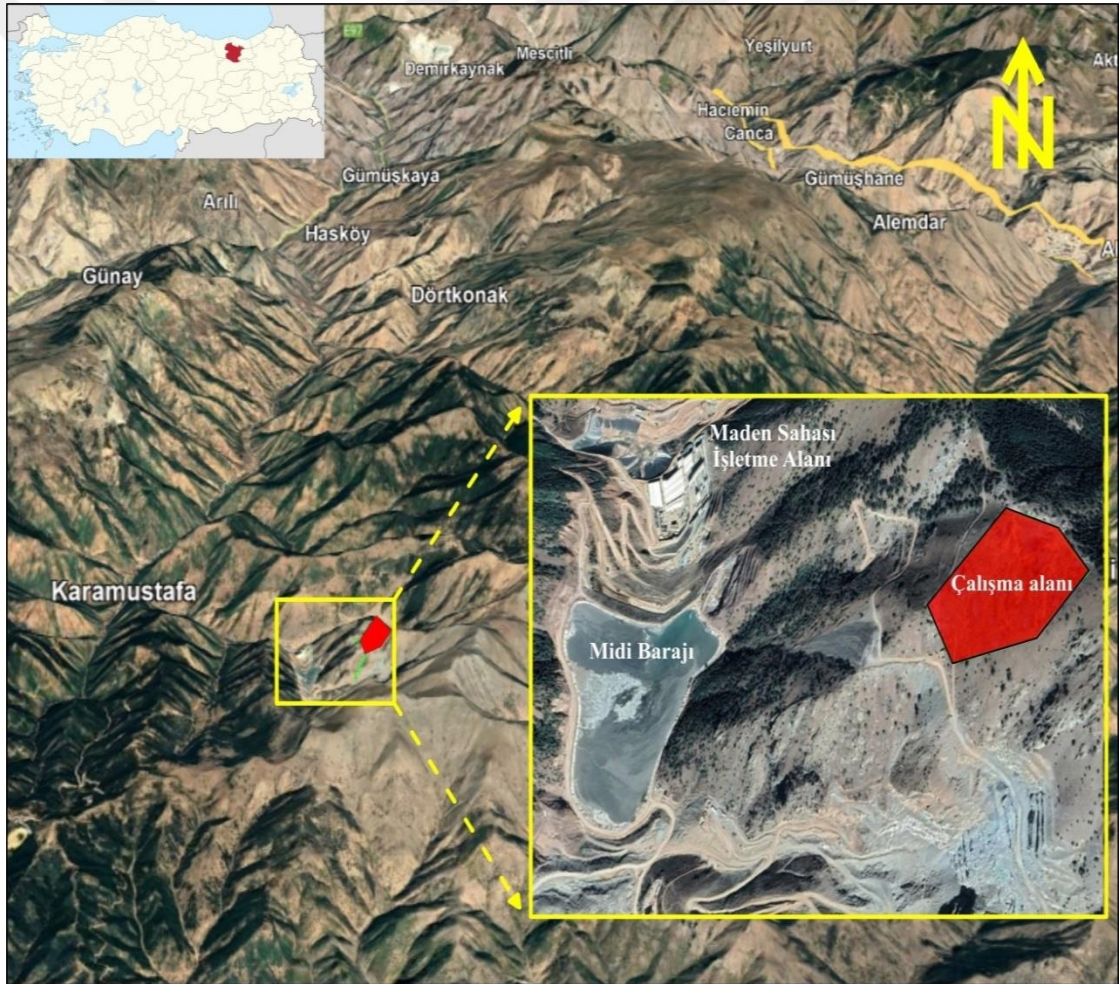
1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Maden galerileri, görünür girişleri olan, yer altı yolu olarak maden ocaklarının içinde açılan yapı lar olarakta tanımlanırlar. Maden galerilerinin aktif kısımlarına erişim sağlayan geçitler sayesinde yapay olarak açılan shaftlar ve kazma işleri yoluyla yeraltındaki galerilere erişimler sağlanmaktadır (Ford ve Williams, 2007). Eskiden ilkel yöntemler ile açılan galerilerin tekrar jeofizik yöntemlerle tespit edilip, işletme yönteminin açık ocak veya yeraltı işletmesi olarak planlanmasında, jeofizik araştırmalar önemli bir yer tutmaktadır. Sığ ve derin yeraltı çalışmalarda mühendislik özelliklerinin ortaya koyulmasında jeofizik yöntemler etkilidir. Yeraltının jeolojik özellikleri, boşluklu yapı unsurları doğrudan galeri, yarma ve sondaj kuyusu tespit edilebilmekte olup jeofizik yöntemlerin maliyetinin diğer yöntemlere göre ucuz, hızlı ve inceleme alanının tamamını kapsayacak şekilde ölçüm alınabilir olması sebebiyle maden sahalarında etkin bir mühendislik çözümleri sunar (El-Qady vd., 2005; Piro vd., 2001; Chamberlain vd., 2000; Gibson vd., 2004; Leucci ve De Giorgi, 2005; Styles vd., 2005). Maden sahalarında galeri boşluklarının belirlenmesinde Elektrik Öz direnç Tomografi (EÖT), Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve yer radarı yöntemleri başlıca kullanılan yöntemlerdendir (Boucher vd., 2006; Fasani vd., 2013; Park vd., 2014; Maties ve Almeida, 2017; Hussain vd., 2020; Almad vd., 2022; Konate vd., 2023; Konate vd., 2024). Manyetik Yöntemler boşluklu yapılarda güçlü anomaliler ürettiği gözlemlenmektedir (Henderson ve Zietz, 1949; Affleck, 1958; Barongo, 1985; Belshe, 1957; Akçığ ve Pınar, 1995; Mochales vd., 2008). EÖT ve DES ölçümleri ile ölçüm alanının düşey ve yanal yöndeki süreklilik durumları ve yönelimleri detaylı bir şekilde belirlenmektedir (Barker, 1981; Griffiths ve Turnbull, 1985; Aristodemou ve Thomas-Betts, 2000; Abu-Zeid, 2004; Revil vd., 2004; Van Overmeeren ve Ritsema, 1988; Binley vd., 2002; Gourry ve Moldoveanu, 1997; Özdemir ve Palabıyık, 2019).

Bu çalışma kapsamında, Gümüşhane ili Karamustafa mevkiinde bulunan maden işletmesinde daha önceden işletilmiş eski galerilerin bulunduğu sahada jeofizik ölçümler kullanılarak galeri boşlukları tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 1). Bu amaç doğrultusunda jeofizik yöntemlerden; Düşey Gradyent ölçüm tekniği, Elektrik Öz direnç Tomografi (EÖT) ve Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümleri alınmıştır. Alınan elektrik ölçümlerde Res2dinv bilgisayar programı kullanılarak çalışma alanı 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Manyetik yöntemlerden düşey gradyent ölçüm tekniği

kullanıp iki sensör ile ölçüm noktalarının her birinde yer manyetik alanın toplam bileşeni ölçülmüştür. Bu yöntem ile boşluklu yapılarda derine açılmış çukurların, geniş ama sığ derinliklerde bulunanlara göre daha güçlü anomaliler ürettiği gözlemlenmiştir. Manyetik ölçüm sonuçları uydu görüntüsü ile entegre olacak şekilde kriging enterpolasyon yöntemiyle gridlendirilerek gösterilmiştir. EÖT ve DES ölçümleri ile alanın düşey ve yanal yöndeki süreklilik durumları ve yönelimleri belirlenmiştir. Yüksek öz direnç değerlerine sahip (5000-100000 Ohm.m aralığında değişen) alanların sondaj verileriyle ilişkilendirilip yer yer açılmış galeriler ve yüksek boşluklu alanları karakterize ettiği tespit edilmiştir. Eskiden ilkel yöntemler ile açılan galerilerin tekrar jeofizik yöntemlerle tespit edilip, günümüz koşullarında yeniden işletilmesi planlanan bu işletme için ön galeri boşluk modeli geliştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası, (Google Earth,2022)

1.2.İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı çok engebeli bir yapıya sahip olup en düşük yükselti 1460 mt yükseklikteki Karamustafa Köyüdür. KD-GB doğrultusunda uzanan Tersun Dağları çalışma alanının güney sınırında yer almaktadır. Çalışma alanı akarsu ağı bakımından

çok zengin olup en önemli akarsuları Tersun Geçidi Garden Tepe'den itibaren Kuzey'e doğru akan pek çok yan koldan beslenen Karamustafa Dere ile Garden Tepe'den Güney'e Şiran yönüne akan Tersun Dere oluşturmaktadır. Çalışma alanı Gümüşhane ili'nin yaklaşık 12,0 km batısında Hasköy, Karamustafa, Boyluca ve Kurtoğlu Köylerinde içlerinde olduğu 1/25000 ölçekli topoğrafik haritasının Trabzon H42-b4 ve H42-b3 paftalarının yaklaşık 60.000 m² lik alanını kapsamaktadır. Madenin bulunduğu Karamustafa ve Midi Mahallesi'nin Gümüşhane'ye uzaklığı 60 km'dir. Çalışma sahasına Trabzon – Gümüşhane karayolunun İkisü Mevkii Şiran yol ayrımından itibaren 30 km asfalt ile Hasköy'e ve buradan 12 km'lik bir stabilize yolla Karamustafa köyüne ulaşılmaktadır (Lermi, 2003).

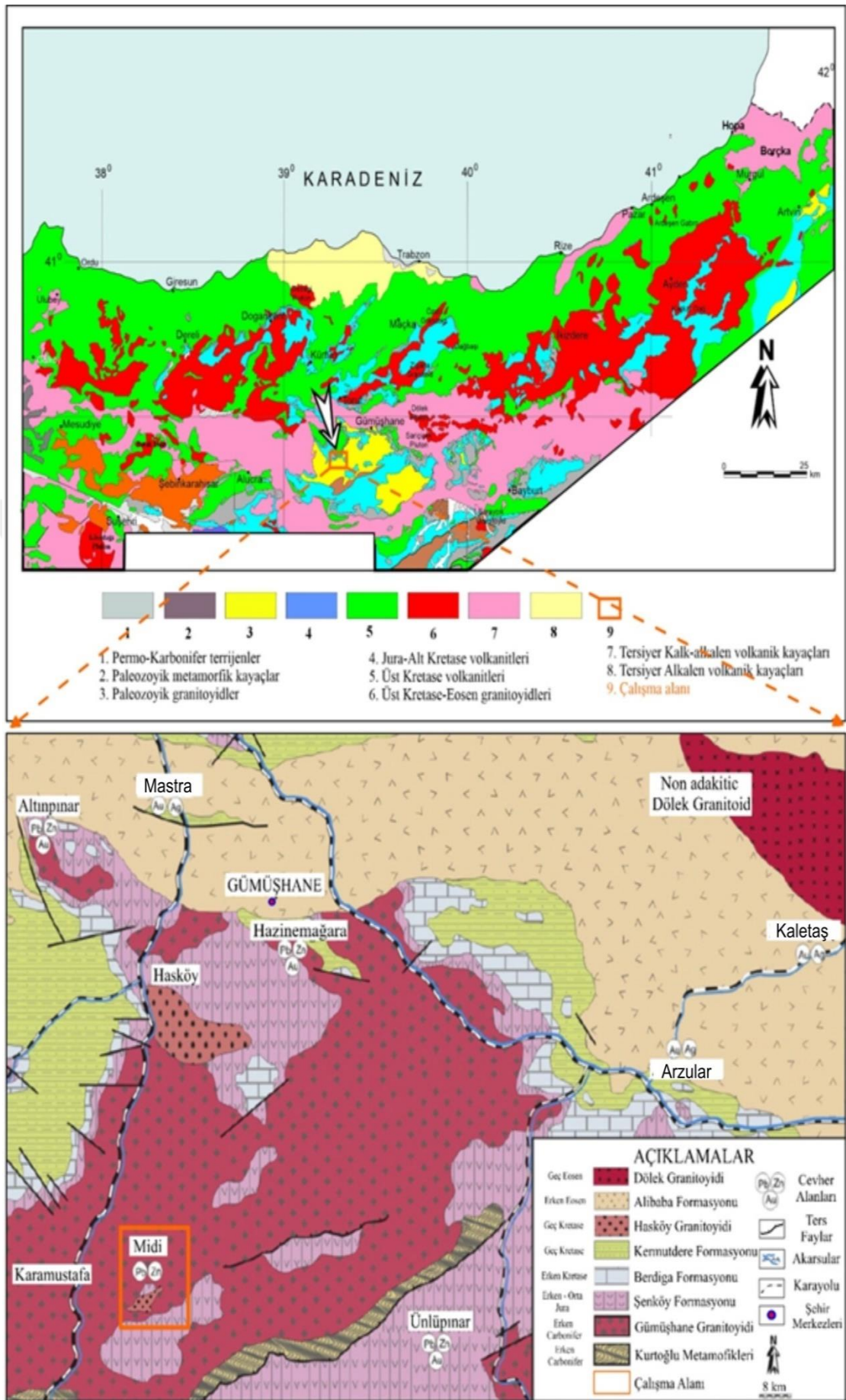
Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontidler Geç Mesozoyik'ten erken Senozoyik'e kadar olan tektonik ortamı ifade etmektedir (Kaygusuz vd., 2006; Karlı vd., 2010; Saydam Eker vd., 2012; Aslan vd., 2014; Sipahi vd., 2014; Aydınçakır, 2014; Temizel vd., 2016; Gücer vd., 2017; Yücel vd., 2017).

Köstürelilik Tepe inceleme sahasında ise, yer alan en yaşlı kayaçları Paleozoyik yaşlı Gümüşhane granitleri oluşturur. Bu kayaçlar sahanın kuzey kesimlerinde yüzeylenirler. Sahanın güney bölümünde Liyas yaşlı Hamurkesen formasyonu bir taban konglomerasıyla granitlerin üzerinde yer alırlar. Bu kayaçlar andezit-bazalt lav ve piroklastlardan oluşurlar. Midi maden cevherleşmesi bu kayaçlar içinde yer almaktadır. Cevherleşme hidrotermal damar tip Zn-Pb cevherleşmesi şeklinde gelişmiştir. Sahanın kuzey kesimlerinde az bir alanda, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga kireçtaşları yer alır (Akın, 2018). Kösterelik Tepe civarında yaklaşık doğu-batı uzanımlı bir andezitik dayk mevcuttur (Şekil-2).

Ayrıca Gümüşhane granitoyidi en yaşlı birim olarak Orta-Geç Karbonifer yaşta Doğu Pontidler içinde yer alır (Vural vd., 2019; Vural ve Erdoğan, 2014; Vural ve Kaygusuz, 2019; Yılmaz, 1972). Erken - Orta Jura yaşta olan volkanotortul karakterdeki birim Gümüşhane granitoyidi üzerine uyumsuz olarak yerleşim göstermiştir. Şenköy formasyonu (Yılmaz ve Kandemir, 2002) Berdiga formasyonu dereceli olarak daha üst kesime yerleşmiş kireçtaşlarından oluşmuş ve Geç Jura-Erken Kretase yaşlıdır (Pelin, 1977). Bazı bölgelerde ise volkani-klastik birimler tarafından kesilen Geç Kretase klastik Kireçtaşı birimler bulunur. Kermutdere formasyonu bu bölgedeki birimleri temsil eder. (Tokel, 1972). Bölgenin değişik kesimlerinde Eosen yaşlı Alibaba formasyonu uyumsuzlukla belirgin hale gelen tortul ve volkanik kayalardan oluşmuştur (Tokel, 1972; Vural ve Erşen, 2013; Vural ve Erşen, 2019). Kalk-alkalin granitik kayaçlar tarafından Eosen yaşlı Alibaba formasyonu değişik

bölgelerde kesilmektedir (Karsli vd., 2013; Vural vd., 2014, 2017, 2018, 2020; Kaygusuz vd., 2020; Vural ve Kaygusuz, 2021). Kuvaterner yaşlı alüvyon ve travertenler bölgenin en genç birimleridir (Vural vd., 2019).





Şekil 2. Genel jeoloji haritası (Güven, 1993; Aydınçakır, 2013 ve Akaryalı, 2016)

1.3. Literatür İncelemesi

Açık ya da kapalı birçok maden galerisinde yeraltı özelliklerini belirlemek amacıyla jeofizik yöntemlerden faydalanılmaktadır. Literatür çalışmalarını incelediğimizde manyetik yöntem, EÖT ve DES gibi jeofizik yöntemler maden sahalarında etkin kullanılmaktadır.

(Bharti vd., 2022) çalışmalarında, Hindistan'da bulunan madende jeofizik yöntemleri kullanarak eskiden işletilmiş gizli galerilerin yerlerini tespit etmişlerdir. Elektrik öz direnç tomografi yöntemini kullanarak Wenner - Schlumberger ve dipol-dipol dizilimleri ile maden galerini 2 boyutlu olarak görüntülemişlerdir. 4000 – 8000 ohm.m arasında değişen öz direnç değeri elde etmişlerdir.

(Srivastava vd., 2020) çalışmalarında, Hindistan'da Chanch/Victoria Bölgesindeki kömür madenindeki galerin yerini, derinliğini ve yönelimini tespit etmişlerdir. Jeofizik yöntemlerden Doğal Potansiyel (SP) ve Elektrik Öz direnç Tomografi yöntemi (EÖT) yöntemlerini kullanarak galeri tespit etmişlerdir. 0 – 150 ohm.m düşük öz dirence sahip suya doymuş malzeme ile dolu olan galerileri belirlemişlerdir.

(Bharti vd., 2017) çalışmalarında, Hindistan'daki Jharia önceden işletilmiş kömür sahasındaki gizli galeriler, şaftlar vb. yapıların gelecekteki maden geliştirme çalışmaları için büyük tehdit oluşturabileceğinden dolayı ileride göçük gibi olumsuzlukların yaşanmasını önlemek için gizli kalmış eski maden galerilerinin tespitini Elektrik Öz direnç Tomografi yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Suya doymuş malzemeden kaynaklı 24 – 254 ohm.m arasında düşük öz direnç değeri veren alanları maden galerisi olarak yorumlamışlardır.

(Maillol vd., 1999) çalışmalarında, Batı Bengal'de terk edilmiş kömür maden sahasında yaklaşık 50 m veya daha az sığ bir örtü altında çalışan yeraltı maden ocağındaki eski işletilmiş galerilerin yeri, derinliği ve uzunluğunu Elektrik Öz direnç Tomografi (EÖT) yöntemiyle tespit etmişlerdir. 42 – 87 ohm.m öz direnç değerine sahip alanlar suya doymuş malzeme ile dolu olan galerileri karakterize ederken, 795 ohm.m öz direnç değerinden büyük alanların ise içi hava ile dolu galeriler olduğunu ortaya koymuşlardır.

(Wilkinson vd., 2005) çalışmalarında, eskiden işletilmiş maden galerilerinin Doğal Potansiyel (SP) yöntemi ve Elektrik Öz direnç Tomografi (EÖT) yöntemi ile tespitini yapmışlardır. Eski maden galerilerini karakterize eden -650 mV değerinde düşük SP ölçümü ve 34.000 ohm.m değerinde yüksek öz direnç değeri elde etmişlerdir.

(Bharti vd., 2016) çalışmalarında, Hindistan'ın Jharia kömür sahası ve

evresinde çok fazla olan yeraltı maden galerilerinin haritalanması, Patherdih maden ocağındaki eski galerilerin jeofizik yöntemlerden Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) yöntemiyle araştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Amaç çevrede oluşabilecek olan çökmelere karşı bu araştırma sayesinde yeni önlemler alabilmektir. Yapılan çalışmada elde ettikleri sonuç yüksek özdirençli anomalilerin eski maden galerilerini karakterize ettiğini göstermişlerdir.

(Van Schoor ve Binley, 2010) alışmalarında, Güney Afrika platin madenlerinde maden içi galerileri EÖT yöntemiyle tespitini yapmışlardır. Elde edilen 15000 ohm.m civarındaki yüksek özdirenç değeriininin maden galeri boşluklarını karakterize ettiğini belirlemişlerdir.

(Martínez vd., 2012) alışmalarında, jeofizik yöntemlerden EÖT yöntemi ile İspanya'nın Jaen bölgesinde haritası çıkarılmamış eski maden galerilerini tespit etmek amacıyla Linares maden sahasındaki verileri yorumlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre 10 ohm.m gibi düşük özdirenç değeriine sahip suya doygun 2 adet galeri tespit etmişlerdir.

(Martínez vd., 2010) alışmalarında, İspanya'da bulunan Sierra Minera La Unión-Cartagena (SE,) bölgesinde jeofizik yöntemlerden EÖT yöntemini uygulayarak eskiden işletilmiş maden galerilerini tespit etmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmanın değeriendirilmesi neticesinde >1800 ohm.m özdirenç değeriine sahip kısımların eski maden galerilerini karakterize ettiğini ortaya koymuşlardır.

(Srivastava vd., 2024) alışmalarında, Jharia CoalBeld maden ocağındaki Jogidih'in kömür damarında 7 adet EÖT profili ile birlikte manyetik yöntem kullanarak galerinin yeraltı yönelimini tespit etmişlerdir. Manyetik verilerde -24,5 nT ve EÖT verilerinde suya doygun zemin olduğundan yaklaşık 100 ohm.m gibi düşük özdirenç değeriini gözlemişlerdir.

(James ve Ferreira, 2013) alışmalarında, maden galerileri gibi boşluklu yapıların tespit olasılığını hesaplamak ve araştırma tasarımına bilgi sağlamak için tipik boşluklu alanları jeofizik yöntemler ile modellemiştir. Jeofizik yöntemlerden manyetik yöntemi kullanarak manyetik veri üzerinden düşük anomali veren sık manyetik verilerin maden galerisi gibi boşuklu yapıları ifade ettiğini belirlemişlerdir.

(Das ve Mohanty, 2016) alışmalarında, Doğu Hindistan kömür yataklarındaki terk edilmiş kömür madeninde dipol-dipol ve Wenner-Schlumberger dizilimleri kullanarak EÖT yöntemi kullanarak su ve hava dolu galerileri tespit etmişlerdir.

(Soupios ve Hinojosa-Prieto, 2021) alışmalarında, Meksika'nın Durango kentinde bulunan La Soledad maden sahasında EÖT yöntemini kullanarak yüzeye

yakın 2 boyutlu görüntüleme ile maden galerisi araştırması yapmışlardır. Araştırma, yaklaşık 1 km² bir alanı kapsayan, değişken yönelimli beş öz direnç profilinden oluşmaktadır. Ortalama görüntüleme derinliğini yaklaşık 65 m olarak belirlemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde iki adet maden galerisi ağına tespit etmişlerdir.

(Godio vd., 1995) çalışmalarında, eski maden galerilerinin tespitine yönelik yapılmış olan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Galerilerin tespitine yönelik jeofizik disiplinindeki bir takım yöntem ve tekniklerin uygulanması neticesinde, eski maden sahasındaki galerilerin çökme riskinin çevresel ve peyzaj açısından büyük önem taşıyan bir alanı ilgilendirdiği tipik bir örnek olarak incelenmişlerdir. Elde edilen veriler sonucunda eskiden işletilmiş ve terk edilmiş maden galerilerini tespit etmişlerdir.

(Martínez vd., 2013) çalışmalarında, La Sierra Minera maden sahasında bilinen galerilerin konumu ve yöneliminin belirlenmesi için EÖT yöntemini kullanmışlardır. Jeofizik veriler ışığında elde edilen bulgular ile bilinen galerilerin konumlarıyla yakın bir korelasyon olduğunu göstermişler ayrıca konum ve yönelimi daha önce bilinmeyen yeni galerilerin konumunda tespit etmişlerdir. EÖT yönteminin sığ boşluklar hakkında yeterli yeraltı bilgisi sağlamada çok etkili ve uygun olduğunu kanıtlamışlardır.

(Hinojosa vd., 2022) çalışmalarında, Meksika'da 1930'larda sona eren tarihi gümüş madenciliğinden kalan terk edilmiş maden galerilerini EÖT yöntemi ile araştırmışlardır. EÖT ölçümlerinde elektrot aralığını 5 m seçerek dipol-dipol dizilimi kullanmışlardır. Elde edilen yüksek öz dirençli alanların maden galerilerini karakterize ettiğini ortaya koymuşlardır. Tüm profillerde 50.000 ohm.m gibi yüksek öz dirençli anomalilerle suya doygun olmayan içerisi hava ile dolu galerileri tespit etmişlerdir.

(Siikanen vd., 2022) çalışmalarında, İsveç'in Höganäs kentinde EÖT yöntemi kullanarak daha önce kömürün çıkarıldığı eski maden galerilerinin yerinin tespitini yapmışlardır. Böylece amaç binaların gelecekte güvenli bir şekilde kullanılması amacıyla ayrıntılı planlama çalışmasını ortaya çıkarmaktır. EÖT yöntemi araştırmasını, 2 metrelik elektrot ayrımı ile gerçekleştiren dört hattan oluşan bir çalışma yapmışlardır. Öz direnç dağılımına göre eskiden işletilmiş kömür madeni galerilerini tespit etmişlerdir.

(Castillo ve Gutiérrez, 1992) çalışmalarında, Orta Meksika'daki Real del Monte gümüş madeni sahasında bir jeofizik uygulama gerçekleştirmişlerdir. Sığ galerilerin potansiyel çökmesiyle ilgili risk alanlarını belirlemek için jeoelektrik araştırma yöntemlerini uygulamaya çalışmışlardır. Jeoelektrik verilerin incelenip yorumlanması

neticesinde yüksek özdirençli anomalilerin (5000-10000 Ohm.m) sığ galerilerin varlığıyla ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

(Fasani vd., 2013) çalışmalarında, İtalya'nın başkenti Roma'nın geniş alanlarını oluşturan volkanik pleistosen çökellerinin bulunduğu bölgede yer altı galerilerinin yerini tespit etmek ve üstteki yapıları etkileyen ilgili riskleri değerlendirmek için jeofizik ve jeolojik bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Bu inceleme kapsamında, birincil jeofizik araştırma yöntemi olarak EÖT yöntemini seçmişlerdir. Yapılan sondaj verileri ile özdirenç verilerini birbiriyle entegre ederek boşluklu galeri ağını tespit etmişlerdir.

2.KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Manyetik Yöntem

Eskiden yeraltı araştırma çalışmaları tam donanımlı olmayan çok daha basit cihaz ve ekipmanlar ile yapılmıştır. Günümüzde ise daha donanımlı çeşitli cihaz ve ekipmanlar ile yeraltı araştırmalarından daha iyi sonuçlar alınarak her geçen gün yeni yeni cihazlar ve yöntemler geliştirilerek yeraltının görüntülenmesinde daha ileri sonuçlar elde edilmektedir. Manyetik araştırma çalışmaları sığ yeraltı görüntülemelerinde destekleyici bir yöntemdir.

Manyetik yöntemde amaç yeraltındaki jeolojik yapıyı oluşturan minerallerin farklı manyetiklik özelliklerinden faydalanarak oluşan manyetik anomaliler ile jeolojik yapıyı ortaya çıkarmaktır. Manyetik alanı oluşturan temel etmen ise dünya üzerindeki kayaların manyetik özelliklerinden meydana gelmektedir. Bu manyetik özelliklerden kaynaklanan anomaliler farklı manyetik yöntem araştırma teknikleriyle araştırılmaktadır (Dr. Melvin A. Ekka, 2020).

Manyetik alan manyetometreler ile ölçülmektedir. Manyetometrelerden manyetik alan ölçmek için ilk kullanılanı ilk burulma manyetometreleridir. İlk burulma manyetometrelerinde yatay eksene (eğimli) monte edilmiş pusula iğneleri kullanılır. Bu tip manyetometreler 1960 yılına kadar kullanılmışlardır. Günümüzde ise bu manyetometrelerin yerini fluxgate, proton ve alkali buhar manyetometreleri almıştır (Dr. Melvin A. Ekka, 2020).

Manyetik alanın herhangi bir noktadaki etkisinin değeri, bu etkinin değeri ile farkı olarak ifade edilir. Uygun olarak seçilmiş bir baz istasyondaki değer referans alınarak manyetometreler yatay veya dikey ölçüm yapar. Ölçüm yapılan alanın manyetik alan toplam bileşenleri ölçülür (Dr. Melvin A. Ekka, 2020).

Kayaçlar, çok çeşitli ve önceden tahmin edilemeyen çeşitli yollarla, uyarılmış

veya ksensör olarak, birincil olarak mıknatıslanma kazanabilmektedirler. Mıknatıslanma kayaçlar ısıtıldığında değişebilir ve kaybolabilir ayrıca kayaçlar ısıtıldığında yeniden mıknatıslanma kazanabilmektedirler. Ayrıca kimyasal değişim ve diğer işlemler nedeniyle de değişime uğrayabilmektedirler. Dağılımları toplu litolojik desenlerle çok az ilişkili olabilen mineraller, olağan taşıyıcılarıdır. Yanal değişimleri manyetik anomalilere neden olan kayaç mıknatıslanması söz konusu olabilir. Mineraller, manyetik kayaçların haritalanmasında manyetik araştırmaların kullanılmasını mümkün kılmaktadırlar (Dr. Melvin A. Ekka, 2020).

Manyetik minerallerin kayaçlardaki eşit olmayan dağılımı nedeniyle manyetik anomalilere neden olmaktadır. Bir kayacın duyarlılığı genellikle manyetik içeriğine bağlıdır. Tortul ve asit magmatik kayaçların duyarlılığı küçük olurken, bazaltlar, doleritler, gabrolar ve serpantinler genellikle güçlü manyetik özellik gösterirler (Dr. Melvin A. Ekka, 2020).

Dünyanın manyetik alanı manyetik özelliğe sahip minerallerin manyetik duyarlılık değişikliklerine yol açmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde düşey gradyometre tekniği ile yüzeye yakın sığ anomalilerin belirlenmesi ve tercihen daha derin bölgesel anomalilerin düşey gradyometre tekniği kullanılarak tanımlaması araştırmalara kolaylık sağlamaktadır.

Düşey gradyometre tekniği ile elde edilen veriler, yeraltındaki sığ anomalilerin yorumlanmasına yardımcı olur. Bununla manyetik alınganlık, manyetik moment, derinlik ve kaynak geometrisi kolaylıkla belirlenebilir. Ayrıca manyetik alan gibi zamanla değişen alanlar fırtına aktivitesi, günlük ve seküler değişimler toplam saha verilerinin üzerine eklenerek yorumlanır. Düşey Gradyometre tekniği karmaşık manyetik anomalileri çözümlemede yeraltının doğru tanımlanmasını sağlayan yararlı veriler sağlar (Hood ve Teskey, 1989).

2.1.1. Düşey Gradyometre Tekniği

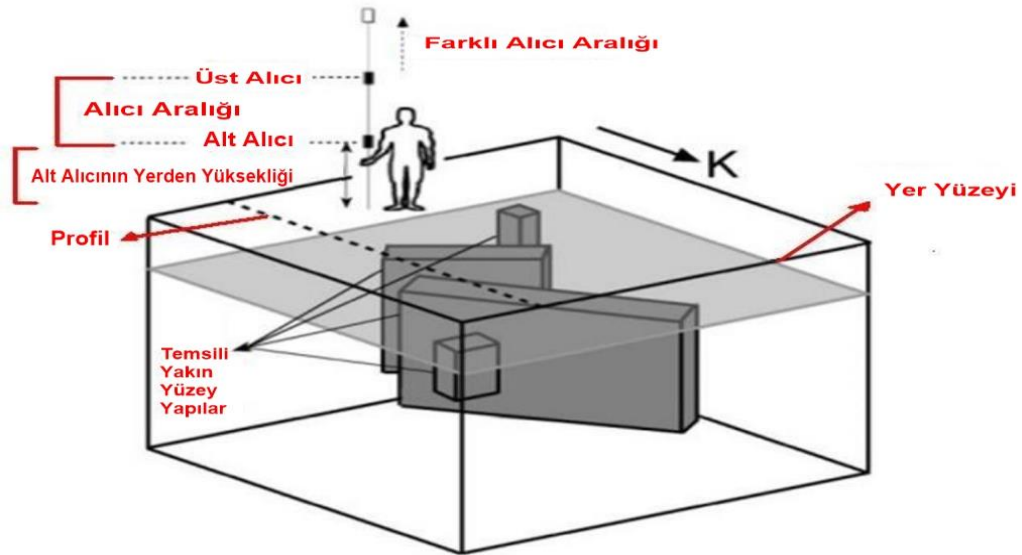
Jeofizikte araştırma yöntemlerinden biri olan manyetik yöntem içerisinde farklı teknikler mevcuttur. Bu tekniklerden biride Düşey gradyometre tekniğidir. Tekniğin çalışma mantığı farklı yüksekliklerde bulunan iki sensör ile ölçüm noktalarının her birinde manyetik alanın toplam bileşenini ölçmeye dayanır. Düşey gradyent verisi her bir ölçü noktasındaki uzaklıkları ve yükseklikleri farklı sensörler ile ölçülen manyetik alanın toplam bileşeni farkının sensörler arasındaki uzaklığa bölümüyle elde edilir (Breiner, 1999).

$$\frac{\partial T}{\partial h} = \frac{T_{alt} - T_{üst}}{\Delta h} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

olarak verilir.

Bu formülde; T_{alt} altta bulunan sensör ile ölçülerek bulunan toplam manyetik alan değerini ifade ederken, $T_{üst}$ üstte bulunan sensör ile ölçülerek bulunan toplam manyetik alan değerini ifade eder. Δh ise sensörler arasındaki uzaklığı göstermektedir. Günlük değişim düzeltilmesi yapılmasına gerek kalmadan arazi verilerinin hızlı toplanması yönteminde iki sensör ile ölçüm alınarak gerçekleştirilir (Arısoy ve Kaya, 2014).

Üst sensörün derinde bulunan yapılardan etkilendiği ve sensörün alt kısmında olanı hem derin hem de yüzeye yakın yapılardan etkilendiği göz önüne alındığında yüzeye yakın yapıların düşey manyetik gradyent verilerinde bölgesel ve yerel ayrımına gerek olmadan bu alt ve üst sensör ölçüm verilerinin etkileri görülmektedir. Düşey gradyometre tekniği ile düşey manyetik gradyent ölçülerinin dışında, yükseklikleri farklı iki sensör ile ölçülen toplam manyetik alan verilerinin de hesaplanmasıyla, sayısal ve gözlemsel yorum yapmaya olanak sağlayacak veri kümesinde elde edilmesine olanak sağlar (Arısoy ve Kaya, 2014).

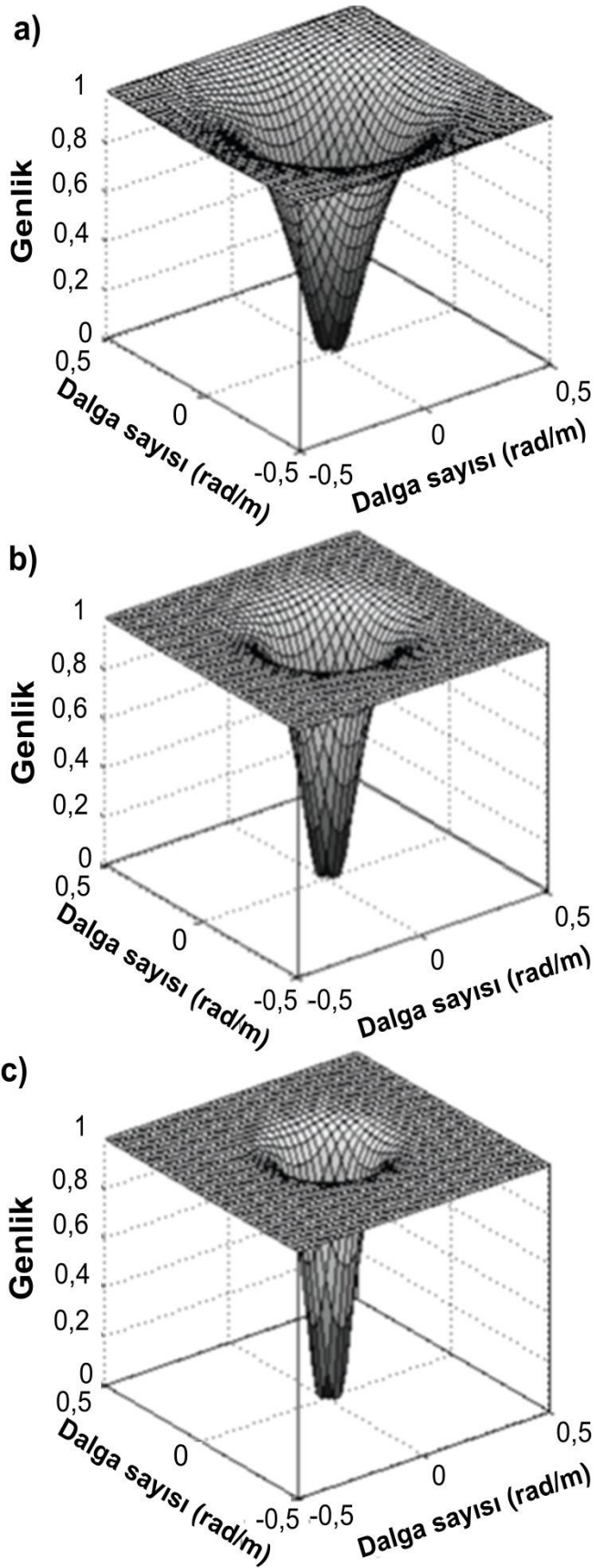


Şekil 3. Düşey manyetik gradyometre yönteminde sensör geometrileri ve arazide ölçü alımı (Arısoy ve Kaya, 2014).

Düşey gradyometre tekniği kullanılarak çok sık yapılan sığ yeraltı araştırmaları jeofizik yöntemler içerisinde en yaygın olarak kullanılan manyetik yöntem tekniğidir. Düşey gradyometre tekniği manyetik alan toplam bileşeninin düşey türev ölçüm

esasına dayandığından ötürü iyi sonuçlar vermektedir. Sık kullanılma sebeplerinden bir taneside budur. Ancak teknik açıdan verilerde gürültü hassasiyetinin fazla olması verilere olumsuz şekilde etki etmektedir. Bu durum Düşey gradyometre tekniğinin negatif yanısıdır. Bu durumda farklı sensör aralıkları kullanılarak verilerde gürültü en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. 0.5 m sensör aralığı günümüzde minimum gürültü hassasiyeti sağladığından ve kullanım kolaylığından ötürü bu ölçü yaygın kullanılmaktadır (Şekil 4). Fakat bir yandan ölçüm esnasındaki çevresel faktörler öte yandan türev ölçülmesi durumu sensör aralıklarının daha yüksek seçilmesinin ölçüme olumlu katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu durum dikkate alındığında ölçüm için sensör aralıklarının seçimi verideki gürültü oranının düşük yada yüksek olması ile doğrudan ilişkilidir (Arısoy ve Kaya, 2014).





Şekil 4. Düşey manyetik gradyometre yönteminde sensör aralıkları (a) 0.5m sensör aralığı, (b) 1m sensör aralığı, (c) 1.5m sensör aralığı (Arısoy ve Kaya, 2014).

2.2. Elektrik Yöntem

2.2.1. Düşey Elektrik Sondaj

Düşey Elektrik Sondaj yöntemi jeofiziğin elektrik yöntemleri içerisinde arazide uygulaması en basit ve ölçülen verilerin değerlendirilmesi en kolay yöntemidir. En çok kullanılan uygulamalı jeofizik yöntemlerinden biri olan Düşey Elektrik Sondaj Yönteminin uygulama biçimi, bir çift krom- nikel akım elektrotu kullanarak yerin içine gönderilen doğru akımın (DC) elektrotlar arasında yeryüzünde oluşturacağı potansiyel farkı yani diğer bir ifade ile akımdan kaynaklanan gerilim farkının, krom – nikel potansiyel elektrodu ile ölçülmesi ile gerçekleşir. Yere gönderilen akım ve ölçülen gerilim farkı arasındaki ilişki ‘Ohm Kanunu’ olarak ifade edilmekte ve aşağıdaki formül ile temsil edilmektedir.

$$R = \Delta V / I \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Üstte ifade edilen eşitlikte I (Amper) yer içerisine aktarılan akımı, ΔV (Volt) yer içerisinde oluşan potansiyel farkı ve R (Ohm) olarak ifade edilen sembol ise yerin direncini göstermektedir. Yüzeyi ifade eden alanı A (m^2) ve boyu L (m) olan bir telin olduğu durumlarda,

$$\rho = \Delta V A / I L \quad (\text{Eşitlik 3})$$

ifadesiyle hesaplanır. Bu formül daha genel bir ifade ile,

$$\rho = \Delta V / J L \quad (\text{Eşitlik 4})$$

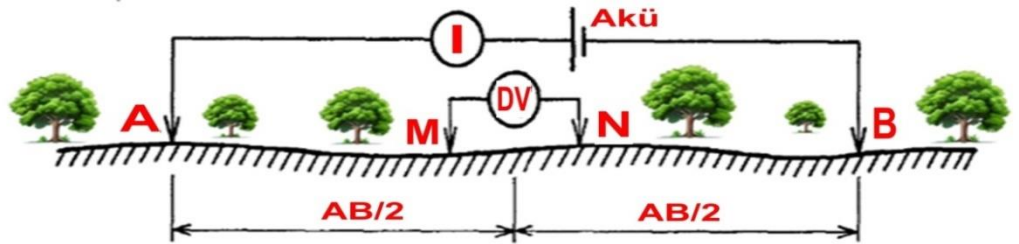
olarak yazılır.

Yukarıdaki formülde birim yüzeyden geçen akım miktarını J (akım yoğunluğu) temsil etmektedir. ρ (Ohm.m) elde edilen elektriksel özellik yani öz direnç olarak ifade edilmektedir. Kayaçların doğada farklı öz direnç değerler aralığında yer almasından dolayı öz direnç değerlerinin tek başına jeolojik birimlerin ayrımını sağlayamadığı bilinmektedir. Fakat bir bölgenin jeolojisini ifade eden formasyonlar ve bu formasyonların öz dirençleri ile ilişkilendirmek için bölgenin jeolojisi hakkında bilgi edinmek gerekmektedir.

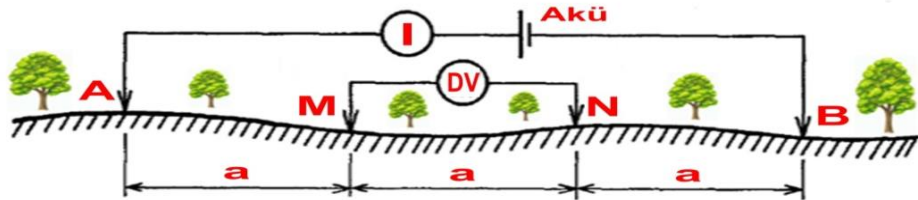
Ölçülen büyüklüğün atanacağı geometrik konum DES ölçümlerinde kullanılan

krom-nikel elektrotlarının dizilim türüne göre değişkenlik göstermektedir. Doğru akım öz direnç yöntemi yapılan ölçümlerin amacına göre Düşey Elektrik Sondaj (DES) diğer bir ifade ile Vertical Electrical Sounding (VES) veya kaydırma ölçümü olarak ifade edilmektedir. Tabakaların yanal yöndeki öz direnç değişimleri, kaydırma ölçümlerinde elektrot aralıkları sabit tutulmak suretiyle ölçüm düzeneğini kaydırma şeklinde yapılarak incelenir. Elektrot aralıkları sabit tutulmadan sürekli açılarak uygulanan yöntem ise DES yöntemi olarak adlandırılır. Amaç yapılan ölçümlerde derinlikle değişen yeraltındaki katmanların öz direncini incelemektir. Schlumberger ve Wenner dizilimleri arazide yapılan uygulamada en çok kullanılan ölçüm dizilimleridir. Potansiyel elektrotları arasındaki mesafenin 3-10 katı kadar daha fazla olacak şekilde akım elektrotları arasındaki mesafenin açılması ile yapılan dizilim Schlumberger dizilimidir. Akım ve gerilim elektrotlarının arasındaki mesafenin eşit tutularak yapıldığı dizilim Wenner dizilimi olarak ifade edilmektedir.

a) Schlumberger Dizilimi



b) Wenner Dizilimi



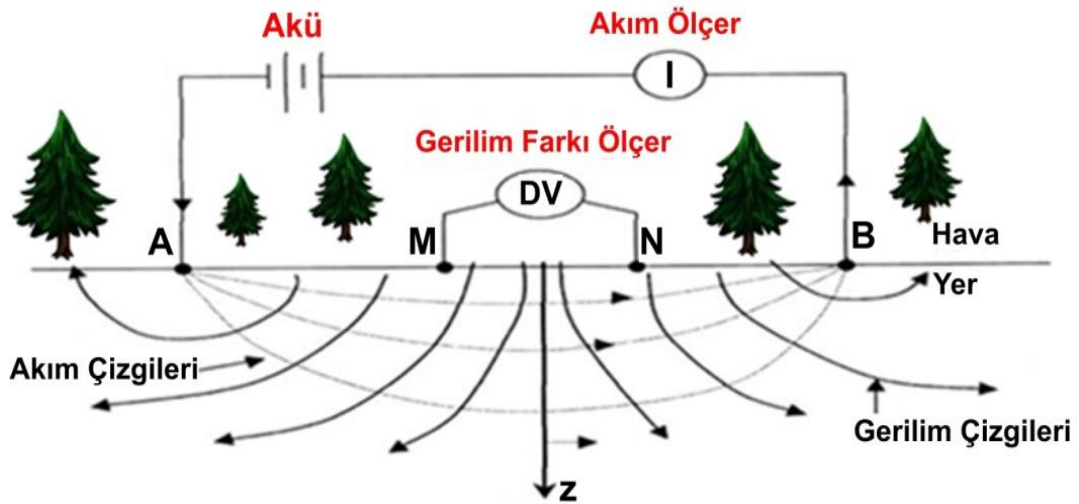
Şekil 5.Schlumberger - Wenner diziliminin veri noktalarıyla şematik gösterimi (Goldman and Neubauer,1993).

Yukarıdaki Şekil-5 de görüldüğü gibi Schlumberger ve Wenner elektrot dizilimlerinin şematik gösteriminde M ve N krom-nikel gerilim elektrotlarını ifade ederken A ve B ise krom-nikel akım elektrotlarını ifade etmektedir. Araştırma sahasının jeolojik özelliklerine bağlı olarak uygulamada kullanılan bu iki farklı

dizilimin seçimi değişkenlik göstermektedir. Tabakaların öz dirençlerinin iyi bir duyarlılıkla hesaplanabilmesinin nedeni göreceli olarak daha büyük olması Wenner ölçüm düzeninde ölçülen gerilim değerlerinden ötürüdür.

Her bir ölçüm için krom-nikel gerilim elektrotlarının yer değiştirmesi sebebiyle elde edilen değerler krom-nikel gerilim elektrotları arasındaki açıklığın fazla olması nedeniyle giderilmesi güç olan yanıl değişimlerden etkilenmektedir.

Krom-nikel akım elektrotları arasındaki açıklık Schlumberger ölçüm düzeninde krom-nikel gerilim elektrotları arasındaki açıklıktan çok büyüktür. Her ölçümde bununla birlikte krom-nikel gerilim elektrotlarının yer değiştirmesi gerek yoktur. Wenner dizilimi yanıl öz direnç değişimlerinden çok fazla etkilenirken Schlumberger dizilimi fazla etkilenmemektedir. Tabakaların öz direncinin hesaplanmasındaki duyarlılık farklı bir dizilim ile elde edilen gerilim değerlerinden daha küçük olduğundan dolayı Schlumberger dizilimi ile ölçülen gerilim değerleri Wenner diziliminden daha düşük değerlerdedir. Arazide ölçülen gerilim değerinin artırılması ile bu sorun yüksek akım kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır (Türkoğlu, 2003).



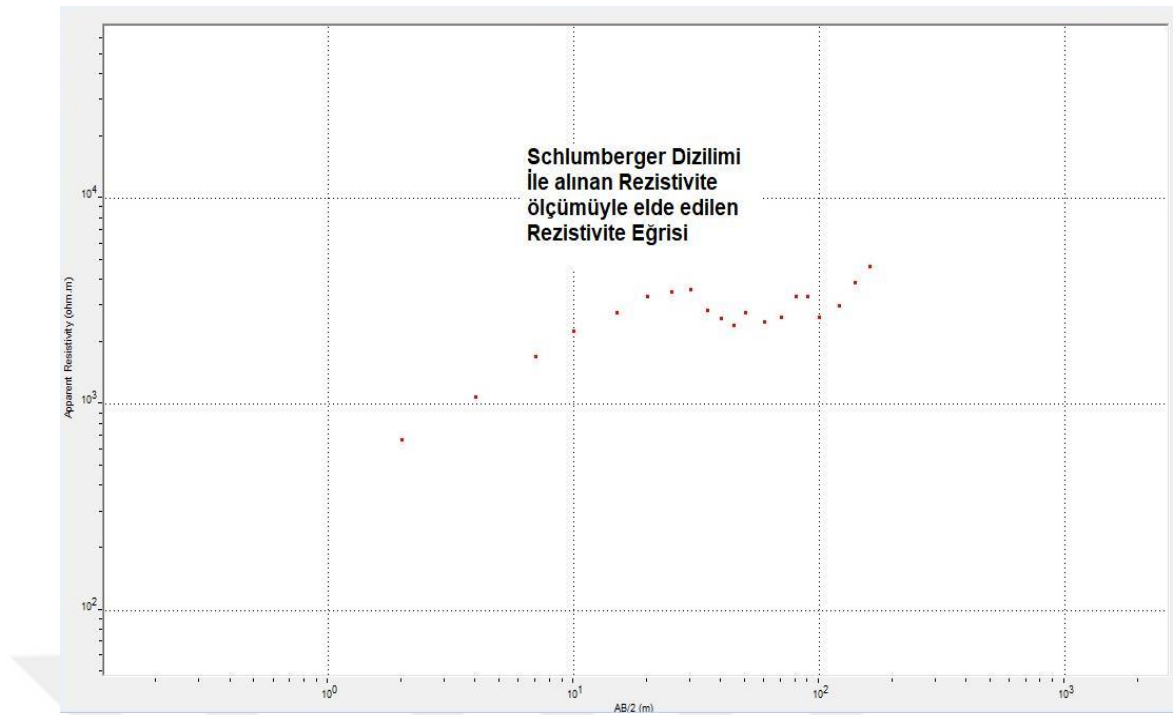
Şekil 6. Düşey elektrik sondaj yöntemi şematik gösterimi (DSİ, Devlet Su İşleri, Jeoteknik Hizmetler Dairesi, 2012).

Bu çalışmada kullanılan Düşey Elektrik Sondaj dizilim türü Schlumberger dizilim türüdür. Schlumberger Dizilimi arazide uygulanabilirliği en basit ve en kullanışlı Düşey Elektrik Sondaj ölçüm dizilim türüdür. Şekil-6 da arazide öz direnç cihazının schlumberger dizilimi görülmektedir. Dışta olan krom-nikel kazıklar A ve B akım elektrotlarını, İçte olan krom-nikel kazıklar M ve N potansiyel elektrotlarını temsil etmektedir (Şekil-7).

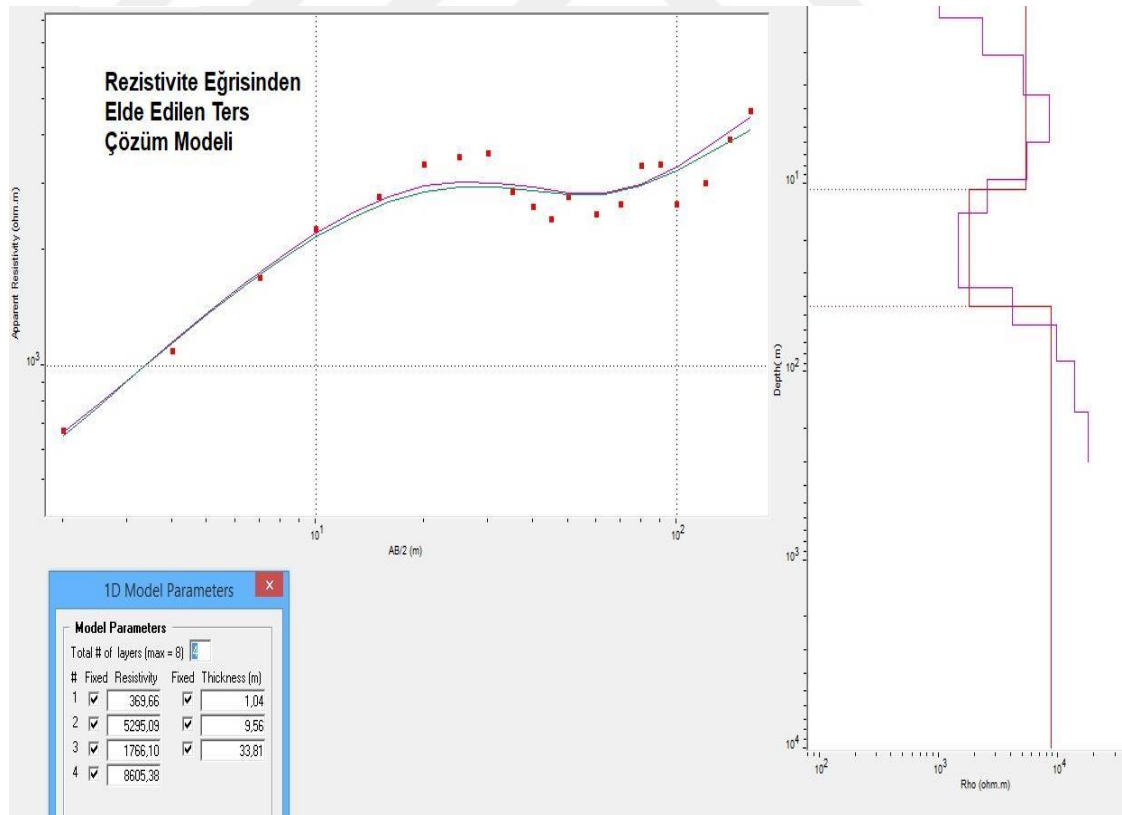


Şekil 7. Schlumberger ölçüm tekniği arazi dizilimi gösterimi

Düşey Elektrik Sondaj verileri iki şekilde değerlendirilebilir. Bilgisayar programları ya da abaklar yardımıyla veri işlem yapılır. Bu çalışmada Winklink bilgisayar programı kullanılmıştır. Arazide schlumberger dizilimi ile alınan Düşey Elektrik Sondaj (DES) verilerinden öncelikle görünür öz direnç değerleriyle Düşey Sondaj Eğrisi elde edilir. Sonrasında bu eğride hatalı ölçümler düzeltme yapılarak eğri düzeltilmiş hale getirilir. Daha sonrasında elde edilen eğride gerçek öz direnç değerleri belirlenerek tabaka sınırları ve derinlik hesabı yapılır. Şekil-8 ve Şekil-9'da Winklink programıyla elde edilmiş örnek veri işlem ve ters çözüm görülmektedir.



Şekil 8. Winglink programıyla değerlendirilen, Schlumberger ölçüm tekniği ile arazi diziliminden elde edilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) görünür öz direnç eğrisi gösterimi



Şekil 9. Winglink programıyla değerlendirilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) görünür öz direnç eğrisinden ters çözüm yapılarak gerçek öz direnç değerlerinden elde edilen tabaka sınırları gösterimi

2.2.2. Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntemi (EÖT)

Yüzeye yakın sığ yapıların farklı jeofizik yöntemler ile araştırılması jeofiziğin en önemli uygulama alanlarından birisidir. Yüzeye yakın sığ yeraltı yapılarının özelliklerinin özellikle son 50 yılda, daha ayrıntılı bir şekilde yorumlanmasını zorunlu kılmıştır. Sığ yapıların fiziksel özelliklerini değişik yöntemlerle ortaya koyabilen önemli bir yere sahip olan bu araştırmalar ve tanımlayabilen jeofizik sonuçlar meydana çıkarmıştır. Geniş bir alanı kapsamakta olan çalışma alanları zeminin jeofizik özelliklerine varıncaya kadar hidrojeolojik ortamların belirlenmesi, zeminin jeofizik özellikleri, katı ve sıvı atık alanlarının belirlenmesi, sığ derinlikte gömülü askeri malzemelerin araştırılması, yüzeye yakın gömülü inşaat ve mühendislik yapılarının ortaya çıkarılmasına kadar çoğu alanda hizmet vermektedir. Jeofizik araştırma yöntemlerinin içerisinde Elektrik özdirenç tomografi (EÖT) yöntemi de bu tür alanların araştırılmasında oldukça etkili ve doğru sonuçlar sunan bir jeofizik araştırma yöntemidir.

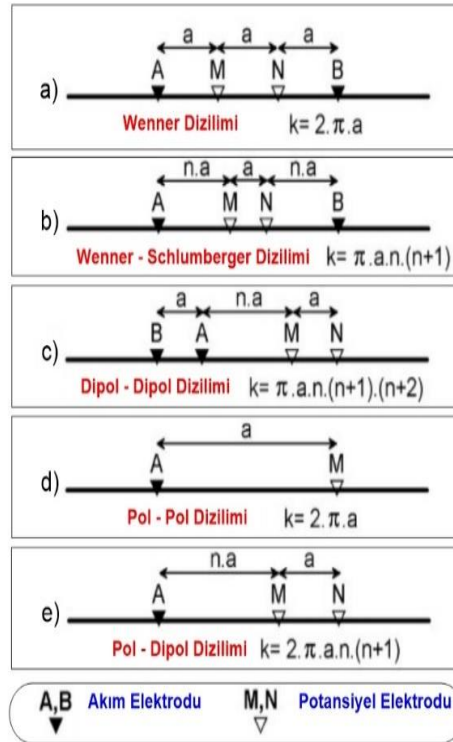
EÖT, yeraltının özdirenç dağılımını belirlemek için kullanılan gelişmiş bir jeofizik yöntemidir. Bu yöntem yeraltında mevcut doğal ya da yapay kaynaklı oluşan boşluklu yapıların araştırılmasında da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Kaufmann vd., 2011; Leucci ve Giorgi, 2005; Lazzari vd., 2010; Balkaya vd., 2012). Özellikle boşlukların geometrisinin belirlenmesinde uygulanır (Negri vd., 2015; Abed vd., 2022; Bharti vd., 2022; Frid vd., 2017; Putiska vd., 2014).

EÖT yöntemi, yere akım elektrotlarından akım verilerek yer içerisinde bir potansiyel alan oluşturulur ve potansiyel elektrotlarıyla ölçülen bu potansiyeller arasındaki fark, görünür özdirenç değerlerinin hesaplanmasıyla uygulanan jeofizik bir elektrik yöntemidir. EÖT ölçümünde ölçüm, paslanmaz krom-nikel elektrotların kullanıldığı bir dizi DC elektriksel direnç ölçümünden oluşur. Seçilen ölçüm dizilimine göre tüm olası elektrot kombinasyonları için otomatik ölçüm alınır (Loke vd., 2014; Pasierb, 2012). Elektrot aralıklarının artması ya da azalması, araştırma derinliğinin artması ya da azalması ile doğrudan ilişkili olduğundan aralık arttıkça daha derinlerden veri toplanmasına olanak sağlar.

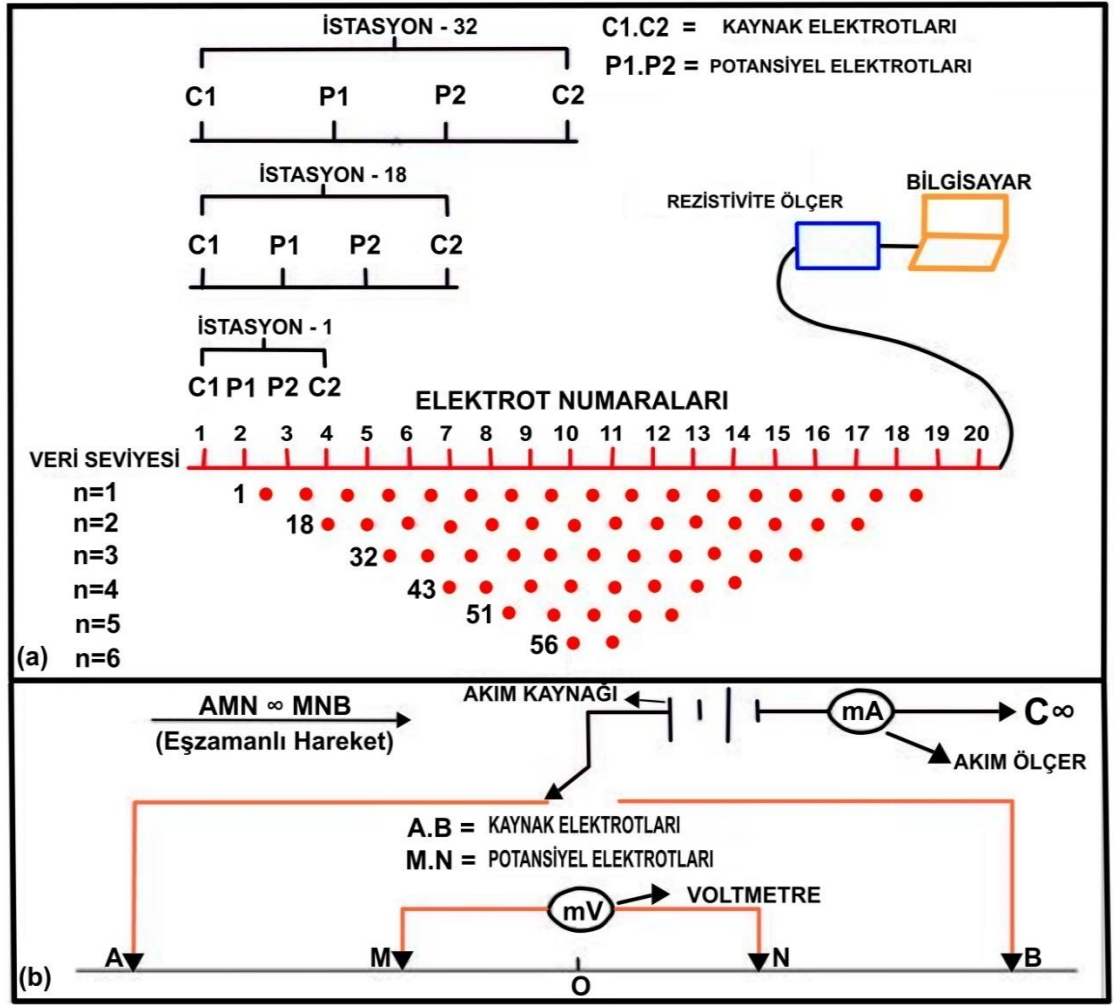
Çevresel ve hidrojeolojik sorunlar ile birlikte son yıllarda sığ yapıların 2 ve 3 boyutlu incelenmesinde daha da fayda sağlayacak özdirenç verisi alabilecek çok özellikli cihaz ve ekipmanların ortaya çıkmasıyla araştırmalar daha yaygın bir hale gelmiştir. Yaygın olarak EÖT tekniği kullanılan mühendislik, arkeolojik kalıntıların belirlenmesi ve sığ jeolojik yapıların araştırılmasına yönelik araştırmalarda

günümüzde yöntemin ne kadar aktif kullanıldığının bir göstergesidir. İki noktadan akım verilerek akım yoluyla yeraltında oluşan potansiyelin ölçüldüğü ve bu amaçla, yeryüzü üzerinde rezistivite değerinin hesaplandığı bu yöntemde Ohm yasasına dayanarak ortamın iki ya da üç boyutlu olarak tanımlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Veri toplamak bir ortamı tanımlamanın ilk koşuludur. Bu amaçla yeryüzünden başlayarak istenilen derinliğe araştırma yapmak mümkündür. Toplanan bu veriler daha sonra veri işleme sokularak ters çözüm yapılır ve iki ya da üç boyutlu olarak yeraltının modellenmesi yapılabilmektedir.

Jeofiziğin uzun yıllardan beri kullanılan elektrik yöntemi jeofiziğin popüler yöntemlerinden sadece bir tanesidir. Birçok araştırmacı tarafından en önemli araştırma yöntemlerinden biri olarak görülen elektrik öz direnç yöntemi uygulama alanı oldukça geniş bir yöntemdir. Elektrot dizilimleri anomalinin belirlenmesi sırasında resistivite yönteminde gömülü yapının özelliklerinin belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Farklı elektrot dizilimleri farklı bir yer modeli için ölçülen veya hesaplanan görünür öz direnç değerleri değişik sonuçlar sunacaktır. Bu durum göz önünde bulundurularak araştırmanın amacına göre en uygun elektrot diziliminin seçilmesi ve sonuçların bu dizilime uygun yorumlanması yararlı olacaktır. En yaygın ölçüm dizilimleri, en iyi derinlik ve en iyi yatay çözünürlük sağlayan Wenner-Schlumberger ve Dipol-dipol ölçüm dizilimleridir (Loke, 2000; Kneisel vd., 2008; Şekil- 10, Şekil-11).



Şekil 10. Elektrik öz direnç tomografi yöntemi elektrot dizilimleri (Griffiths and Barker, 1993).



Şekil 11. Elektrik öz direnç tomografi yöntemi (ABEM, 2006).

Profilleme ölçüm tekniği sığ yapıların araştırılmasında yanal resistivite taramasında aktif olarak kullanılmaktadır. Yeraltının görünür resistivite yapma kesiti (pseudo-section) elektrot diziliminin türüne bağlı olarak bu teknikte seçilen her bir derinlik seviyesi için yapılan ölçümlerden elde edilmektedir. Bu uygulama çok kanallı yerine tek kanallı bir resistivite cihazıyla yapılması durumunda oldukça büyük bir zaman alacaktır. Kısa sürede ölçüm yapacak cihazlara gereksinim olduğundan sığ yapıların araştırılmasında hızlı, duyarlı cihazlara ihtiyaç vardır. Çok kanallı (multi-electrode) cihazlar tanımlanan özelliklere sahip olarak üretilen ve bu amaçlar doğrultusunda son yıllarda çok yaygın biçimde kullanılan elektrik yöntem cihazlarındanıdır. (Dahlin, 2001).

Son 15 yıl içinde elektrik yöntemde bilgisayar denetimli veri toplama sistemleri çok ilerlemiştir. Elektrotları kontrol eden bir anahtar devre, resistivite cihazı, elektrotlar, elektrot kabloları ile birlikte bir adet bilgisayardan oluşan bu sistem modelleme açısından çok olanak sağlar (Van Overmeeren ve Ritsema, 1988; Griffiths

vd., 1990; Griffiths ve Barker, 1993; Dahlin, 2001). Önceden adresleme yapabilen bir cihazda krom-nikel akım ve gerilim elektrotları ile ölçülecek noktalar arası uzaklıklar mevcut yazılım ile birlikte dizilim türleri seçilerek ölçüm yapılabilir. Elektrot kanal sayısı 25 ya da daha fazla olabilen bu tür cihazlarda arazide tek seferlik serim yapılarak ölçümler alınabilmektedir. Araştırmacının gereksinimine bağlı olarak istenilen aralıklarda elektrot aralıkları da düzenlenebilmektedir. Aralıklar normal şartlarda ve arazinin durumuna göre genel olarak 1 ile 25 m olarak kullanılırken istisnai durumlar için aralıkların daha geniş tutulma durumunda söz konusudur. Elektrotların bağlı olduğu kablolar çalışma hattına serildikten sonra sistem ölçüme hazır duruma getirilerek ölçüm esnasında elektrotlar hatta çakılır ve kablolar elektrotlara bağlantısı yapılarak ölçüme başlanır. Dizilim türleri için istenilen ölçümler kısa bir zaman içinde tamamlanır ve ölçüm hattı bir sonraki hatta kaydırılarak ölçüme devam edilir. Şekil 11’ de ölçüm sistemi oluşturan ana elemanlar ile ölçümün nasıl alındığı gösterilmiştir.

Daha farklı yorum yapma olanağı sağlayan ve son yıllarda ve elektrik öz direnç cihazlarının ortaya çıkmasıyla yüksek duyarlılıklı ve hızlı veri toplayabilen sayısal yöntemlerin kullanılması verilerin değerlendirilmesinde dahada ön plana çıkmıştır. Sayısal yöntemlerin öneminin büyük olduğu bu durumda sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi teknikler veri işlem aşamasında büyük kolaylıklar sağlamaktadırlar. Ters-çözüm modellemesinin etkili bir biçimde yapılmasına olanak sağlayan bu teknikler çözüm tekniklerinin 2 ve 3 boyutlu modellenmesinin birçok farklı elektrot dizilimi için mümkün olacağını göstermiştir.

Düz ve ters-çözümde kullanılan temel algoritmalar jeofizik verilerin değerlendirilmesinde de bilindiği gibi kullanılmaktadırlar. Jeofiziğin en temel değerlendirme yaklaşımı olan düz çözüm parametreleri bilinen bir yeraltı modelinden hareketle çözüme ulaşmada yarar sağlayacaktır. Ayrıca ters-çözüm algoritmalarının temel adımlarından biri olması da düz-çözümü bu açıdan önemli kılmaktadır. Bu duruma istinaden iki ve üç boyutlu olarak yeraltının tomografi görüntülerini oluşturmak mümkün olacak ve yapılacak ölçümler yoluyla yeraltı yorumlanabilecektir. Heterojenliğin bir sadeleştirilmeye ihtiyaç duyulmadan çözüme katılabilmesi bu yöntemler ile değerlendirmenin en önemli avantajıdır. Böylece karmaşık yeraltı yapılarının modellenmesi daha kolay olacaktır.

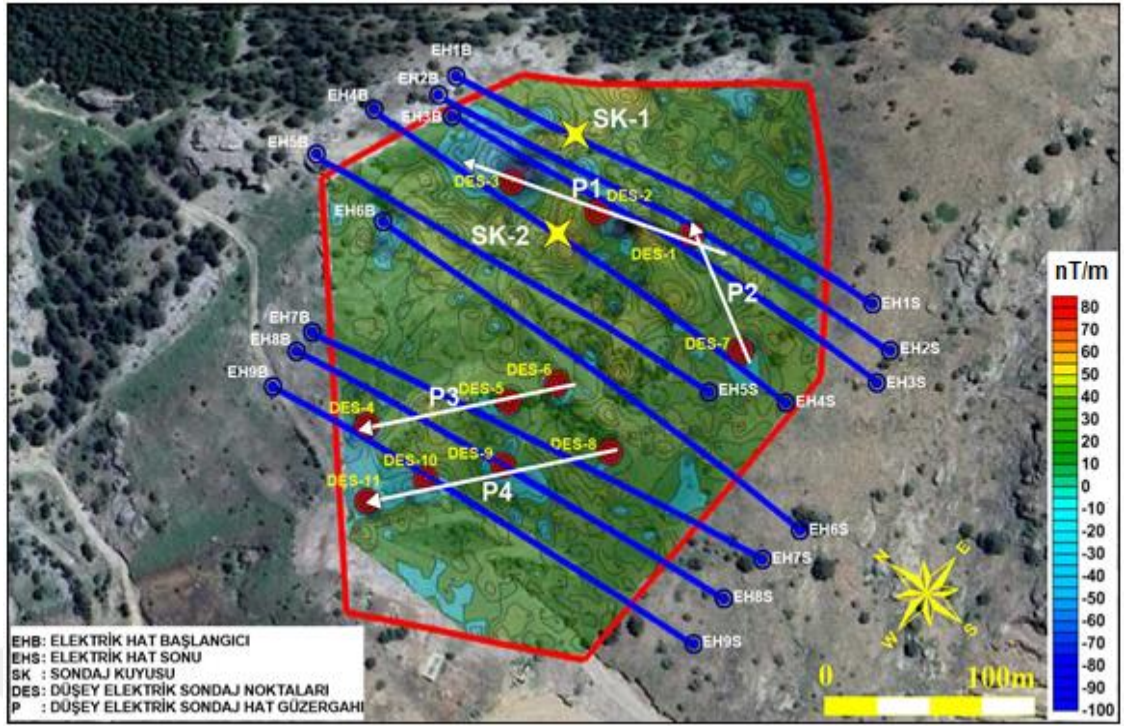
Elektrik öz direnç tomografi (EÖT) yöntemi özellikle iki boyutlu anlamda yorumlamaya daha olanak sağlar bir hale gelmiş olması son yıllarda dünyada daha yaygın uygulama alanına sahip olmaya başladığını göstermektedir. Değişik jeolojik

sorunlar başta olmak üzere çevresel sorunlar ile birlikte mühendislik problemlerinin çözümüne ilişkin konularda elektrik öz direnç tomografi yöntemi araştırmaları gün geçtikçe dahada ağırlığını göstermektedir.

EÖT verileri iki boyutlu ters çözüm işlemi ile doğrusal olmayan optimizasyon tekniği kullanılarak Res2dinv yazılımında modellenip yorumlanabilir (Loke, 2014). Ters çözüm algoritmalarının ayrıntılı çözüm teknikleri literatürdeki çalışmalarda bulunabilir (Aster vd., 2005; Loke ve Dahlin, 2002; Loke, 2017). Ters çözüm işleminin amacı ölçülen ve hesaplanan görünür direnç değerleri arasındaki tutarsızlığın derecesini belirleyen hatayı en aza indirmektir. Res2dinv programında üç ters çözüm algoritmasını uygulamak en küçük kareler optimizasyon yöntemlerindeki RMSE hata oranlarını en aza indirmektedir.

3.YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

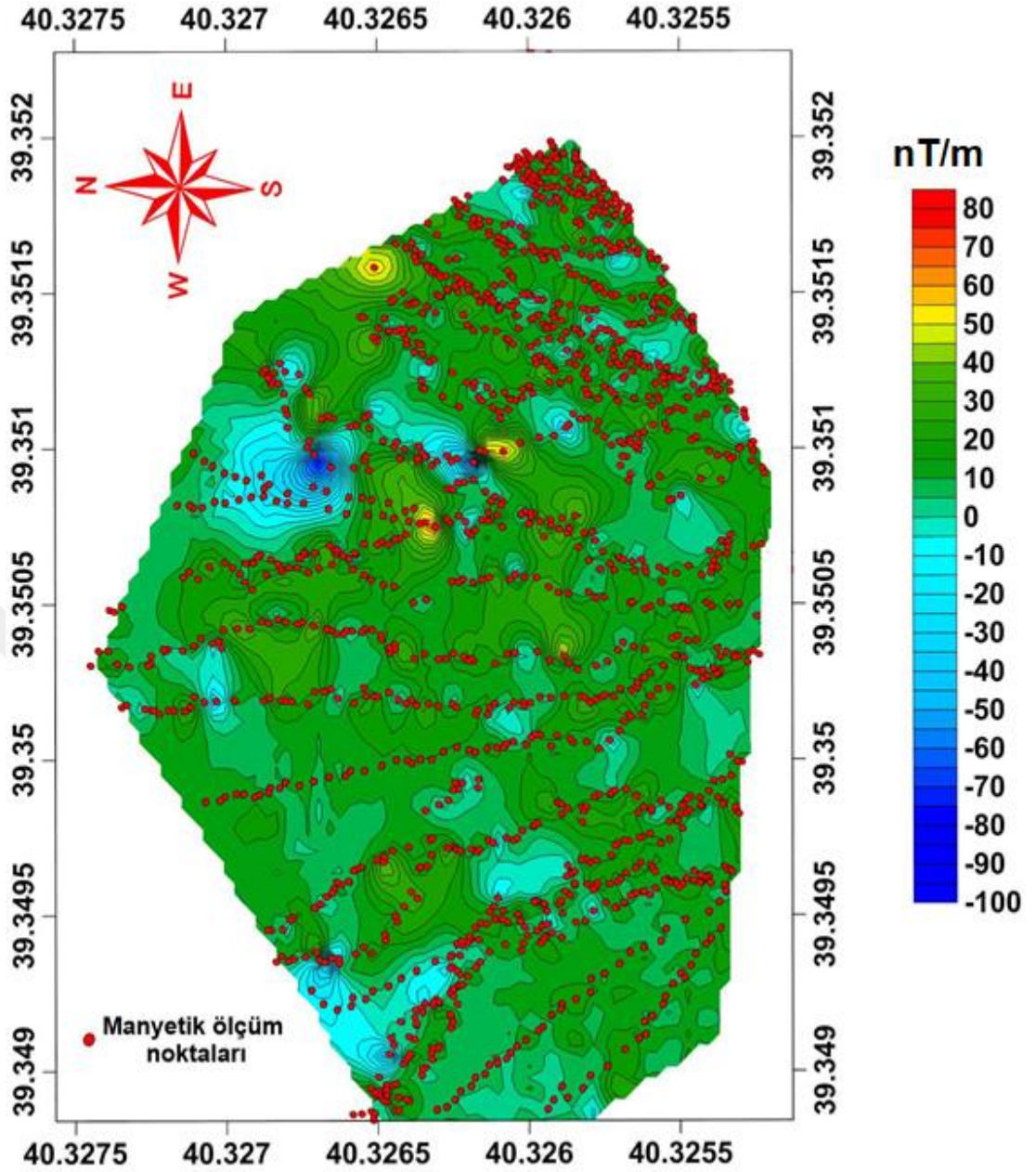
Gümüşhane ili Köstürelilik Tepe sahasındaki daha önceden işletilmiş olan eski maden galerilerinin jeofizik yöntemlerle galeri boşluklarının tespiti yapılmıştır. Bu çalışma doğrultusunda manyetik yöntemlerden düşey gradyent ölçüm tekniği ile 1354 adet noktada manyetik ölçüm, 9 hatta Elektrik Öz direnç Tomografi (EÖT) ve 11 adet noktada toplam 4 profil ile Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümleri yapılarak çalışma alanını 1 ve 2 boyutlu olarak modellenmiştir. İlk olarak; manyetik yöntemlerden düşey gradyent ölçümü alınmıştır. İkinci olarak; Elektrik Öz direnç Tomografi yöntemi (EÖT) ve Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümleri alınarak alanın düşey ve yanal yöndeki süreklilik durumları ve yönelimleri belirlenip alınan elektrik ölçümler Res2dinv ve Winglink bilgisayar programları kullanılarak çalışma alanı 2 boyutlu olarak haritalanmıştır. Son olarak, kullanılan tüm jeofizik yöntemler birbirleriyle ilişkilendirilip çalışma alanın boşluklu yapı unsurları tespit edilmiştir. Çalışma alanında alınan EÖT, DES ölçüm hatları, manyetik ölçüm sonuçları sondaj noktaları Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12.İnceleme alanında alınan elektrik öz direnç ölçümlerinin konumları, hatların gösterimi, manyetik ölçüm sonuçları ve sondaj noktası konumları

3.1. Manyetik Çalışmalar

Manyetik Yöntemlerden Düşey Gradyent ölçüm tekniği ile 1354 adet noktada manyetik ölçüm alınmıştır. Düşey gradyent tekniği esası yer manyetik alanın toplam bileşenini ölçmeye dayanan, yükseklikleri farklılık gösteren iki sensör ile ölçüm noktalarının her birinden veri toplayan bir manyetik yöntem tekniğidir. İnceleme alanında 0.5 m sensör aralığı kullanılarak Scientrex Proton Manyetometresi ile 2m aralıklı düşey gradyometre ölçümleri alınmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. İnceleme alan sınırları içerisindeki ölçüm noktaları üzerinde olan manyetik harita

Manyetik ölçümlerden elde edilen gradyent değerleri $-96,2 \text{ nT/m}$ - $70,9 \text{ nT/m}$ arasında değişmekte olup kriging enterpolasyon yöntemiyle gridlendirilerek gösterilmiştir (Şekil 13). İnceleme alanında düşük gradyent değerlerinin (mavi renk ile gösterilen, -30 nT/m - -90 nT/m aralığında değişen) diğer kullanılan yöntemler ve sondaj verileri ile entegre değerlendirildiğinde olası boşluklu yapı unsurlarını karakterize ettiği gözlemlenmiştir. İnceleme alanı sınırları içerisindeki manyetik ölçüm arazi çalışmaları Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14. İnceleme alanı sınırları içerisindeki manyetik ölçüm arazi çalışmaları

3.2. Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) Çalışmaları

Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) ölçümleri RADC-024 marka 48 kanallı özdirenç cihazıyla 9 adet EÖT profil ölçümü alınmıştır (Şekil 12). Çalışmada yanal ve düşey ayrımlılığı daha iyi modellenebilmesi için Wenner - Schlumberger dizilimi tercih edilmiştir. Alınan ölçümlerde elektrotlar arası mesafe 5 m belirlenip güç kaynağı olarak 12V'luk aküler kullanılmıştır. EÖT verileri, Res2dinv (Loke, 2010) programıyla değerlendirilerek 2 boyutlu özdirenç kesitleri elde edilmiştir (Şekil 16). Oluşan 2 boyutlu özdirenç kesitleri üzerinde her elektrotun denk geldiği kot noktaları işlenerek, kesitlerin topoğrafya değişimleriyle beraber arazi yüzeyine daha uyumlu hale getirilmiştir. EÖT hatlarının lokasyonları Şekil 12'de verilmiştir.

EH1 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 351-15937 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH1 hattı boyunca 70-120m arasındaki mesafede yüksek özdirenç değerlerine sahip (5000-15000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) alanların olası boşluklu yapıları, galerileri tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 300-500 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri yüzeyde yamaç molozlarını daha derinlerde suya doygun kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH2 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 303-15889 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH2 hattı boyunca 35-90 m arasındaki mesafede yüksek özdirenç değerlerine sahip (5000-15000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) alanların olası boşluklu yapıları, galerileri tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 300-500 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri, yüzeyde yamaç molozlarını daha derinlerde ise suya doygun kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH3 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 189-11883 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH3 hattı boyunca 20-80m arasındaki mesafede yüksek özdirenç değerlerine sahip (5000-12000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) alanların olası boşluklu yapıları, galerileri tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 175-500 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri, yüzeyde yamaç molozlarını daha derinlerde ise suya doygun kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH4 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 248-10771 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH4 hattı boyunca 35-120m arasındaki mesafede, yüzeyden yaklaşık 35m derinlikte yüksek özdirenç değerlerine sahip (5000-11000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) alanların olası boşluklu yapıları, galerileri

tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen öz direnç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 250-500 Ohm.m arasında değişen öz direnç değerleri, yamaç molozları ve su içeriği yüksek kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH5 kesitini incelediğimizde, öz direnç değerlerinin 248-23409 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH5 hattı boyunca 40-80m arasındaki mesafede, yüzeyden yaklaşık 20m derinlikte ve 150-200m arasındaki yaklaşık 40m derinliğe kadar uzanan alanların yüksek öz direnç değerlerine sahip (5000-24000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) olası boşluklu yapıları, galerileri tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen öz direnç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 250-500 Ohm.m arasında değişen öz direnç değerleri, yamaç molozları ve su içeriği yüksek kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH6 kesitini incelediğimizde, öz direnç değerlerinin 175-5202 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH6 hattı boyunca 120-160m arasındaki mesafedeki alanların yüksek öz direnç değerlerine sahip (<5000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) olası boşluklu yapıları, galerileri tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen öz direnç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 175-500 Ohm.m arasında değişen öz direnç değerleri su içeriği yüksek kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

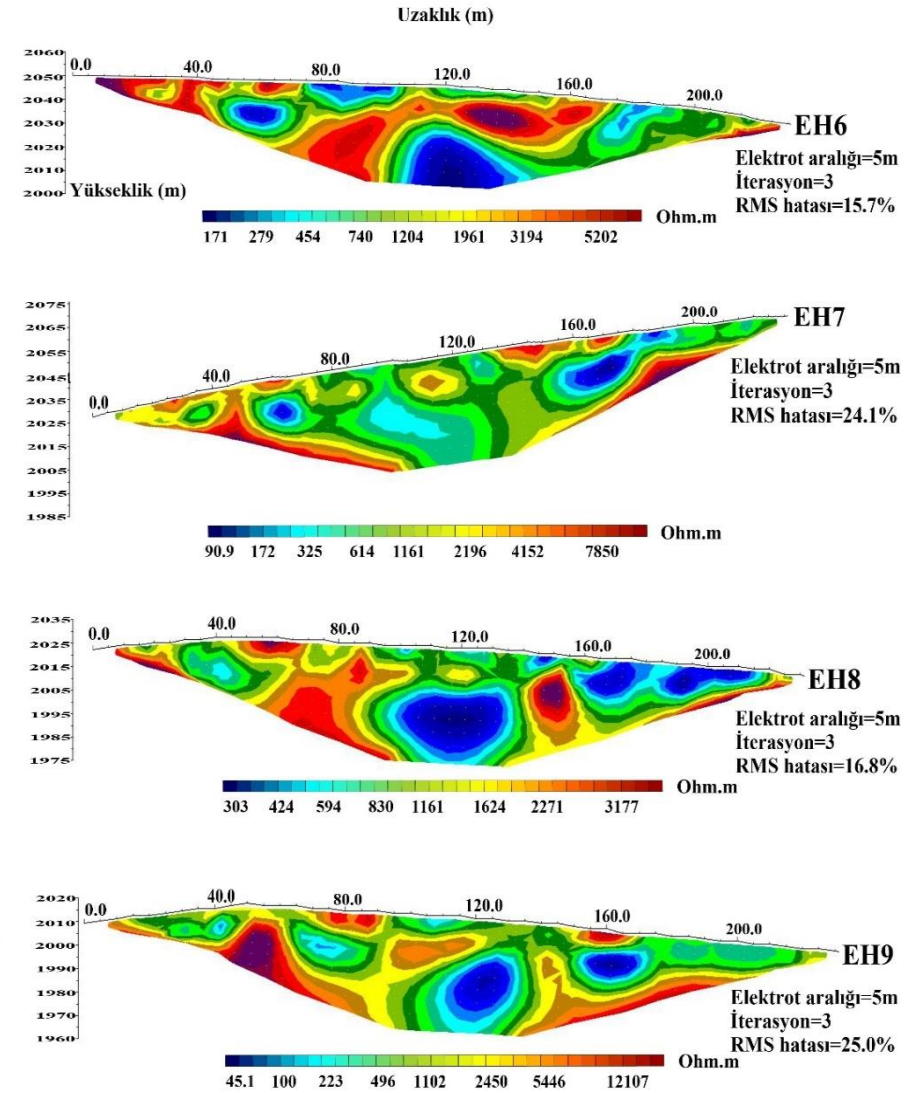
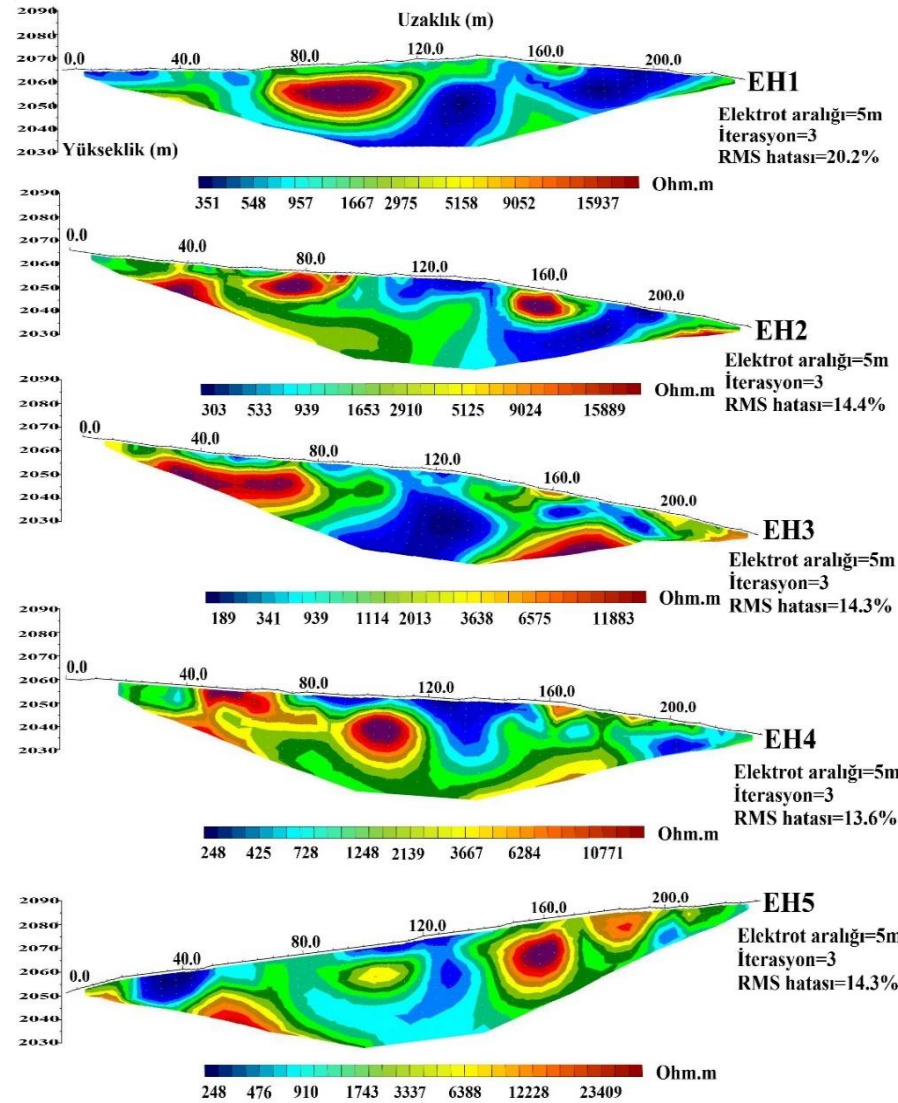


Şekil 15. İnceleme alanı sınırları içerisindeki yapılmış EÖT ölçüm arazi çalışmaları

EH7 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 90-7850 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH7 hattı boyunca yer yer yüksek özdirenç değerlerine sahip (<5000 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) alanlar olmasına rağmen 500-5000 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri yoğunlukta olup kireçtaşı birimini karakterize etmektedir. 90-500 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri su içeriği yüksek kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH8 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 303-3177 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH8 hattı boyunca 500-5000 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri kireçtaşı birimlerini karakterize etmektedir. 250-500 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri su içeriği yüksek kireçtaşlarını karakterize etmektedir.

EH9 kesitini incelediğimizde, özdirenç değerlerinin 45-12107 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. EH9 hattı boyunca 35-80m arasındaki mesafede, yüzeyden yaklaşık 10m derinlikten başlayıp 40m'ye kadar uzanan alanların yüksek özdirenç değerlerine sahip (5000-12500 Ohm.m arasında değişen kırmızı renkli gösterilen) olası boşluklu yapıları, galerileri tespit ettiği belirlenmiştir. 500-5000 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri de kireçtaşı birimleri karakterize etmektedir. 250-500 Ohm.m arasında değişen özdirenç değerleri su içeriği yüksek kireçtaşlarını karakterize etmektedir.



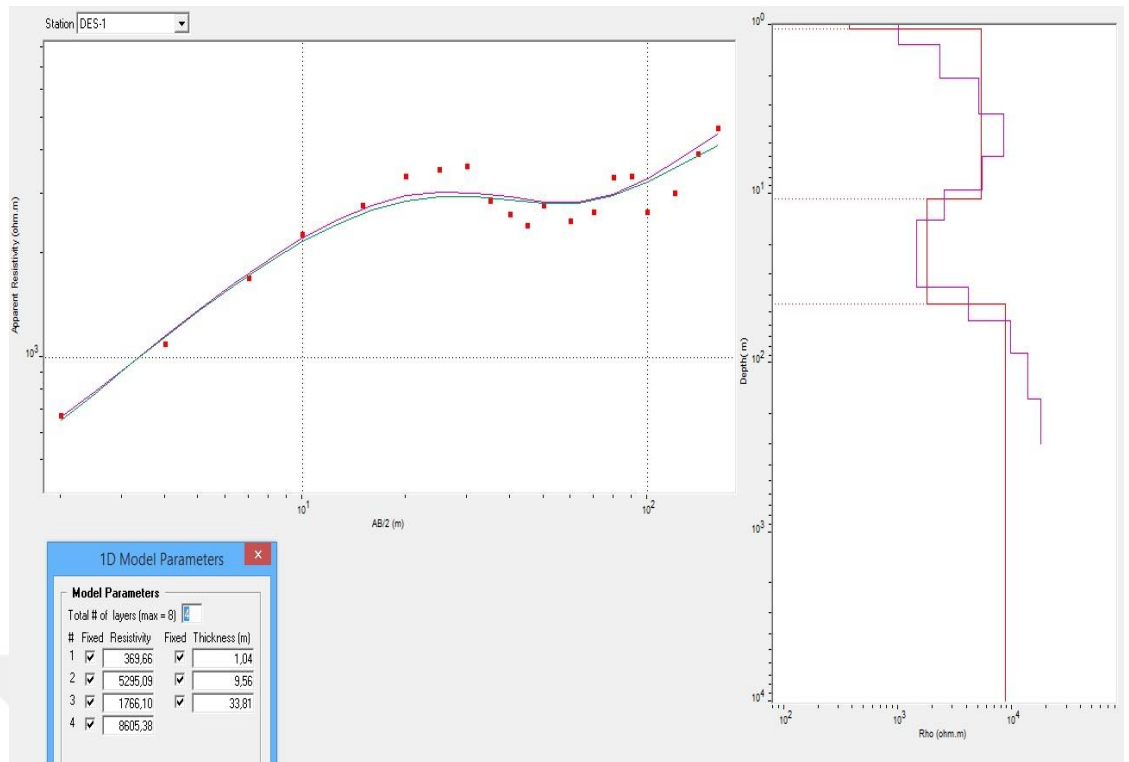
Şekil 16. İnceleme alanından alınan 2-boyutlu EÖT kesitleri

3.3. Düşey Elektrik Sondaj (DES) Çalışmaları

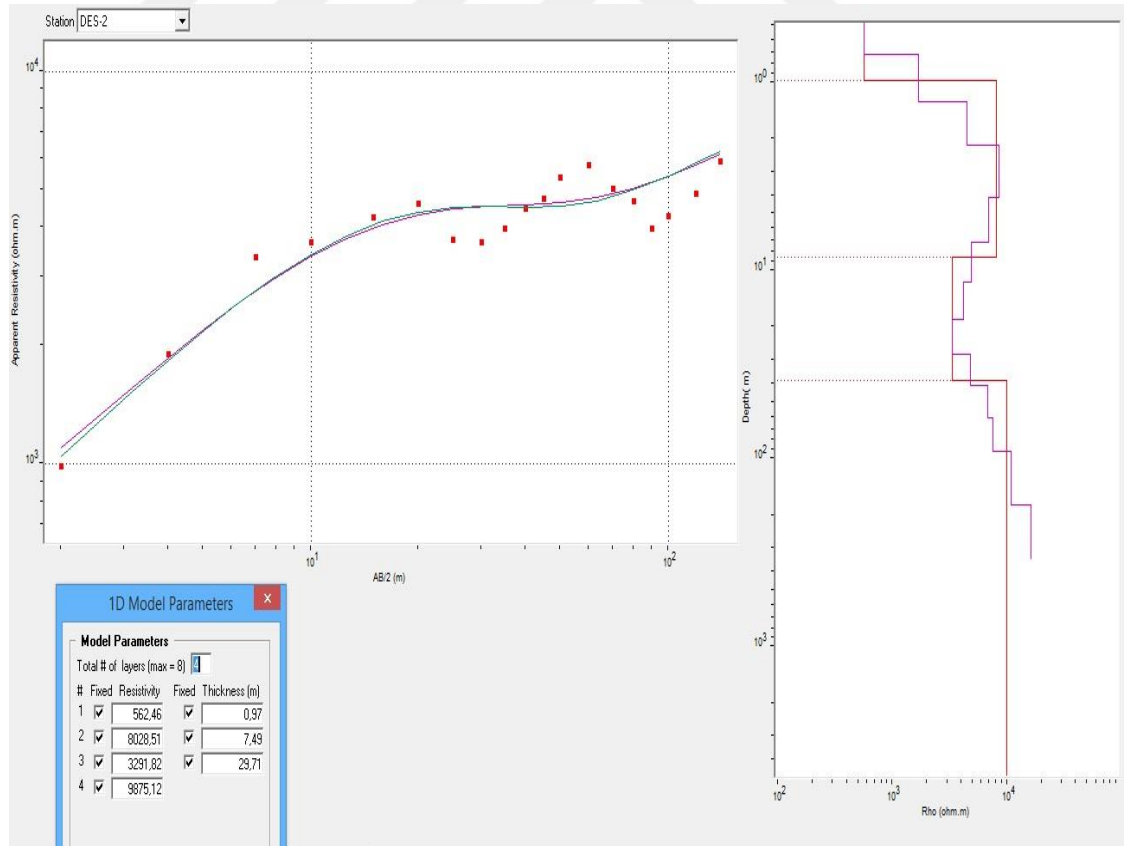
İnceleme alanı sınırları içerisindeki DES hatlarının lokasyonları Şekil-12’de verilmiştir. Çalışma alanında 11 noktada DES ölçümü alınarak inceleme alanı DES verilerine göre haritalanmıştır. Ölçümler DSİ yapımı tek kanallı, 600 watt 50 Hz 12-24 volt akü ile çalışan, 2 si potansiyel diğer 2 si akım elektrodu olmak üzere toplam 4 adet krom nikel elektrotlu, mA ve mV kısmı dijital ekranlı, A-B noktaları arasındaki 1000 + 1000 metre mesafeye kadar rahatlıkla ölçü alabilen GEOTRONICS Marka cihaz ile alınmıştır (Şekil 17). İnceleme alanından alınan 11 adet (DES-1_DES-11) DES verilerinin 1-boyutlu yer elektrik kesitleri Şekil 18- Şekil 28 arasında sırasıyla verilmiştir.



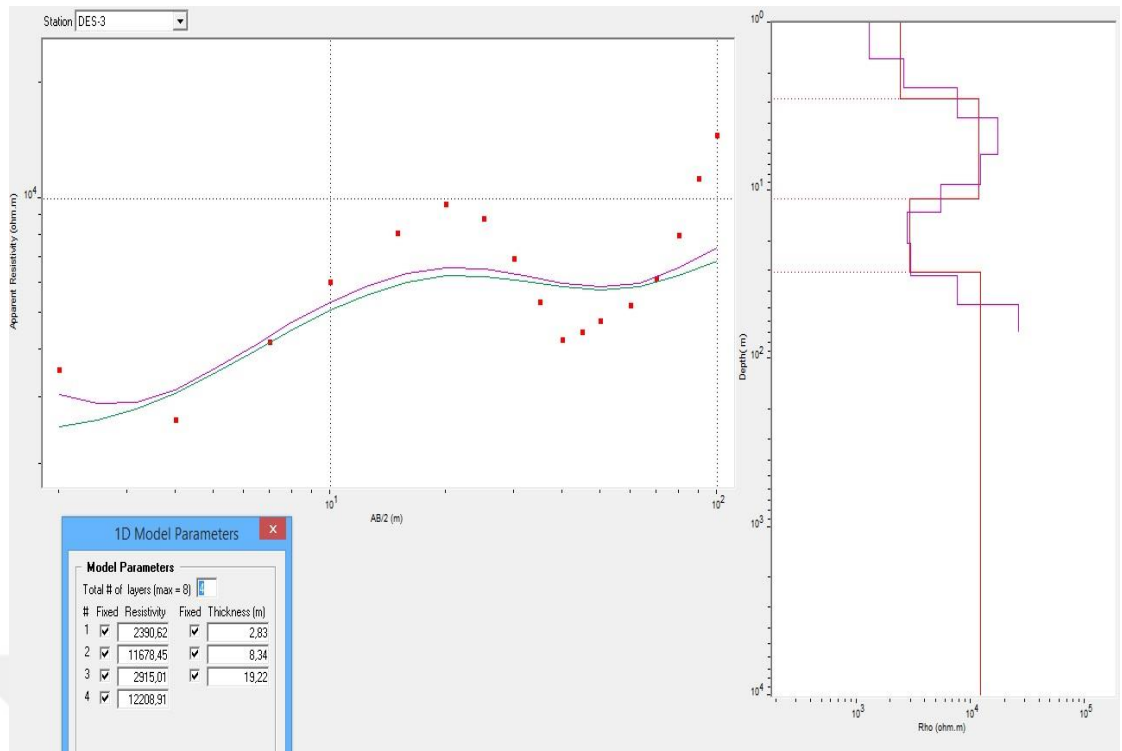
Şekil 17.İnceleme alanı sınırları içerisindeki 4 elektrot öz direnç cihazı kullanılarak yapılmış des ölçüm arazi çalışmaları



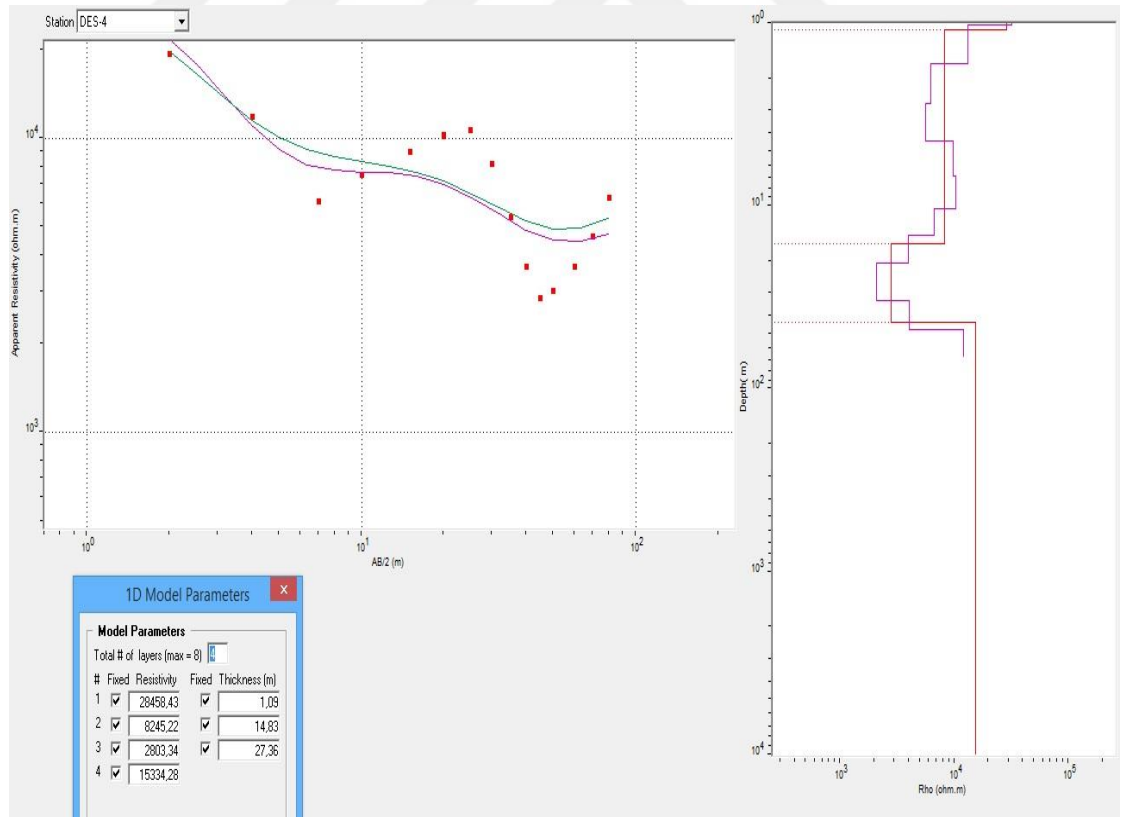
Şekil 18.DES 1 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



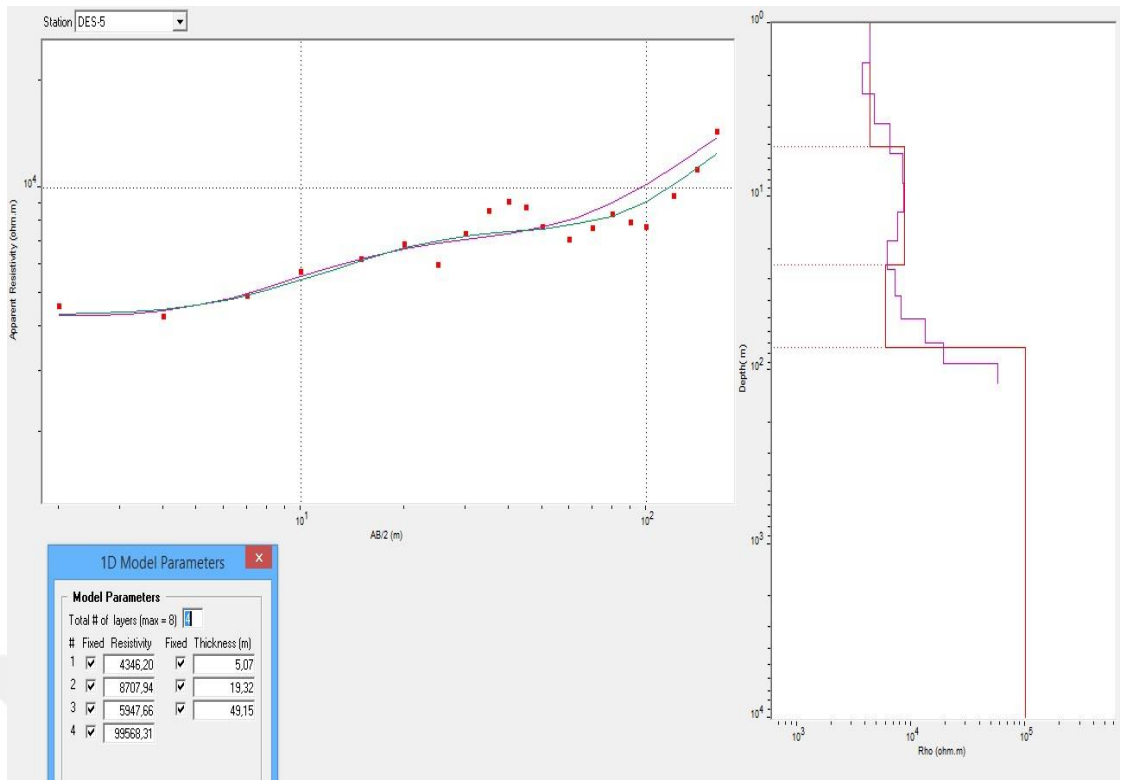
Şekil 19.DES 2 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



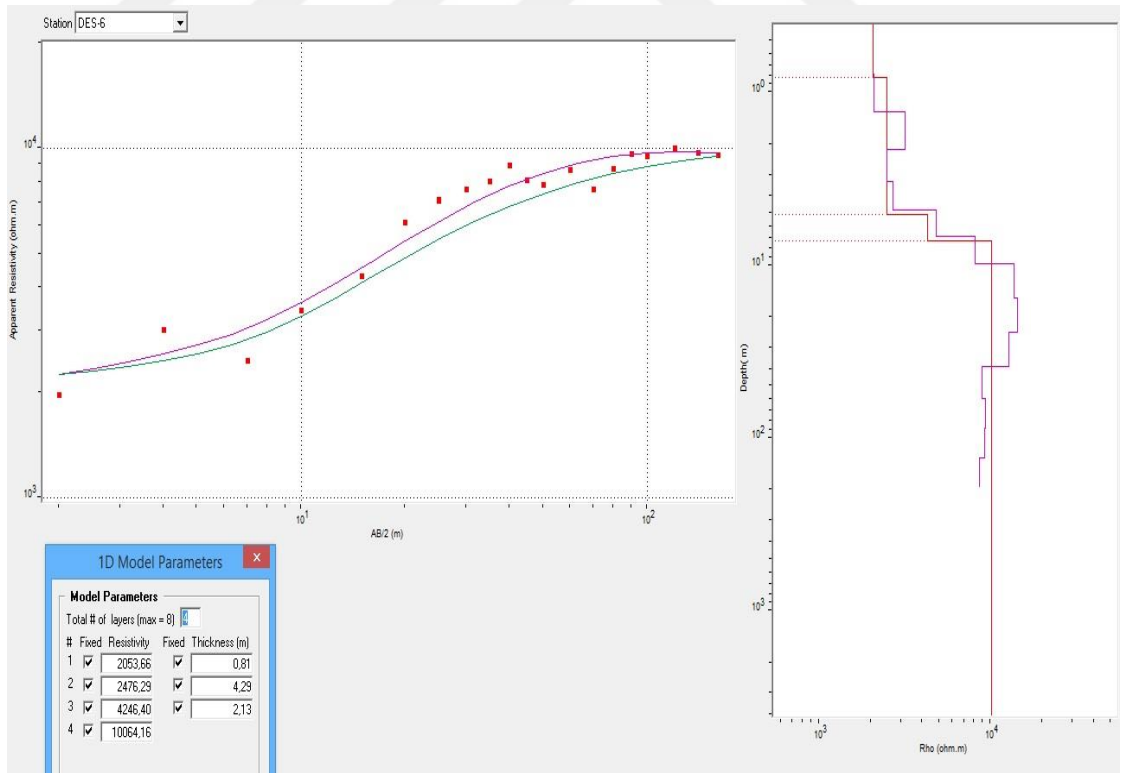
Şekil 20.DES 3 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



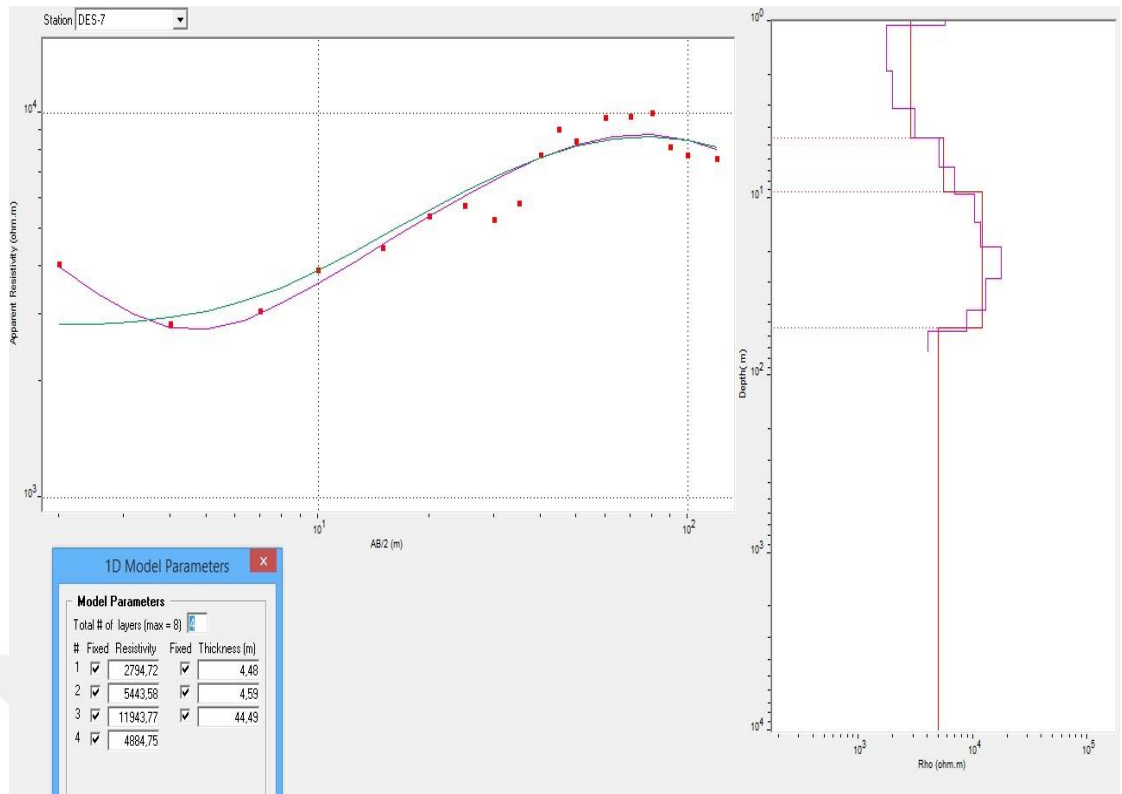
Şekil 21.DES 4 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



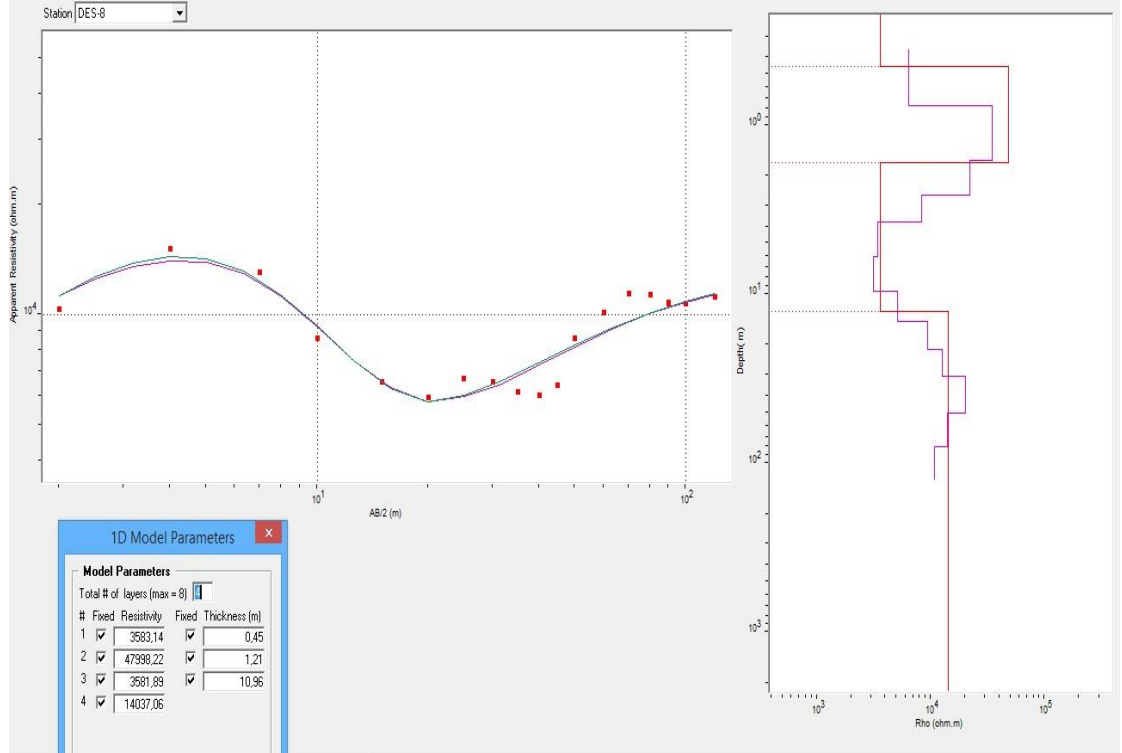
Şekil 22.DES 5 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



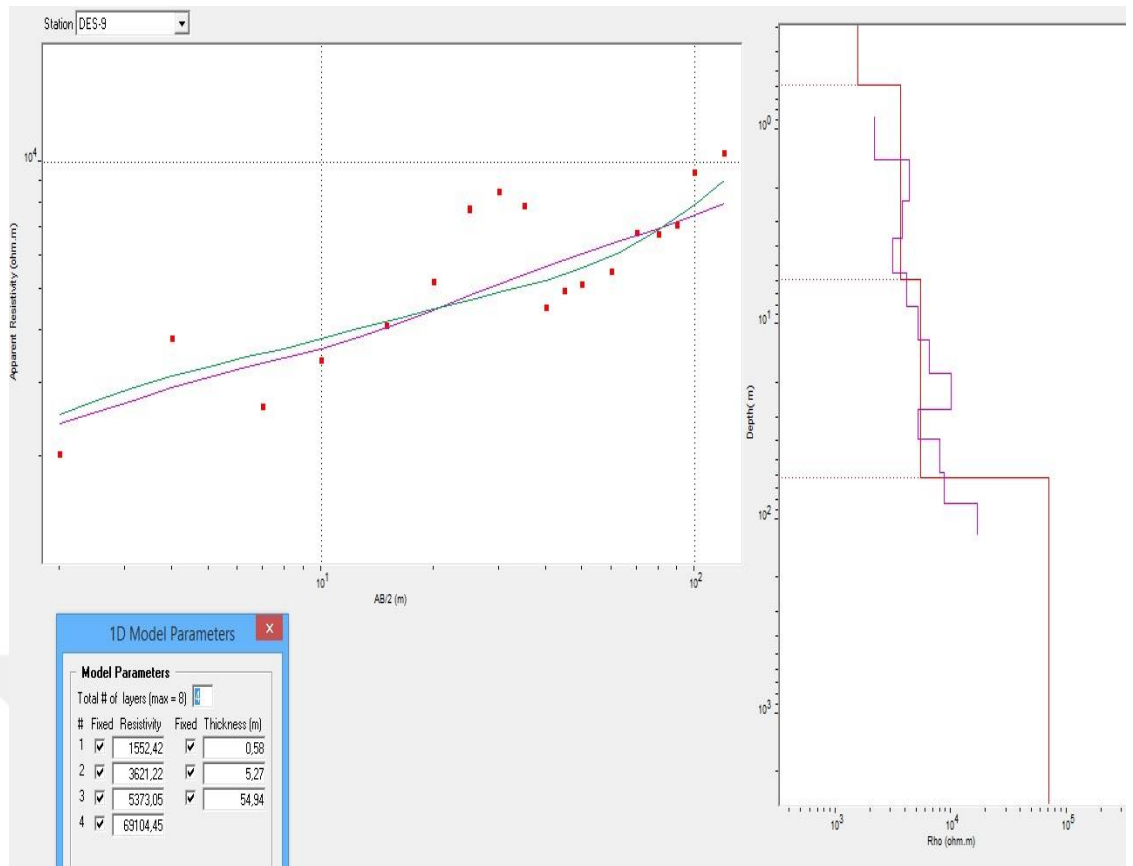
Şekil 23.DES 6 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



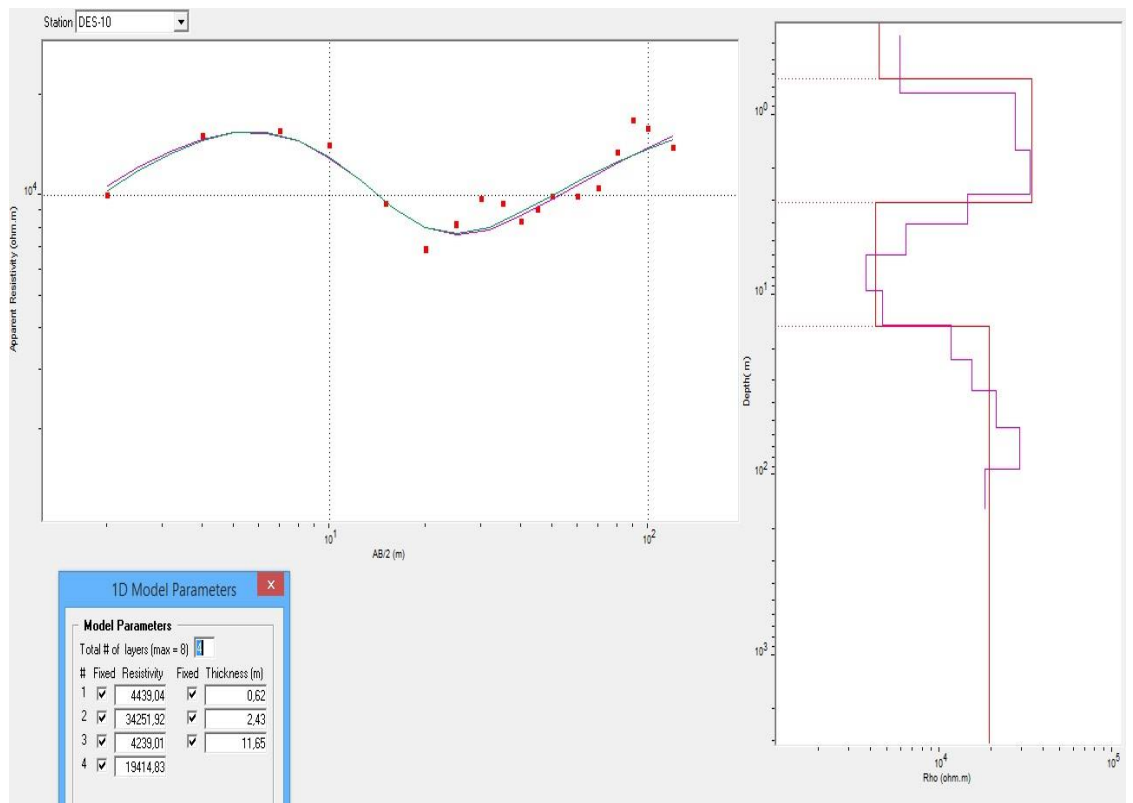
Şekil 24.DES 7 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



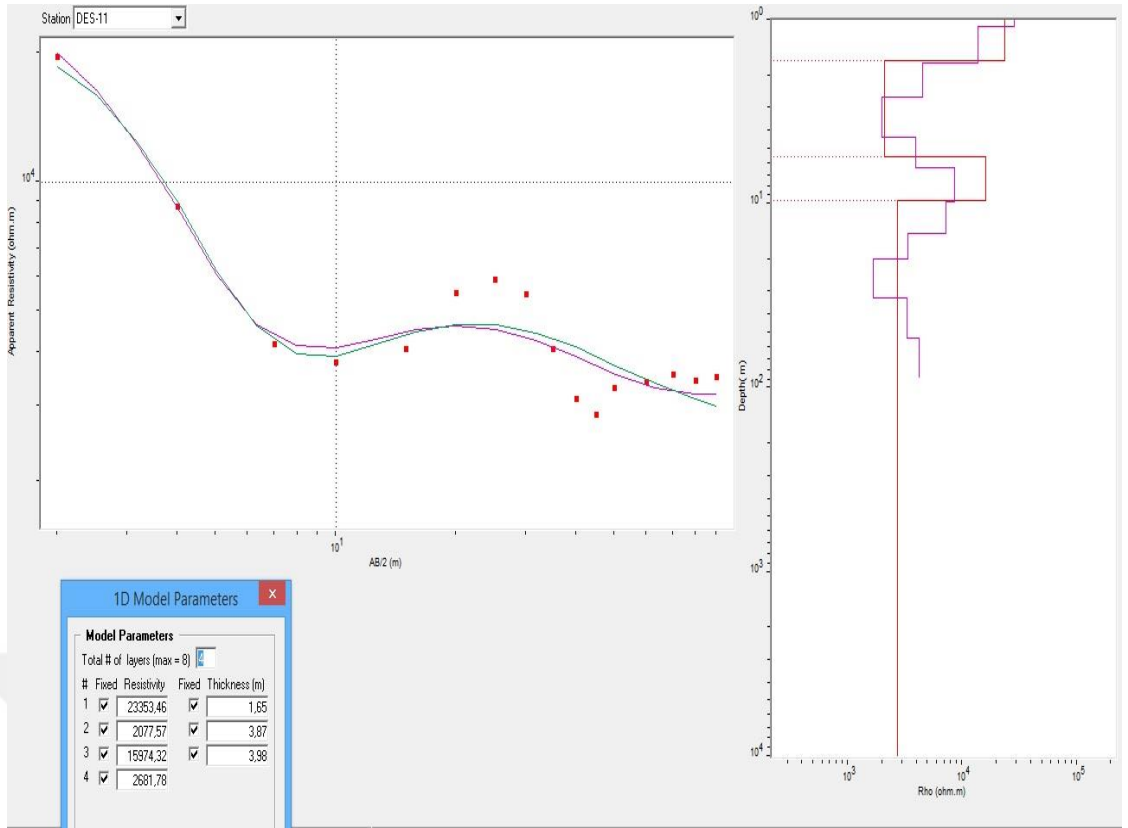
Şekil 25.DES 8 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



Şekil 26.DES 9 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



Şekil 27.DES 10 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti



Şekil 28.DES 11 noktası için schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç eğrisi ve 1 boyutlu yer elektrik kesiti

3.4. Sondaj Çalışması

İnceleme alanında 1 adet toplam 100 m uzunluğunda temel araştırma sondajı SK-1 ve işletme tarafından önceden açılmış SK-2 (60 m) sondajı jeofizik verilerle ilişkilendirilmiştir (Şekil 12). Açılan sondaj kuyusundan elde edilen karot resimleri ve belirlenen ilgili parametrelerin derinlikle değişimleri EK-3'te verilmiştir (Şekil 29).



Şekil 29. İnceleme alanı alınan sondaj işlemleri ve karot numune örnekleri

Açılan SK-1 sondaj kuyusunda 0-66m aralığında gri renkli boşluklu yapıda kireçtaşı, 66-95m aralığında granit bloklu kireçtaşı ve 95-105m aralığında ise Gri renkli kireçtaşı gözlemlenmiştir. SK-1 sondajında 32-38m aralıklarında iki seviyede toplamda 6m boşluk geçilmiştir.

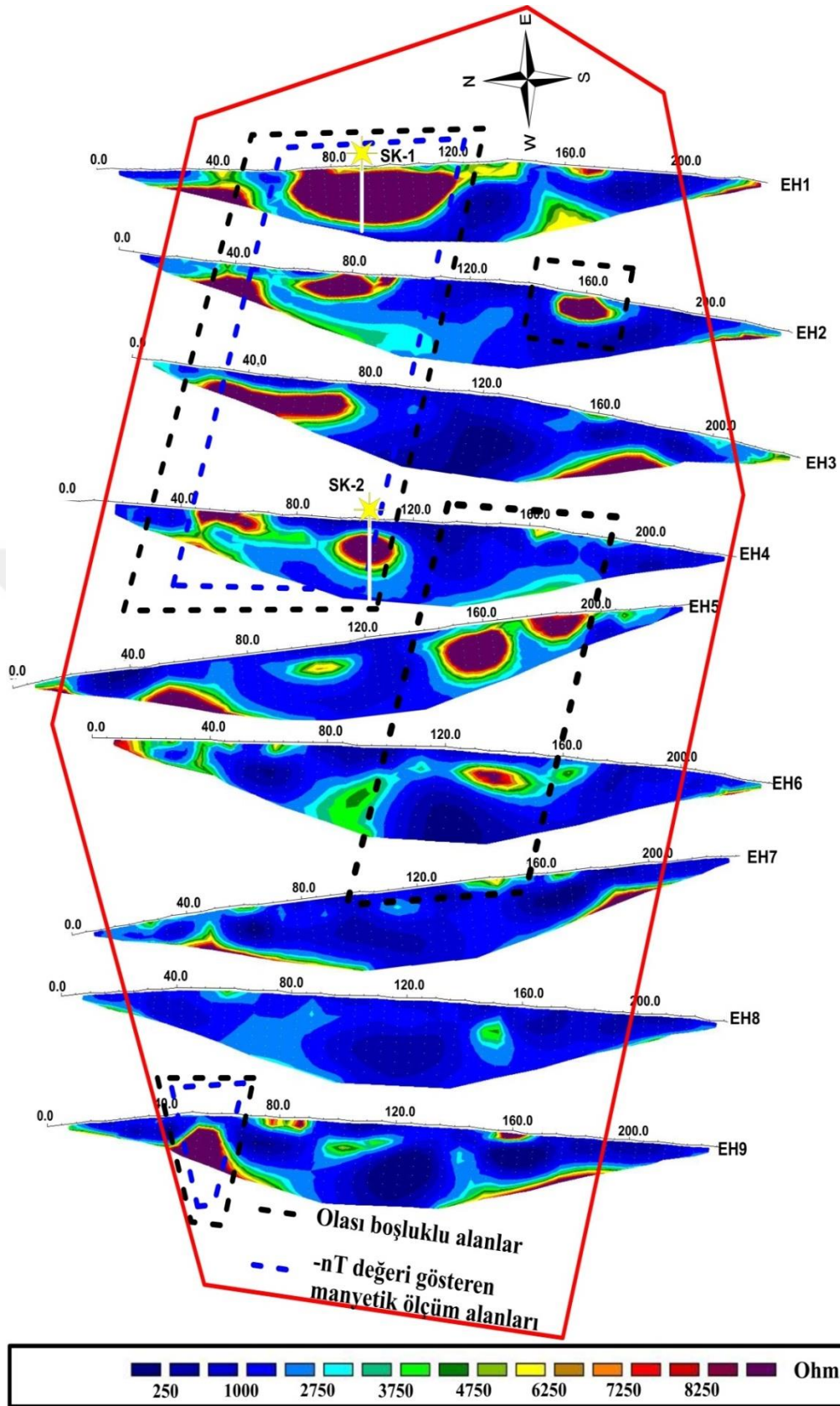
SK-2 sondaj kuyusunda 0-19,5m aralığında yer yer altere kireçtaşı, 19,5-23,70 aralığında kireçtaşı bloklu yer yer pritli granit, 23,70-26,20m aralığında granit bloklu kireçtaşı, 26,20-43,50m aralığında yer yer kılcal pritli kireçtaşı, 43,5-45,0m aralığında altere kireçtaşı, 45,0-50,0m aralığında boşluk, 50,0-57,60m aralığında altere zon ve 57,60-59,0m aralığında muhtemel cevherli, yer yer çinko yoğunluklu kireçtaşı birimleri geçilmiştir. SK-2 sondajında 43,50-59,0m aralığında 4 seviye halinde toplamda 11.50m boşluk geçilmiştir.

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

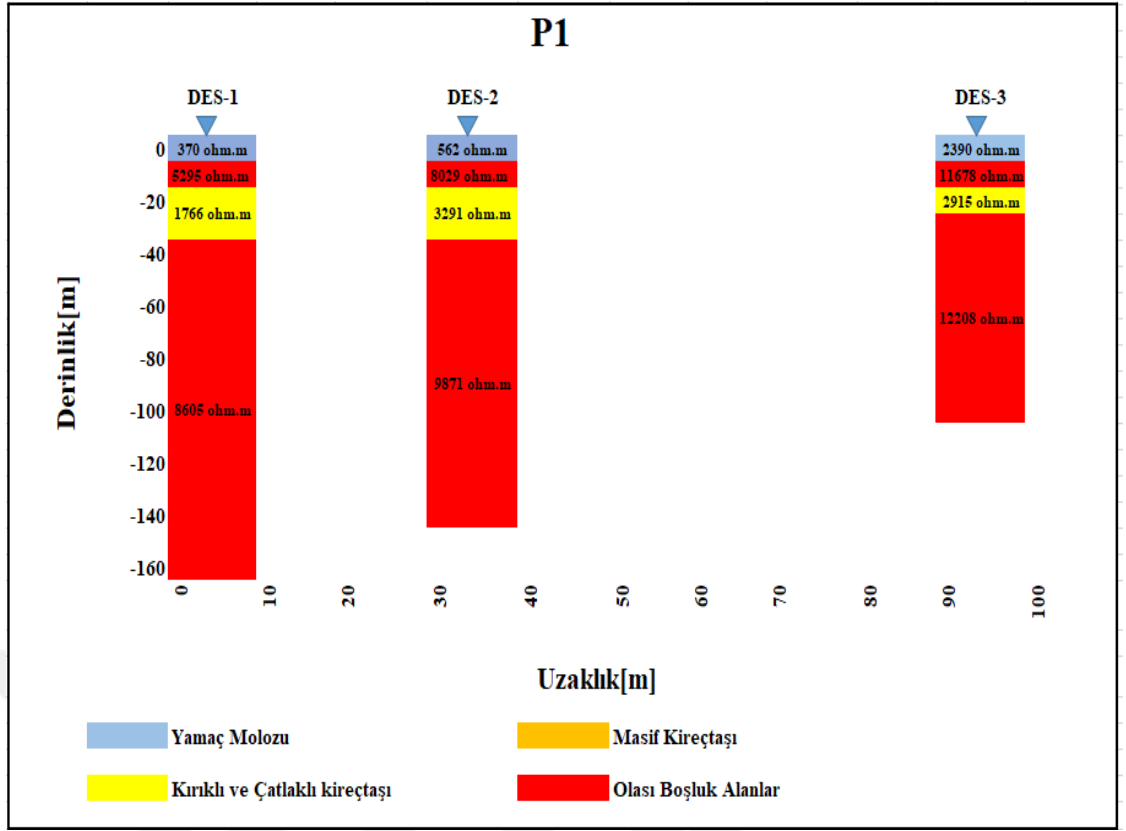
İnceleme alanında elde edilen derinlikle değişen öz direnç değerleri 1 ve 2 boyutlu olarak değerlendirilerek inceleme alanından alınan destekleyici yöntem olan manyetik ölçüm sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. İnceleme alanında alınan EH1-EH4 yer elektrik kesitleri incelendiğinde yüksek öz direnç değerleri gösteren yaklaşık 5000-15937 Ohm.m arasında değişen (siyah kesikli çizgilerle belirtilen) olası galeri boşluklarını karakterize ettiği belirlenmiştir. Bu durum EH1 hattının 90m uzaklığında alınan SK-1 sondaj verisinde 32-38m derinliklerde kesilen boşluk ile desteklenmiştir. EH1-EH4 hatlarında yüksek öz direnç değerleri gösteren (kırmızı renk ile belirtilen alanlarda) alanlarda manyetik veri sonuçlarında düşük grandyent değerleri (-nT, mavi renk ile gösterilen, Şekil 13) gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 30). EH4 elektrik hattı üzerinde alınan SK-2 sondaj kuyusunda 43-59m arasında kesilen boşluk yapılar aynı bölge ve derinlikteki yüksek öz direnç değerlerini (>5000 Ohm.m) karakterize etmektedir. P1 hattı boyunca alınan DES-1, DES-2 ve DES-3 düşey elektrik sondaj noktalarında 10-30m aralığında ve 40-160m aralığında yüksek öz direnç (>5000 Ohm) değerleri alınmıştır. Bu değerler yüzeye yakın alınan EÖT kesitlerindeki yüksek öz direnç değerlerini de doğrular niteliktedir (Şekil 31). EH2 hattının 160m uzaklığındaki yüzeyden 35 derinliğe kadar ulaşan yüksek öz dirençli (>5000 Ohm) alanın P2 profilindeki DES-7 noktasındaki öz direnç değerleri ile benzer sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 32). EH4-EH7 yer elektrik kesitleri incelendiğinde yüksek öz direnç değerleri gösteren yaklaşık 5000-23409 Ohm.m arasında değişen (siyah kesikli çizgilerle belirtilen) değerlerin olası galeri boşluklarını karakterize ettiği belirlenmiştir (Şekil 30). P3 profilini incelediğimizde DES-4, DES-5 ve DES-6 düşey

elektrik sondaj ölçümlerinin hem sığ hem de derinden yüksek özdirenç (>5000 Ohm) değerlerini gösterdiği bu değerlerde olası galeri boşlukları iltimalini artırmaktadır. Ayrıca aynı bölgede olan EH6-EH8 EÖT hatlarıyla da uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 33). P4 profilini incelediğimizde DES-8, DES-9, DES-10 ve DES-11 düşey elektrik sondaj ölçümlerinin 20-120m derinliğinde yüksek özdirenç (19000-69000 Ohm.m) değerlerini gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 34).

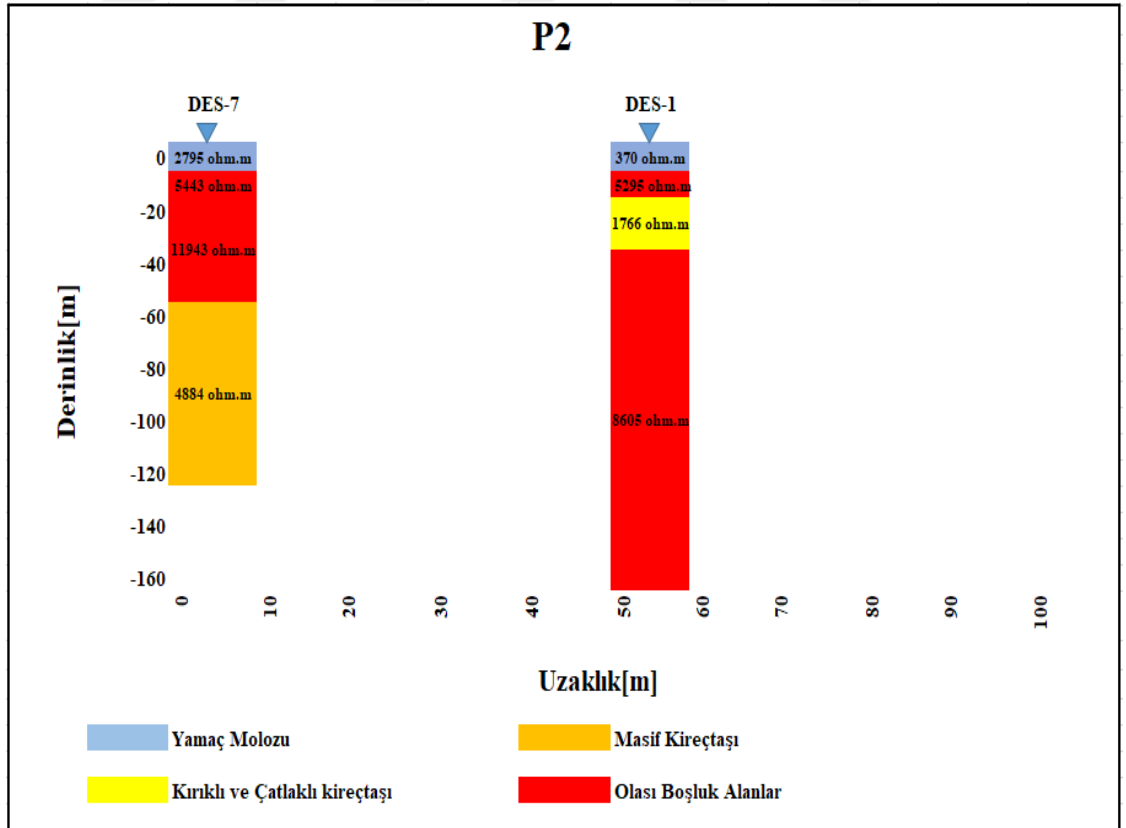




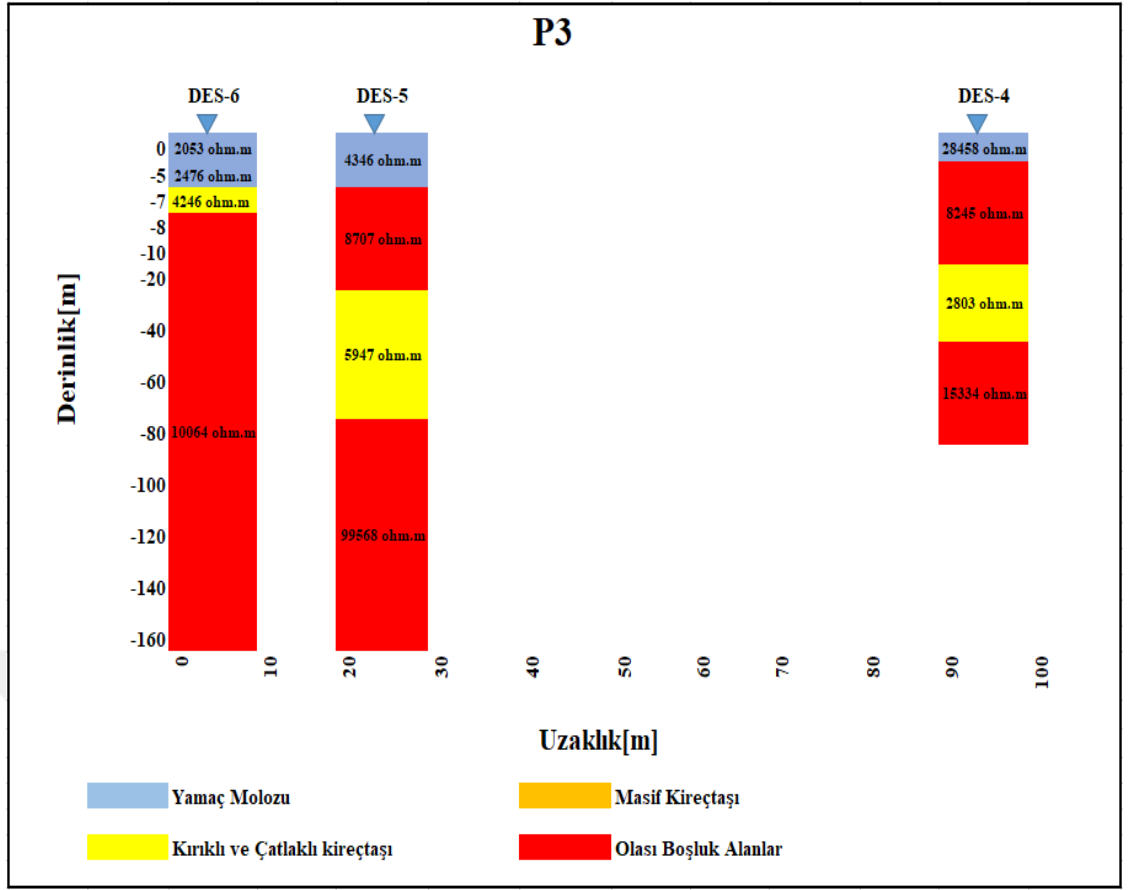
Şekil 30. İnceleme alanı ölçeksiz yorumlanmış EÖT hatları



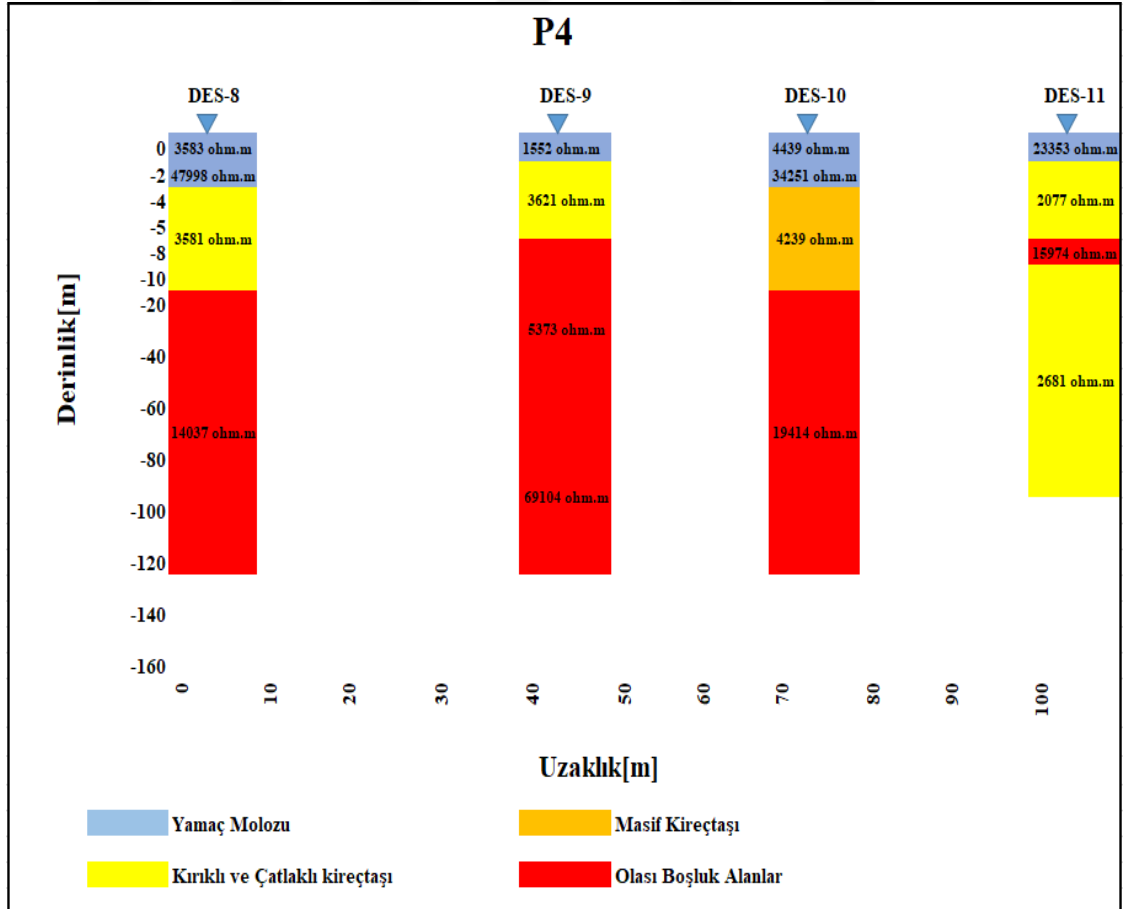
Şekil 31. P1 hattı derinlikle değişen öz direnç değerleri



Şekil 32. P2 hattı derinlikle değişen öz direnç değerleri



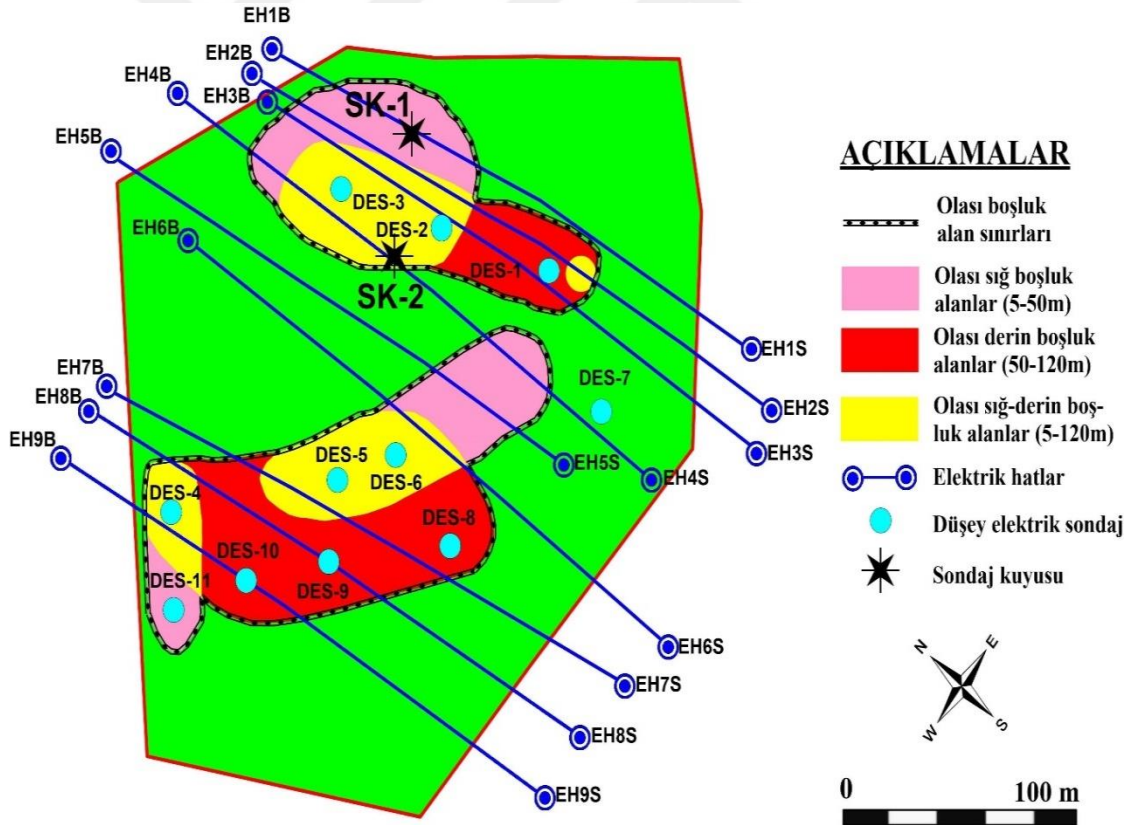
Şekil 33. P3 hattı derinlikle değişen özdirenç değerleri



Şekil 34. P4 hattı derinlikle değişen özdirenç değerleri

Yüksek öz direnç değerlerine sahip bu alanlarda olası galeri boşluklarının olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, EH9 hattında 40-80m arasında 40m derinliğe kadar uzanan yüksek öz direnç değerleri (5000-12000 Ohm.m), DES-10 ölçüm noktasıyla aynı derinlikte benzer sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Bu bölgede manyetik verilere göre düşük granyet değerleri (-30nT/m- -90nT/m aralığında) görüldüğü tespit edilmiştir.

EÖT ve DES verileri entegre bir şekilde değerlendirilerek olası galeri boşlukları ve konumları tespit edilerek galeri boşluk modeli geliştirilmiştir (Şekil 35). Bu modelde EÖT kesitleriyle belirlenen sığ boşluklar ve derinlik seviyeleri inceleme alanı üzerinde mor renk ile sınırlandırılmıştır. DES verilerinden belirlediğimiz derindeki boşluk ihtimali yüksek alanlar kırmızı renk ile sınırlandırılmıştır. Hem sığ hem derin boşluk ihtimali yüksek alanlar sarı renk ile sınırlandırılarak önceden işletilmiş maden sahası için olası galerilerin konumlarının belirlenmesine yönelik bir model ortaya koyulmuştur.



Şekil 35. İnceleme alanı olası galeri alanları tespit modeli

5.SONUÇLAR

Gümüşhane İli Karamustafa Köyü'nde bulunan önceden işletilmiş maden ocağı sahasında (Köstürelilik Tepesi) jeofizik yöntemler kullanılarak olası galeri boşlukları tespit edilerek elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- EÖT ve DES ölçümlerinde yüksek öz direnç (5000-69000 Ohm.m) değerlerine sahip alanların olası galeri boşluk alanları karakterize ettiği tespit edilmiştir.
- EH1-EH4 ve EH9 EÖT kesitlerinin olduğu yüksek öz direnç değerlerine (5000-23000 Ohm.m) sahip olası galeri boşluklu alanlarda düşük gradyent değerleri elde edilerek (-30nT/m- -90nT/m aralığında) derine açılmış çukurların, geniş ama sığ derinliklerde bulunanlara göre daha güçlü anomaliler ürettiği gözlemlenmiştir.
- EÖT kesitlerinde yüksek öz direnç değerlerine sahip olası galeri ihtimali alanlar SK-1 ve SK-2 sondajları ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkiye göre EH1 ve EH4 hatlarında yüksek öz direnç (>5000 Ohm.m) büyük alanlar aynı derinliklerde sondaj verilerinde boşluk kesilerek elde edilen sonuçların doğruluğunu kanıtlar niteliğindedir.
- EÖT ve DES verileri entegre bir şekilde değerlendirilerek olası galeri boşlukları ve konumları tespit edilerek galeri boşluk modeli geliştirilmiştir. Bu modelde EÖT kesitleriyle belirlenen sığ boşluklar ve derinlik seviyeleri inceleme alanı üzerinde mor renk ile sınırlandırılmıştır. DES verilerinden belirlediğimiz derindeki boşluk ihtimali yüksek alanlar kırmızı renk ile sınırlandırılmıştır. Hem sığ hem derin boşluk ihtimali yüksek alanlar sarı renk ile sınırlandırılmıştır.
- Tüm yöntemlerden elde edilen veriler değerlendirilerek eskiden ilkel yöntemler ile açılan galerilerin tekrar jeofizik yöntemlerle tespit edilip, günümüz koşullarında yeniden işletilmesi planlanan bu galeri için ön bir galeri boşluk modeli ortaya koyulmuştur.
- Düşey Elektrik Sondaj (DES) eğrilerini yeraltı suyu açısından değerlendirdiğimizde ileride muhtemel açılacak galerilerde sıkıntı yaşanmaması ve gerekli iş güvenliği önlemlerinin alınması açısından önem arz ettiği görülmektedir. Bu eğrilerin yeraltı suyu açısından değerlendirilmesi neticesinde; DES-1 için 0 mt ile 45 mt arası, DES-2 için 20 mt ile 30 mt ve 60 mt ile 90 mt araları, DES-3 için 20 mt ile 40 mt arası, DES-4 için 25 mt ile 45 mt arası, DES-5 için 40 mt ile 60 mt ve 80 mt ile 100 mt araları, DES-6 için 40 mt ile 55 mt arası, DES-7 için 80 mt ile 120 mt arası, DES-8 için 6 mt ile 20 mt, 25 mt ile 40 mt ve 70 mt ile 100 mt araları, DES-9 için 30 mt ile 40 mt arası, DES-10 için 7 mt ile 20 mt, 30 mt ile 40 mt ve 80

mt ile 120 mt araları ve DES-11 için 25 mt ile 45 mt arası muhtemel su geçişleri olabileceği yorumlanmıştır.



KAYNAKÇA

- Abdullah, F. M., Loke, M. H., Nawawi, M. N., and Abdullah, K. (2017, May). Performance evaluation for an optimized resistivity array and conventional arrays in mapping near surface geophysical features. In International Geophysical Conference, Qingdao, China, 17-20 April 2017, 295-298. Society of Exploration Geophysicists and Chinese Petroleum Society.
- Abed, A. M., Ali, K. K., and Al-Hadithy, A. H. (2022). Resistivity surveys application for detection of shallow caves in a case example from Western Iraq. Iran. J. Earth Sci, 14(3), 178-185.
- ABEM Instrument AB (2006) Terrameter SAS4000/SAS1000 LUND Imaging System, Instruction Manual
- Abu-Zeid, N., Bianchini, G., Santarato, G. and Vaccaro, C. (2004). Geochemical characterisation and geophysical mapping of Landfill leachates: the Marozzo canal case study (NE Italy). *Environmental geology*, 45, 439-447.
- Affleck, J. (1958). Interrelationships between magnetic anomaly components. *Geophysics*, 23(4), 738-748.
- Akçıĝ, Z., ve Pınar, R. (1995). Bandırma-Kösemtuĝ tümölüsünde manyetik ve SP uygulamaları. *Jeofizik Dergisi*, 9(1).
- Arisoy, M. Ö., and Kaya, C. (2014). The Selection of Different Sensor Intervals in VEÖTical Magnetic Gradiometer Method. *Yerbilimleri Dergisi*, 35, 141-168.
- Aristodemou, E., and Thomas-Betts, A. (2000). DC resistivity and induced polarisation investigations at a waste disposal site and its environments. *Journal of Applied Geophysics*, 44(2-3), 275-302.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ., and Kaygusuz, A. (2014). K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 108, 245-267.
- Aydınçakır, E. (2014). The petrogenesis of Early Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on the geodynamic implications. *Lithos*, 208, 361-377.
- Babacan, A. E., and Akın, Ö. (2018). The investigation of soil–structure resonance of historical buildings using seismic refraction and ambient vibrations HVSr measurements: a case study from Trabzon in Turkey. *Acta Geophysica*, 66, 1413-1433.

- Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Erhan, Z., and Levent Ekinci, Y. (2012). Exploration for a cave by magnetic and electrical resistivity surveys: Ayvacık Sinkhole example, Bozdağ, İzmir (western Turkey). *Geophysics*, 77(3), 135-146.
- Barker, R. D. (1981). The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophysical prospecting*, 29(1), 128-143.
- Barongo, J. O. (1985). Method for depth estimation on aeromagnetic vertical gradient anomalies. *Geophysics*, 50(6), 963-968.
- Bharti, A. K., Pal, S. K., Priyam, P., Kumar, S., Srivastava, S., and Yadav, P. K. (2016). Subsurface cavity detection over Patherdih colliery, Jharia Coalfield, India using electrical resistivity tomography. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-17.
- Bharti, A. K., Pal, S. K., Priyam, P., Pathak, V. K., Kumar, R., and Ranjan, S. K. (2016). Detection of illegal mine voids using electrical resistivity tomography: the case-study of Raniganj coalfield (India). *Engineering Geology*, 213, 120-132.
- Bharti, A. K., Singh, K. K. K., Ghosh, C. N., and Mishra, K. (2022). Detection of subsurface cavity due to old mine workings using electrical resistivity tomography: A case study. *Journal of Earth System Science*, 131(1), 39.
- Belshé, J. C. (1957). Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Advances in Physics*, 6(22), 192-193.
- Binley, A., Cassiani, G., Middleton, R., and Winship, P. (2002). Vadose zone flow model parameterisation using cross-borehole radar and resistivity imaging. *Journal of Hydrology*, 267(3-4), 147-159.
- Butler, D. K. (1984). Microgravimetric and gravity gradient techniques for detection of subsurface cavities. *Geophysics*, 49(7), 1084-1096.,
- Castillo, R. R., and Gutiérrez, R. R. (1992). Resistivity identification of shallow mining cavities in Real del Monte, México. *Engineering Geology*, 33(2), 141-149.
- Dahlin, T., Loke, M. H., Siikanen, J., and Höök, M. (2014, September). Underwater EÖT survey for site investigation for a new line for Stockholm Metro. In Near Surface Geoscience 2014-20th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 2014, 1-5. *European Association of Geoscientists & Engineers*.

- Das, P., and Mohanty, P. R. (2016). Resistivity imaging technique to delineate shallow subsurface cavities associated with old coal working: a numerical study. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-12.
- Diallo, A. M., Konaté, A. A., Oularé, F., and Zaheer, M. (2024). Vulnerability of groundwater to pollution at the Dabiss bauxite mining area, Boké Prefecture, Republic of Guinea. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 8(3), 339-358.
- Dobecki, T. L., and Upchurch, S. B. (2006). Geophysical applications to detect sinkholes and ground subsidence. *The Leading Edge*, 25(3), 336-341.
- Eker, C. S., Sipahi, F., and Kaygusuz, A. (2012). Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias chEÖTs in Gumushane, NE Turkey. *Geochemistry*, 72(2), 167-177.
- El-Qady, G., Hafez, M., Abdalla, M. A., and Ushijima, K. (2005). Imaging subsurface cavities using geoelectric tomography and ground-penetrating radar. *Journal of cave and karst studies*, 67(3), 174-181.
- Erginal, A. E., Ekinci, Y. L., Demirci, A., Avcioğlu, M., Öztürk, M. Z., Türkeş, M., and Yiğitbaş, E. (2013). Depositional characteristics of carbonate-cemented fossil eolian sand dunes: Bozcaada Island, Turkey. *Journal of Coastal Research*, 29(1), 78-85.
- Fasani, G. B., Bozzano, F., Cardarelli, E., and Cercato, M. (2013). Underground cavity investigation within the city of Rome (Italy): A multi-disciplinary approach combining geological and geophysical data. *Engineering Geology*, 152(1), 109-121.
- Ford, D., and Williams, P. D. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley ve Sons.
- Frid, V., Averbach, A., Frid, M., Dudkinski, D., and Liskevich, G. (2017). Statistical analysis of resistivity anomalies caused by underground caves. *Pure and Applied Geophysics*, 174, 997-1012.
- Godio, A., Socco, L. V., and Ranieri, G. (1995, May). Detection of Old Mine Cavities. In 57th EAGE Conference and Exhibition (pp. cp-90). *European Association of Geoscientists & Engineers*.
- Gourry, J. C., and Moldoveanu, T. (1997, January). Evaluation of earth-fill embankments in Romania using electrical methods and ground penetrating radar. In Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 1997, 311-320. *Society of Exploration Geophysicists*.

- Griffiths, D. H., and Turnbull, J. (1985). A multi-electrode array for resistivity surveying. *First break*, 3(7).
- Griffiths, D. H., and Barker, R. D. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of applied Geophysics*, 29(3-4), 211-226.
- Gücer, M. A., Aydınçakır, E., Yücel, C., ve Akaryalı, E. (2017). Tersiyer yaşlı Altınpınar hornblendli andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) petrografisi, mineral kimyası ve PT kristalleşme koşulları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 236-267.
- Henderson, R. G., and Zietz, I. (1949). The upward continuation of anomalies in total magnetic intensity fields. *Geophysics*, 14(4), 517-534.
- Hood, P. J., and Teskey, D. J. (1989). Aeromagnetic gradiometer program of the Geological Survey of Canada. *Geophysics*, 54(8), 1012-1022.
- İşbilir, Z. (2012). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü hizmet içi eğitim etkinliklerinin değerlendirilmesi (Master's thesis, Eğitim Bilimleri Enstitüsü).
- James, P., and Ferreira, P. (2013). Geophysical modeling of typical cavity shapes to calculate detection probability and inform survey design. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 18(4), 297-316.
- Karsli, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R., and Wijbrans, J. (2010). Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination. *Lithos*, 114(1-2), 109-120.
- Karsli, O., Uysal, I., Dilek, Y., Aydın, F., and Kandemir, R. (2013). Geochemical modelling of early Eocene adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Anatolia: continental crust or subducted oceanic slab origin?. *International Geology Review*, 55(16), 2083-2095.
- Kaufmann, G., Romanov, D., and Nielbock, R. (2011). Cave detection using multiple geophysical methods: Unicorn cave, Harz Mountains, Germany. *Geophysics*, 76(3), 71-77.
- Kaygusuz, A., Şen, C., ve Aslan, Z. (2006). Torul (Gümüşhane) Volkaniklerinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri (KD Türkiye); Fraksiyonel Kristallenme ve Magma Karışımına İlişkin Bulgular. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49(1), 49-81.
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Yi, K., Jeong, Y. J., ... and Sipahi, F. (2020). Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Insights into magma genesis and magma-tectonic evolution from whole-rock

- geochemistry, geochronology and isotope systematics. *International Geology Review*, 62(11), 1406-1432.
- Kneisel, C., Hauck, C., Fortier, R., and Moorman, B. (2008). Advances in geophysical methods for permafrost investigations. *Permafrost and periglacial processes*, 19(2), 157-178.
- Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C. J., Nettles, M., Ward, S. N., Aster, R. C., ... and Sipkin, S. (2005). The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 december 2004. *Science*, 308(5725), 1127-1133.
- Lazzari, M., Lopeöte, A., and Perrone, A. (2010). Near surface geophysics techniques and geomorphological approach to reconstruct the hazard cave map in historical and urban areas. *Advances in Geosciences*, 24, 35-44.
- Lermi, A. (2003). Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelemesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Leucci, G., and De Giorgi, L. (2005). Integrated geophysical surveys to assess the structural conditions of a karstic cave of archaeological importance. *Natural hazards and earth system sciences*, 5(1), 17-22.
- Loke, M. H., and Dahlin, T. (2002). A comparison of the Gauss–Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of applied geophysics*, 49(3), 149-162.
- Loke, M. H., Wilkinson, P. B., Chambers, J. E., and Strutt, M. (2014). Optimized arrays for 2D cross-borehole electrical tomography surveys. *Geophysical Prospecting*, 62(1), 172-189.
- Maillol, J. M., Seguin, M. K., Gupta, O. P., Akhauri, H. M., and Sen, N. (1999). Electrical resistivity tomography survey for delineating uncharted mine galleries in West Bengal, India. *Geophysical prospecting*, 47(2), 103-116.
- Martínez-Pagán, P., Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., and Manteca, J. I. (2010, October). Detecting the occurrence of shallow mining cavities by electrical resistivity imaging method. A study case on the Victoria Cave, Cartagena (SE Spain). In SEG International Exposition and Annual Meeting (SEG-2010). SEG
- Martínez-López, J., Rey, J., Duenas, J., Hidalgo, C., and Benavente, J. (2012). Electrical resistivity imaging survey to detect uncharted mine galleries in the mining district of Linares, Jaen, Spain. *Journal of Geophysics and Engineering*, 9(1), 82-89.

- Martínez-Pagán, P., Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Manteca, J. I., and Rosique, M. (2013). The electrical resistivity tomography method in the detection of shallow mining cavities. A case study on the Victoria Cave, Cartagena (SE Spain). *Engineering geology*, 156, 1-10.
- Matei, M., and Dumitru, I. Using Magnetism For Buried Military Targets.
- Mochales, T., Casas, A. M., Pueyo, E. L., Pueyo, O., Román, M. T., Pocoví, A., ... and Ansón, D. (2008). Detection of underground cavities by combining gravity, magnetic and ground penetrating radar surveys: a case study from the Zaragoza area, NE Spain. *Environmental Geology*, 53, 1067-1077.
- Nassir, S. A., Loke, M. H., Lee, C. Y., and Nawawi, M. N. M. (2000). Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys. *Geophysical Prospecting*, 48(4), 647-661.
- Negri, S., Margiotta, S., Quarta, T. A., Castiello, G., Fedi, M., and Florio, G. (2015). Integrated Analysis Of Geological And Geophysical Data For The Detection Of Underground Man-Made Caves In An Area In Southern Italy. *Journal of Cave and Karst Studies*, 77(1).
- Özdemir, A., and Palabiyik, Y. (2019, October). A new method for geological interpretation of 3D MT (Magnetotelluric) depth maps of high-temperature and deep geothermal fields: A case study from Western Turkey. *In 2nd International Congress on Applied Sciences*, 28-30.
- Pasierb, (2012) T. G. B. Analiza możliwości i ograniczeń zastosowania metody GPR i EÖT w archeologii z wykorzystaniem wyników modelowania numerycznego. *Metody geofizyczne w archeologii polskiej*, 26.
- Pelin, S. (1977). Geological study of the area southeast of Alucra (Giresun) with special reference to its petroleum potential. Karadeniz teknik universitesi, *Yerbilimleri dergisi, Jeoloji*, 1, 15-20.
- Putiška, R., Kušnirák, D., Dostál, I., Lačný, A., Mojzess, A., Hok, J., ... and Bošanský, M. (2014). Integrated Geophysical And Geological Investigations Of Karst Structures In Komberek, Slovakia. *Journal Of Cave & Karst Studies*, 76(3).
- Revil, A., Naudet, V., and Meunier, J. D. (2004). The hydroelectric problem of porous rocks: inversion of the position of the water table from self-potential data. *Geophysical Journal International*, 159(2), 435-444.
- Rybakov, M., Rotstein, Y., Shirman, B., and Al-Zoubi, A. (2005). Cave detection near the Dead Sea—a micromagnetic feasibility study. *The Leading Edge*, 24(6), 585-590.

- Siikanen, J., Lindvall, E., and Larsson, A. F. (2019, September). EÖT Survey for Identifying Mine Shafts in a Area of Municipality of Höganäs, Sweden. In 25th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 2019(1), 1-5. *European Association of Geoscientists & Engineers*.
- Sipahi, F., Sadıklar, M. B., and Şen, C. (2014). Geochemical and Sr–Nd isotopic characteristics of Murgul (Artvin) volcanic rocks in the Eastern Black Sea region (northeast Turkey). *Geochemistry*, 74(3), 331-342.
- Souplos, P., and Hinojosa-Prieto, H. (2021, March). Historic Mineshaft and Mine Gallery Identification with 2D Electrical Resistivity Imaging (Northern Mexico). In First EAGE Conference on Near Surface in Latin America, 2021(1), 1-5. *European Association of Geoscientists & Engineers*.
- Srivastava, S., Pal, S. K., and Kumar, R. (2020). A time-lapse study using self-potential and electrical resistivity tomography methods for mapping of old mine working across railway-tracks in a part of Raniganj coalfield, India. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-19.
- Srivastava, S., Kumar, R., Pal, S. K., and Bhattacharjee, R. M. (2024). Mapping of old coal mine galleries near railway track using electrical resistivity tomography and magnetic approaches in Tundu, Jogidih Colliery, Jharia Coalfield, India. *Journal of Earth System Science*, 133(2), 57.
- Temizel, I., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E., and Ruffet, G. (2016). Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos*, 258, 92-114.
- Tezcan, D., Yücel, M., and Çiftçi, G. (2017). Geology and geophysics of the southern shelf of the Black Sea. Sea Marine Environment: The Turkish Shelf. *Turkish Marine Research Foundation, İstanbul, Turkey*, 32-51.
- Tokel, N. E., and Bard, A. J. (1972). Electrogenerated chemiluminescence. IX. Electrochemistry and emission from systems containing tris (2, 2'-bipyridine) ruthenium (II) dichloride. *Journal of the American Chemical Society*, 94(8), 2862-2863.
- Türkoğlu, E. (2003). Geçici elektromanyetik ve doğru akım elektrik öz direnç verilerinin ortak ters çözümü: Avcılar örneği (Doctoral dissEÖTation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Van Overmeeren, R. A., and Ritsema, I. L. (1988). Continuous vertical electrical sounding. *First Break*, 6(10).

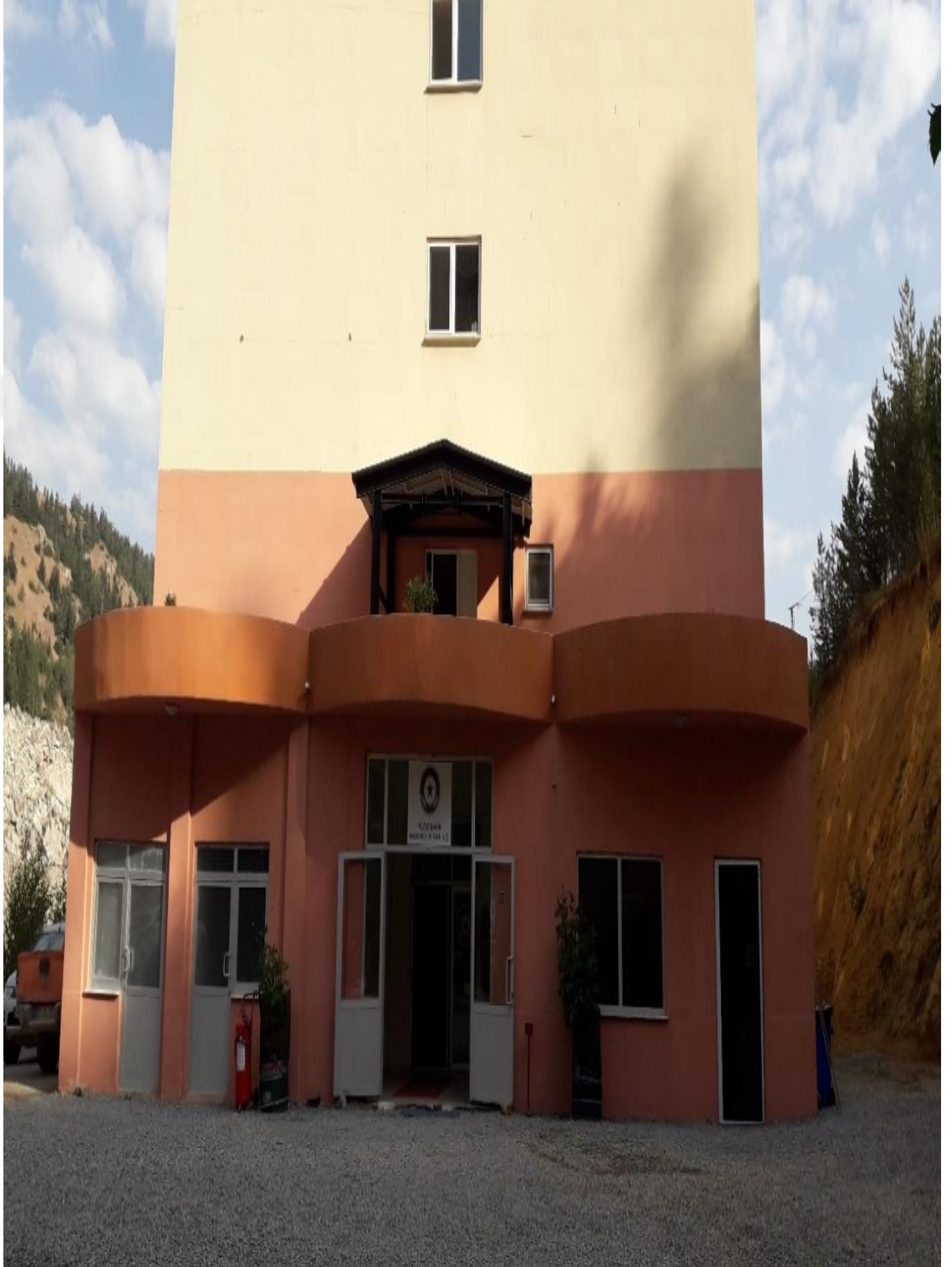
- Van Schoor, M., and Binley, A. (2010). In-mine (tunnel-to-tunnel) electrical resistance tomography in South African platinum mines. *Near Surface Geophysics*, 8(6), 563-574.
- Vural, A., and Ersen, F. (2019). Geology, mineralogy and geochemistry of manganese mineralization in Gumushane, Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 8(1), 1051-1059.
- Vural, A., ve Erdoğan, M. (2014). Eski Gümüşhane Kırkpavli alterasyon sahasında toprak jeokimyası çalışması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-15.
- Vural, A., and Kaygusuz, A. (2019). Petrology of the paleozoic plutons in Eastern pontides: artabel pluton (Gumushane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 8(2), 1216-1228.
- Vural, A. (2013). Assessment of heavy metal accumulation in the roadside soil and plants of Robinia pseudoacacia, in Gumushane, Northeastern Turkey. *Ekoloji*, 22(89), 1-10.
- Vural, A., and Gundogdu, A. (2020). High-fluoride risk and toxicity in surface waters in Gumushane-Gokdere valley drainage network (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 9(1), 1323-1334.
- Vural, A., and Kaygusuz, A. (2021). Petrographic and geochemical characteristics of late cretaceous volcanic rocks in the vicinity of Avliyana (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(2), 1796-1810.
- Vural, A., and Ersen, F. (2019). Geology, mineralogy and geochemistry of manganese mineralization in Gumushane, Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 8(1), 1051-1059.
- Wilkinson, P. B., Chambers, J. E., Meldrum, P. I., Ogilvy, R. D., Mellor, C. J., and Caunt, S. (2005). A comparison of self-potential tomography with electrical resistivity tomography for the detection of abandoned mineshafts. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 10(4), 381-389.
- Xia, J., Nyquist, J. E., Xu, Y., Roth, M. J., and Miller, R. D. (2007). Feasibility of detecting near-surface feature with Rayleigh-wave diffraction. *Journal of applied geophysics*, 62(3), 244-253.
- Yılmaz, C., ve Kandemir, R. (2002). Şenköy Formasyonu: Yeni bir formasyon adlanması. 3. Stratigrafi Çalıştayı Bildiri Özleri.

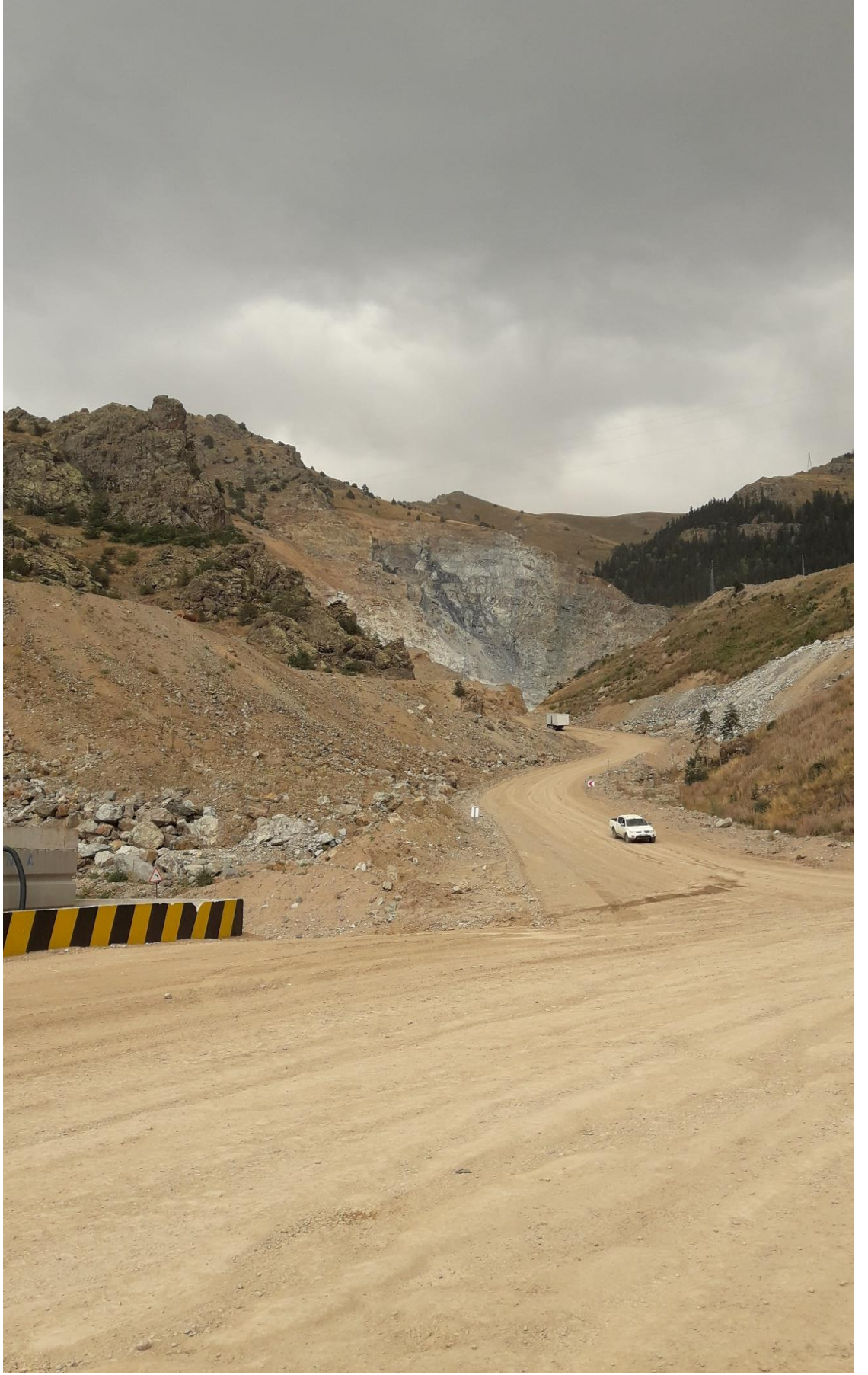
- Yilmaz, S. M., and Hopkins, S. H. (1972). Effects of different conditions on duration of infectivity of *Toxoplasma gondii* oocysts. *Journal of Parasitology*, 58(5), 938-9.
- Zietz, I., and Henderson, R. G. (1956). A preliminary report on model studies of magnetic anomalies of three-dimensional bodies. *Geophysics*, 21(3), 794-814.



EKLER

Ek 1.Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. hizmet binası ve arazi inceleme alanı fotoğrafları





Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. maden sahası - 1



Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. maden sahası - 2



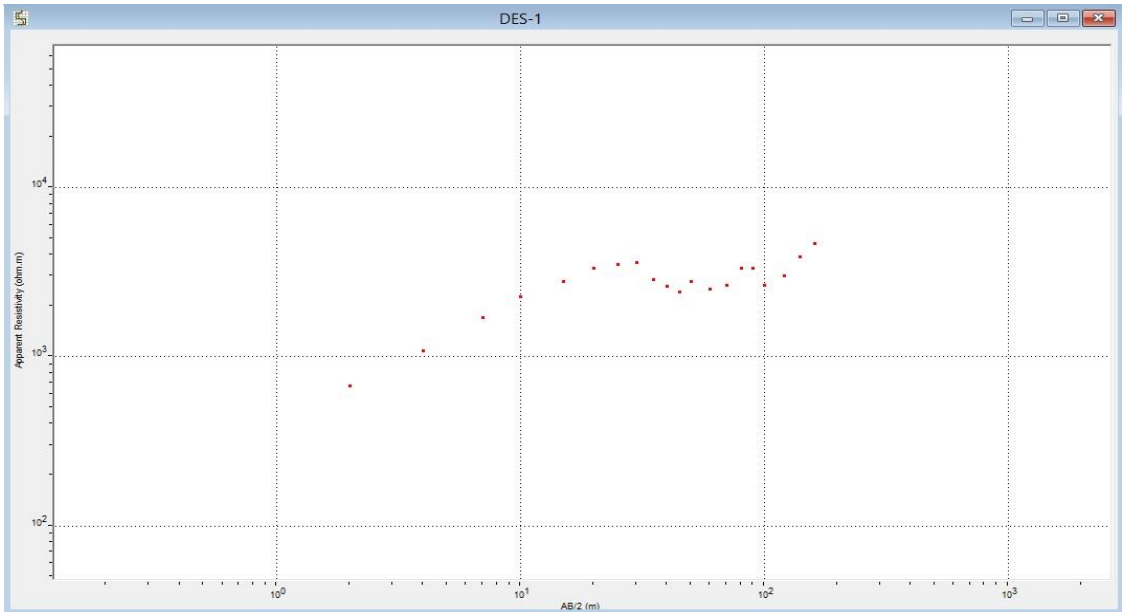
Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. maden sahası - 3



Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. maden sahası - 4

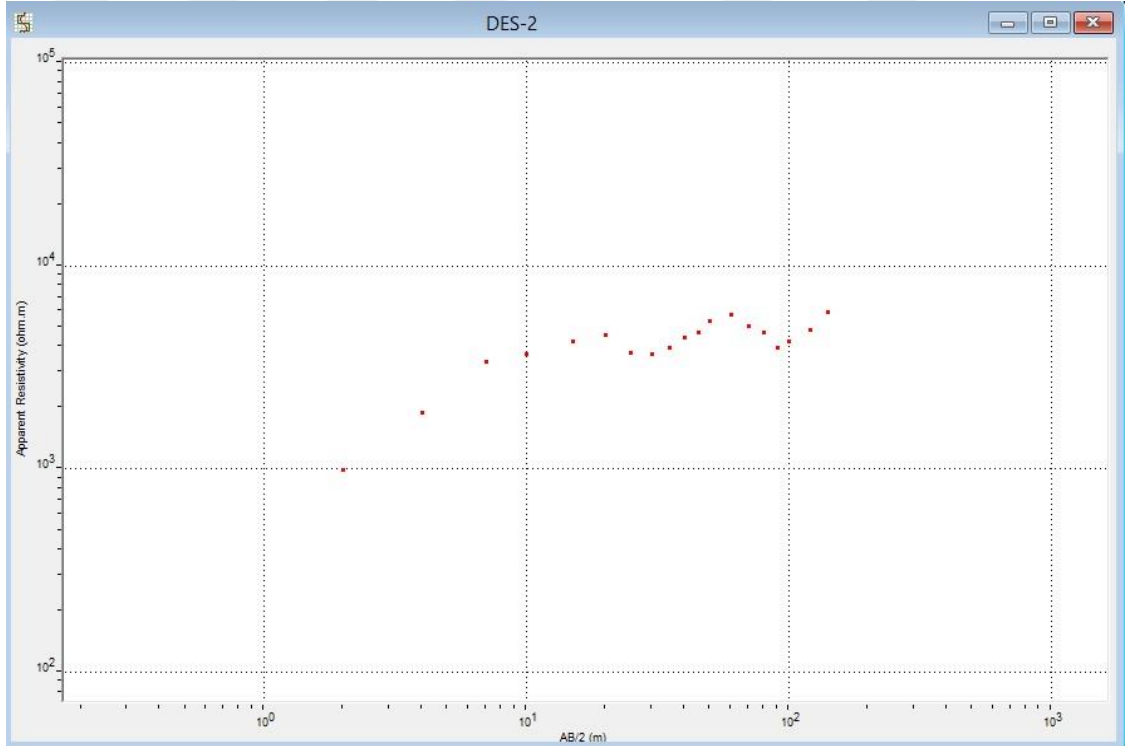
Ek 2.Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. araştırma alanının elektrik yöntem arazi verileri

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	23.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 1	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 160 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHM	
KOORDİNA	40.325910(X) - 39.351075(Y) - 2078 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	150	1000	1	86	11,8	676,5
1	4	1	150	1000	2	66	49,5	1089,0
2	7	1	150	1000	3	50	153	1700,0
3	10	1	150	100	1	109	313	2274,5
4	15	1	150	100	1	59	706	2776,9
5	20	1	50	10	1	134	1256	3366,1
6	20	8	50	100	1	144	151	4348,8
7	25	1	50	10	1	90	1963	3533,4
8	25	8	50	100	1	98	239	4684,4
9	30	8	50	100	1	52	347	3608,8
10	35	8	50	100	2	60	475	2850,0
11	40	8	50	100	3	63	622	2612,4
12	45	8	50	100	3	46	789	2419,6
13	50	8	50	100	4	57	975	2778,8
14	60	8	50	10	1	89	1407	2504,5
15	70	8	50	10	1	69	1918	2646,8
16	80	8	25	10	2	67	2507	3359,4
17	90	8	25	10	2	53	3175	3365,5
18	90	20	25	10	2	198	1257	4977,7
19	100	20	25	10	2	85	1555	2643,5
20	120	20	25	10	2	67	2246	3009,6
21	140	20	25	10	2	64	3063	3920,6
22	160	20	25	1	1	98	4006	1570,4



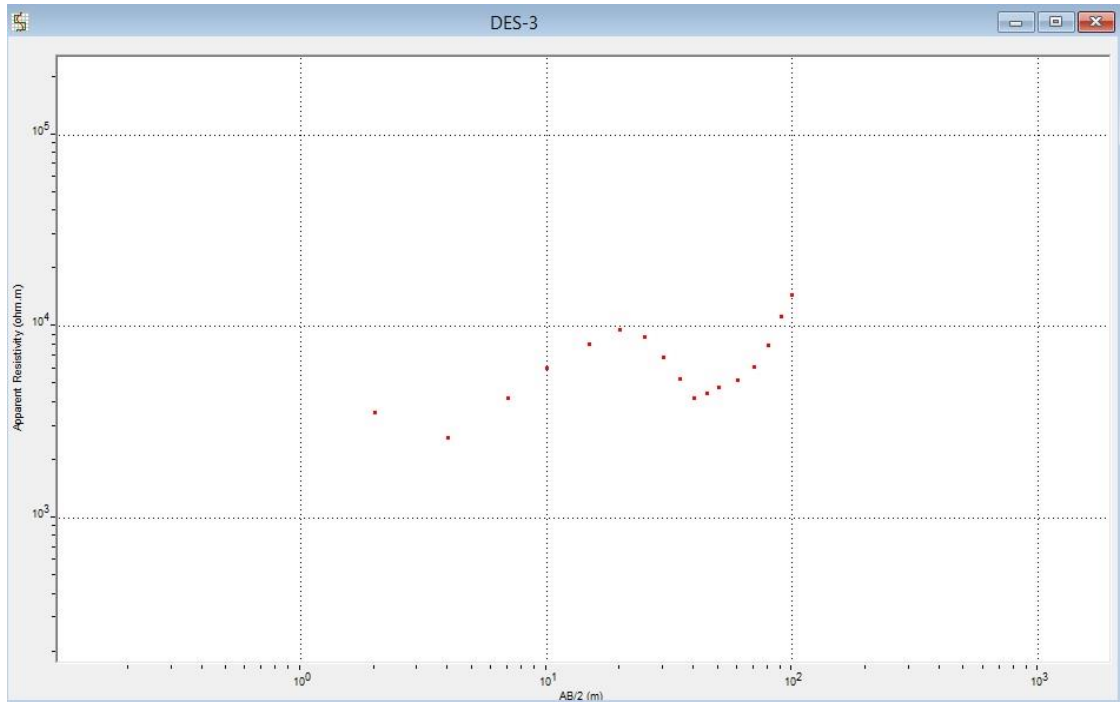
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 1 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.				TARİH	23.08.2022		
PROJE ADI	KÖSTERE				ÖLÇÜ NO	DES - 2		
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE				SERİM BOYU	AB/2 : 140 MT		
PAFTA	-				AÇILIM YÖNÜ	KB/GD		
ADA	-				ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER		
PARSEL	-				ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL		
KOORDİNAT	40.326299(X) - 39.350928(Y) - 2067 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	İ(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	100	1000	1	84	11,8	991,2
1	4	1	100	1000	2	77	49,5	1905,8
2	7	1	100	1000	3	66	153	3366,0
3	10	1	100	1000	4	47	313	3677,8
4	15	1	75	100	1	45	706	4236,0
5	20	1	50	100	3	49	1256	4102,9
6	20	8	50	100	1	152	151	4590,4
7	25	1	50	10	1	87	1963	3415,6
8	25	8	50	100	1	78	239	3728,4
9	30	8	50	100	1	53	347	3678,2
10	35	8	75	100	1	63	475	3990,0
11	40	8	75	100	1	54	622	4478,4
12	45	8	75	100	1	45	789	4734,0
13	50	8	50	100	2	55	975	5362,5
14	60	8	20	10	1	82	1407	5768,7
15	70	8	10	10	3	55	1918	3516,3
16	80	8	10	1	1	187	2507	4688,1
17	90	8	20	10	2	50	3175	3968,8
18	90	20	20	10	2	126	1257	3959,6
19	100	20	10	10	2	55	1555	4276,3
20	120	20	10	10	3	65	2246	4866,3
21	140	20	5	1	1	124	3063	7596,2



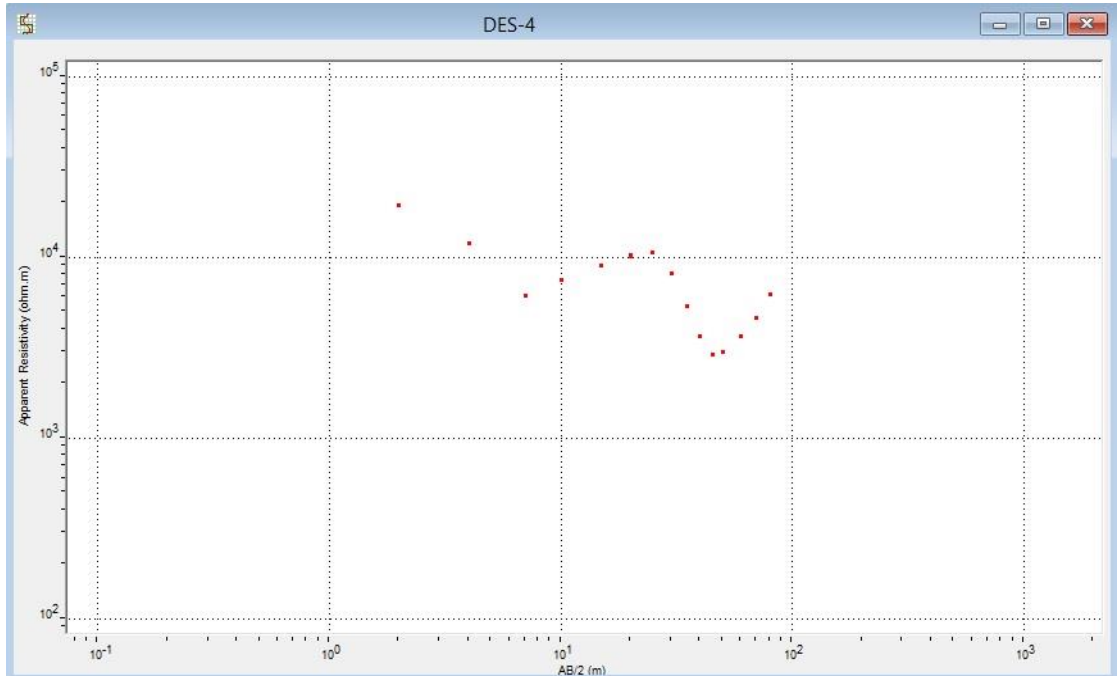
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 2 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	23.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 3	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 100 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.326695(X) - 39.350832(Y) - 2055 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	25	1000	1	75	11,8	3540,0
1	4	1	25	100	1	132	49,5	2613,6
2	7	1	20	100	1	55	153	4207,5
3	10	1	20	100	2	77	313	6025,3
4	15	1	20	100	2	46	706	8119,0
5	20	1	20	100	3	46	1256	9629,3
6	20	8	20	100	1	190	151	14345,0
7	25	1	10	10	1	45	1963	8833,5
8	25	8	10	100	1	53	239	12667,0
9	30	8	20	100	2	80	347	6940,0
10	35	8	5	10	1	84	475	7980,0
11	40	8	25	10	1	171	622	4254,5
12	45	8	20	10	1	113	789	4457,9
13	50	8	20	10	1	110	975	5362,5
14	60	8	25	10	1	93	1407	5234,0
15	70	8	25	10	1	80	1918	6137,6
16	80	8	25	10	1	69	2507	6919,3
17	90	8	10	10	2	71	3175	11271,3
18	90	20	10	10	1	139	1257	17472,3
19	100	20	15	10	1	141	1555	14617,0



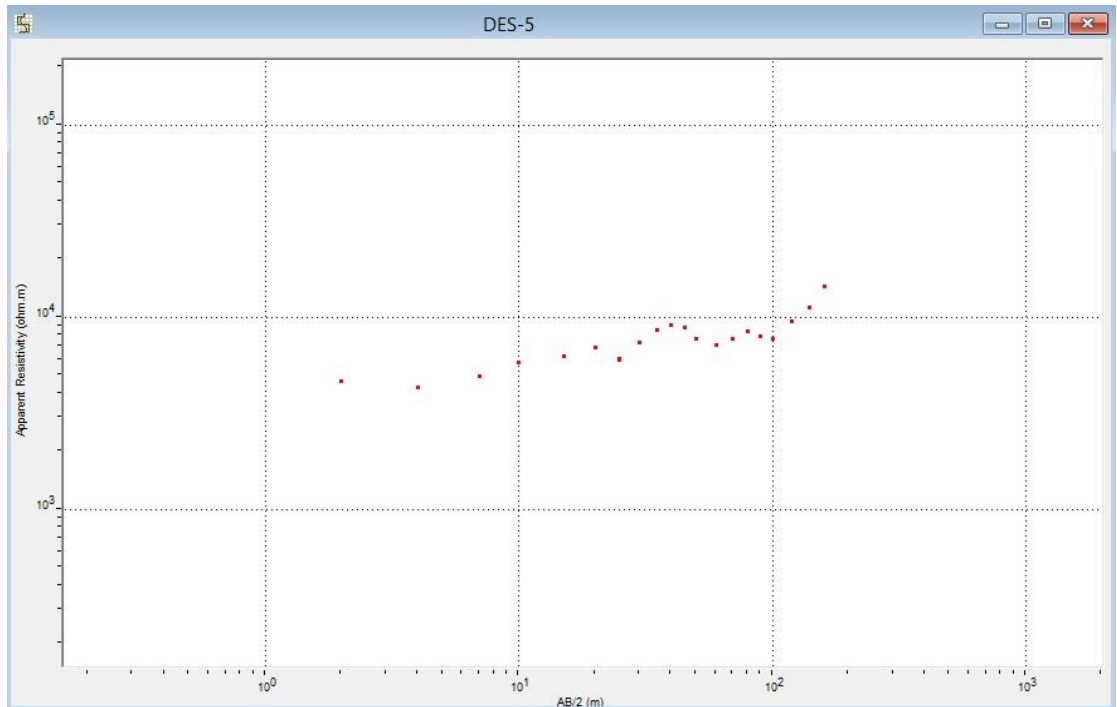
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 3 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	24.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 4	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 80 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.326650(X) - 39.349349(Y) - 2020 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	5	1000	2	165	11,8	19470,0
1	4	1	5	100	1	120	49,5	11880,0
2	7	1	15	100	1	60	153	6120,0
3	10	1	15	100	2	72	313	7512,0
4	15	1	20	100	2	51	706	9001,5
5	20	1	15	10	1	122	1256	10215,5
6	20	8	15	100	1	110	151	11073,3
7	25	1	5	10	3	82	1963	10731,1
8	25	8	5	100	4	98	239	11711,0
9	30	8	5	1	1	75	347	520,5
10	35	8	5	1	1	137	475	1301,5
11	40	8	10	10	1	59	622	3669,8
12	45	8	20	10	2	146	789	2879,9
13	50	8	10	10	2	62	975	3022,5
14	60	8	10	1	1	60	1407	844,2
15	70	8	10	10	3	73	1918	4667,1
16	80	8	5	10	3	64	2507	10696,5



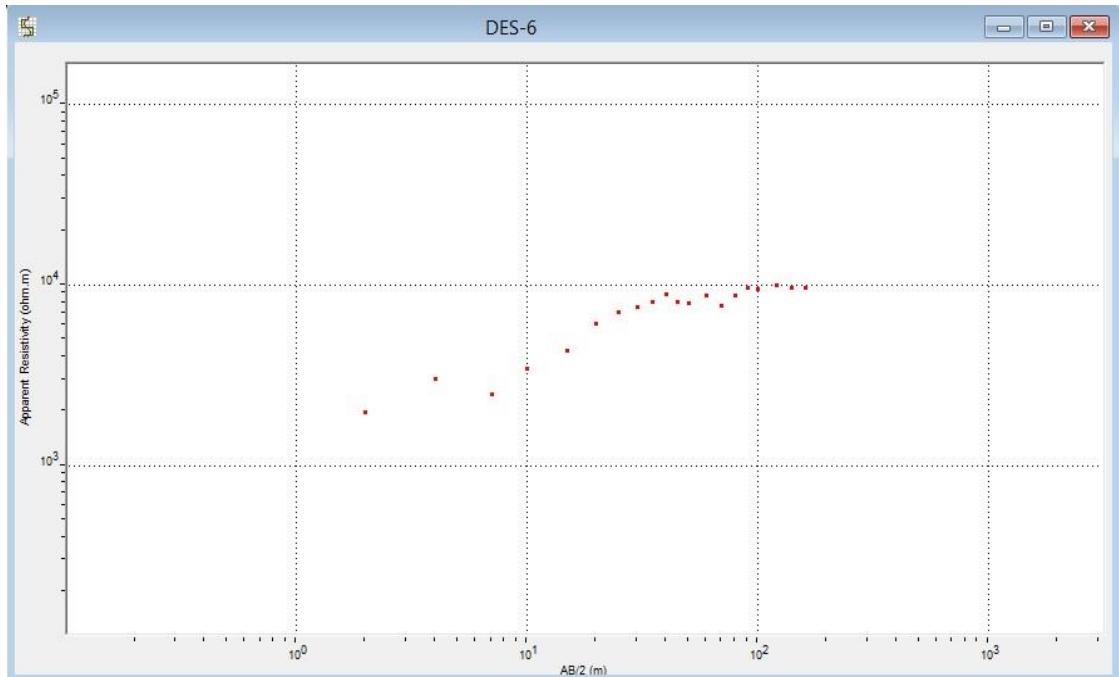
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 4 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	24.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 5	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 160 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOP. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.326189(X) - 39.349893(Y) - 2018 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	20	1000	1	78	11,8	4602,0
1	4	1	25	100	1	116	49,5	2296,8
2	7	1	5	100	3	48	153	4896,0
3	10	1	5	10	1	92	313	5759,2
4	15	1	15	10	1	86	706	4047,7
5	20	1	5	10	2	55	1256	6908,0
6	20	8	5	100	2	47	151	7097,0
7	25	1	25	10	2	136	1963	5339,4
8	25	8	25	100	2	126	239	6022,8
9	30	8	25	100	1	53	347	7356,4
10	35	8	5	10	1	120	475	11400,0
11	40	8	10	10	1	146	622	9081,2
12	45	8	10	10	1	111	789	8757,9
13	50	8	10	10	1	79	975	7702,5
14	60	8	20	10	1	101	1407	7105,4
15	70	8	15	10	1	60	1918	7672,0
16	80	8	10	10	2	67	2507	8398,5
17	90	8	10	10	2	50	3175	7937,5
18	90	20	10	10	2	118	1257	7416,3
19	100	20	10	10	2	99	1555	7697,3
20	120	20	10	10	2	84	2246	9433,2
21	140	20	5	10	3	55	3063	11231,0
22	160	20	5	10	3	54	4006	14421,6



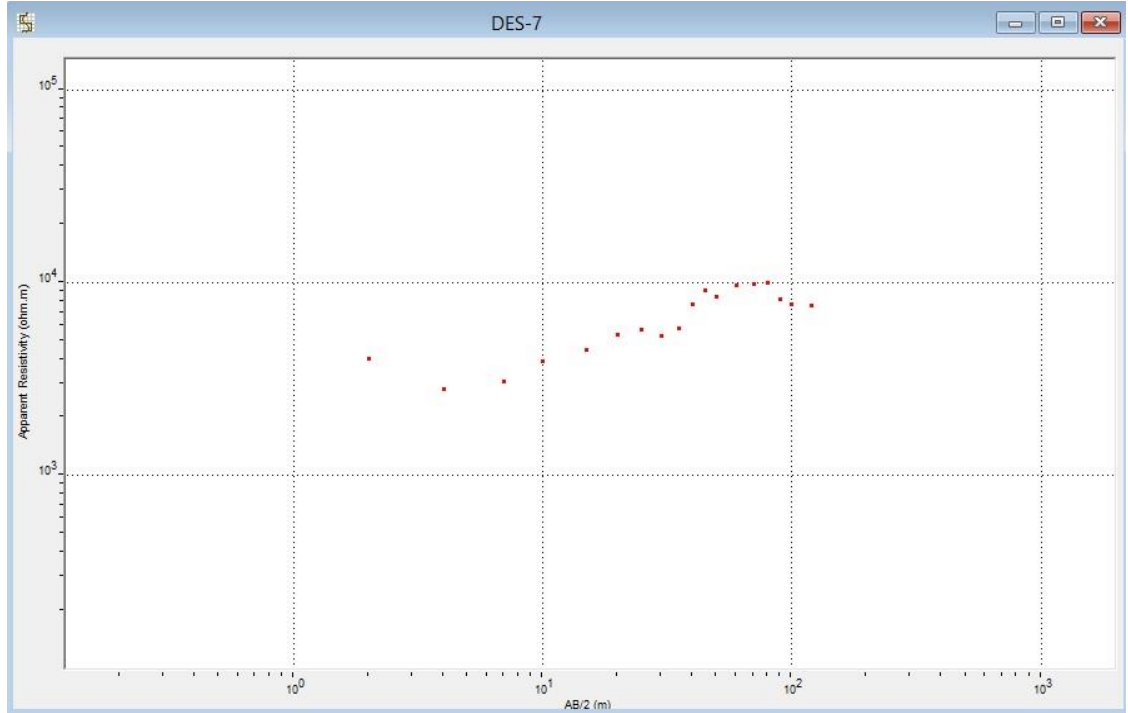
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 5 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	24.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 6	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 160 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.326057(X) - 39.350110(Y) - 2047 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	50	1000	1	84	11,8	1982,4
1	4	1	25	100	1	153	49,5	3029,4
2	7	1	25	100	2	81	153	2478,6
3	10	1	25	100	2	55	313	3443,0
4	15	1	50	100	3	92	706	4330,1
5	20	1	50	100	3	55	1256	4605,3
6	20	8	50	1000	3	61	151	6140,7
7	25	1	50	100	4	55	1963	5398,3
8	25	8	50	100	1	149	239	7122,2
9	30	8	50	100	1	110	347	7634,0
10	35	8	25	100	2	85	475	8075,0
11	40	8	25	100	2	72	622	8956,8
12	45	8	50	100	2	103	789	8126,7
13	50	8	5	10	2	81	975	7897,5
14	60	8	10	10	2	124	1407	8723,4
15	70	8	25	10	1	100	1918	7672,0
16	80	8	20	10	1	70	2507	8774,5
17	90	8	10	10	2	61	3175	9683,8
18	90	20	10	10	2	134	1257	8421,9
19	100	20	5	10	2	61	1555	9485,5
20	120	20	10	10	2	89	2246	9994,7
21	140	20	20	10	2	127	3063	9725,0
22	160	20	10	10	2	48	4006	9614,4



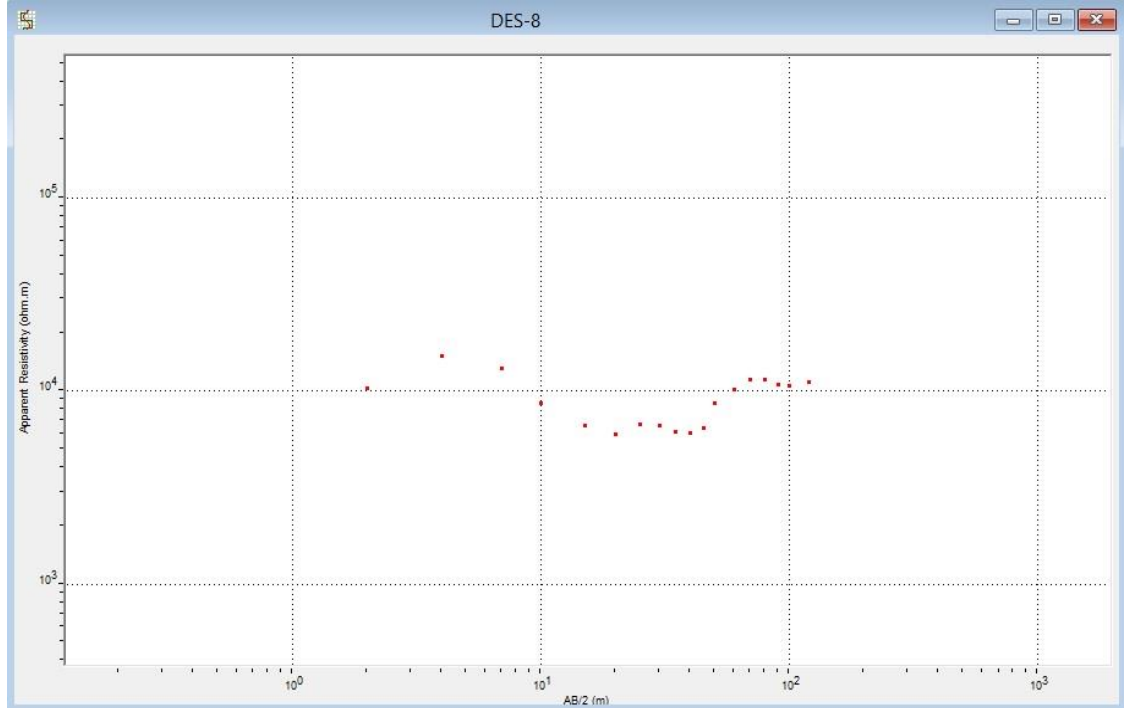
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 6 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	23.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 7	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 120 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOP. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.325488(X) - 39.350767(Y) - 2070 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	25	1000	1	86	11,8	4059,2
1	4	1	25	1000	4	57	49,5	2821,5
2	7	1	25	100	2	47	153	1438,2
3	10	1	15	100	3	56	313	3895,1
4	15	1	15	10	1	64	706	3012,3
5	20	1	10	10	2	45	1256	2826,0
6	20	8	10	100	1	63	151	9513,0
7	25	1	25	10	2	59	1963	2316,3
8	25	8	25	100	1	60	239	5736,0
9	30	8	25	100	2	76	347	5274,4
10	35	8	20	100	2	49	475	5818,8
11	40	8	20	100	2	50	622	7775,0
12	45	8	20	100	2	46	789	9073,5
13	50	8	20	100	3	52	975	8450,0
14	60	8	25	100	4	69	1407	9708,3
15	70	8	10	10	1	51	1918	9781,8
16	80	8	20	10	1	80	2507	10028,0
17	90	8	20	10	1	62	3175	9842,5
18	90	20	20	10	1	130	1257	8170,5
19	100	20	30	10	1	150	1555	7775,0
20	120	20	20	10	1	68	2246	7636,4



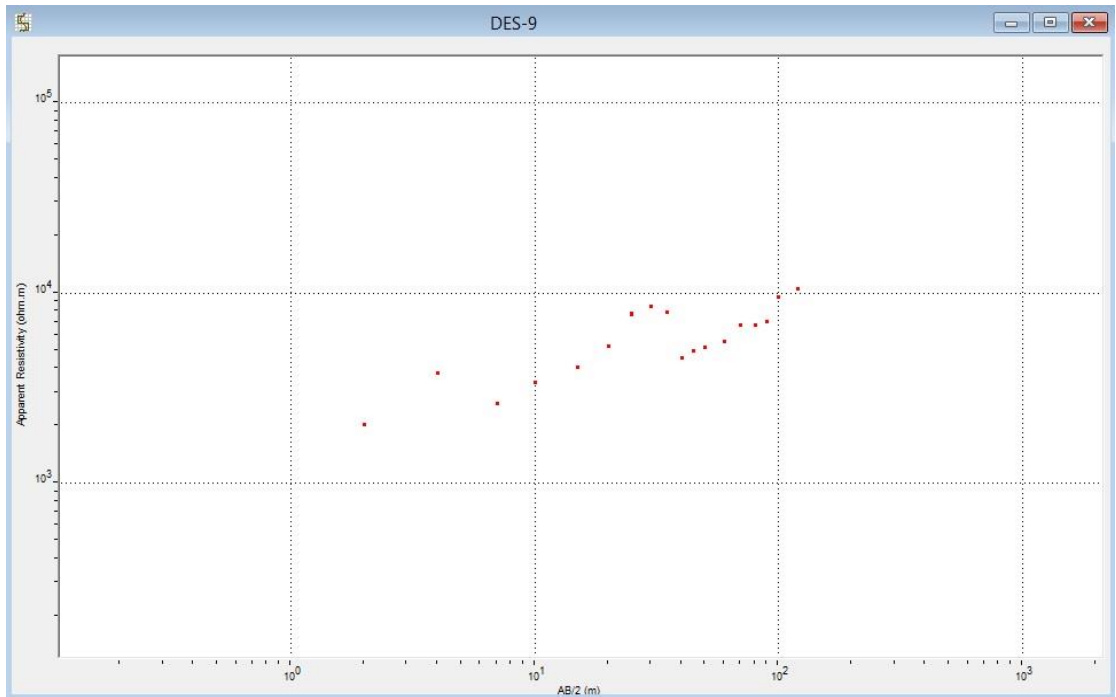
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 7 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.				TARİH	24.08.2022		
PROJE ADI	KÖSTERE				ÖLÇÜ NO	DES - 8		
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE				SERİM BOYU	AB/2 : 120 MT		
PAFTA	-				AÇILIM YÖNÜ	KB/GD		
ADA	-				ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER		
PARSEL	-				ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL		
KOORDİNAT	40.325718(X) - 39.350000(Y) - 2017 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	10	1000	1	88	11,8	10384,0
1	4	1	5	1000	2	71	49,5	35145,0
2	7	1	10	100	1	117	153	17901,0
3	10	1	15	100	2	83	313	8659,7
4	15	1	30	100	2	56	706	6589,3
5	20	1	15	10	1	71	1256	5945,1
6	20	8	15	100	1	80	151	8053,3
7	25	1	5	10	3	63	1963	8244,6
8	25	8	5	100	3	64	239	10197,3
9	30	8	10	100	3	57	347	6593,0
10	35	8	30	100	3	117	475	6175,0
11	40	8	10	100	3	47	622	9744,7
12	45	8	50	100	4	163	789	6430,4
13	50	8	20	100	4	71	975	8653,1
14	60	8	20	100	4	58	1407	10200,8
15	70	8	10	10	1	67	1918	12850,6
16	80	8	20	10	1	91	2507	11406,9
17	90	8	10	10	2	68	3175	10795,0
18	90	20	10	10	2	120	1257	7542,0
19	100	20	5	10	2	69	1555	10729,5
20	120	20	10	10	2	100	2246	11230,0



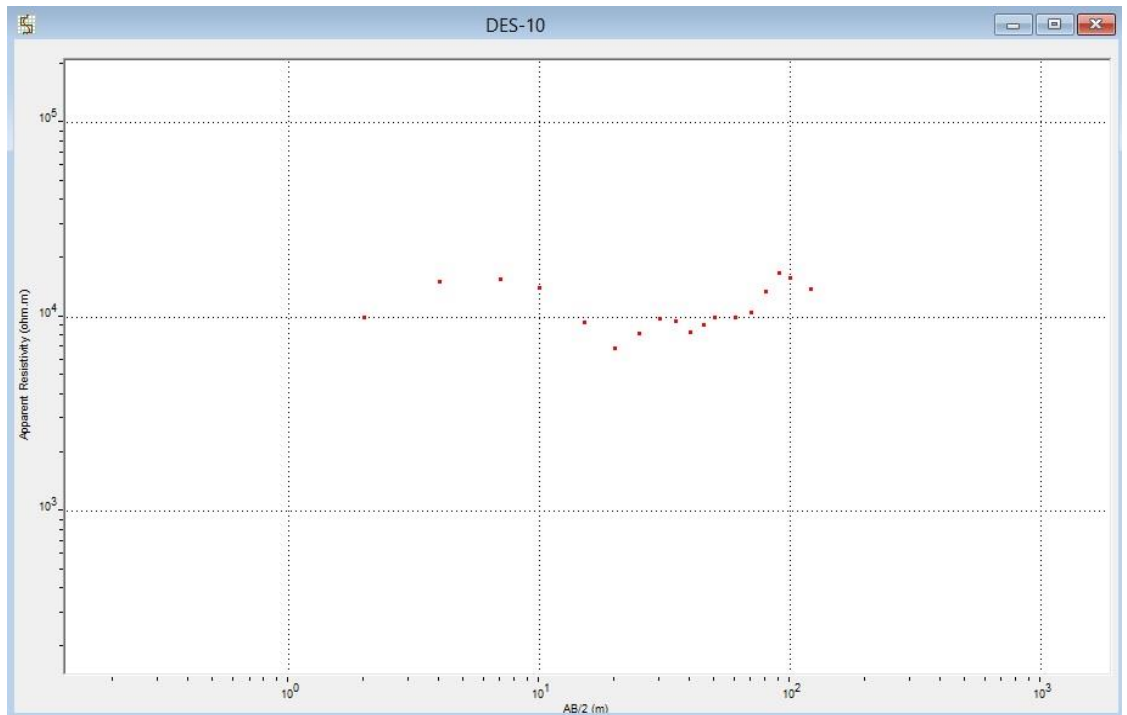
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 8 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.				TARİH	24.08.2022		
PROJE ADI	KÖSTERE				ÖLÇÜ NO	DES - 9		
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE				SERİM BOYU	AB/2 : 120 MT		
PAFTA	-				AÇILIM YÖNÜ	KB/GD		
ADA	-				ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER		
PARSEL	-				ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL		
KOORDİNAT	40.326068(X) - 39.349622(Y) - 2017 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	50	1000	1	86	11,8	2029,6
1	4	1	25	100	1	193	49,5	3821,4
2	7	1	20	100	2	69	153	2639,3
3	10	1	20	100	3	65	313	3390,8
4	15	1	25	10	1	145	706	4094,8
5	20	1	25	10	1	104	1256	5225,0
6	20	8	25	100	1	101	151	6100,4
7	25	1	10	10	2	81	1963	7950,2
8	25	8	10	100	2	65	239	7767,5
9	30	8	10	100	2	49	347	8501,5
10	35	8	5	10	1	83	475	7885,0
11	40	8	20	10	1	146	622	4540,6
12	45	8	10	10	1	63	789	4970,7
13	50	8	25	10	1	132	975	5148,0
14	60	8	15	10	1	59	1407	5534,2
15	70	8	5	1	1	178	1918	6828,1
16	80	8	20	10	1	54	2507	6768,9
17	90	8	15	10	2	67	3175	7090,8
18	90	20	15	10	2	160	1257	6704,0
19	100	20	5	10	2	61	1555	9485,5
20	120	20	5	10	2	47	2246	10556,2



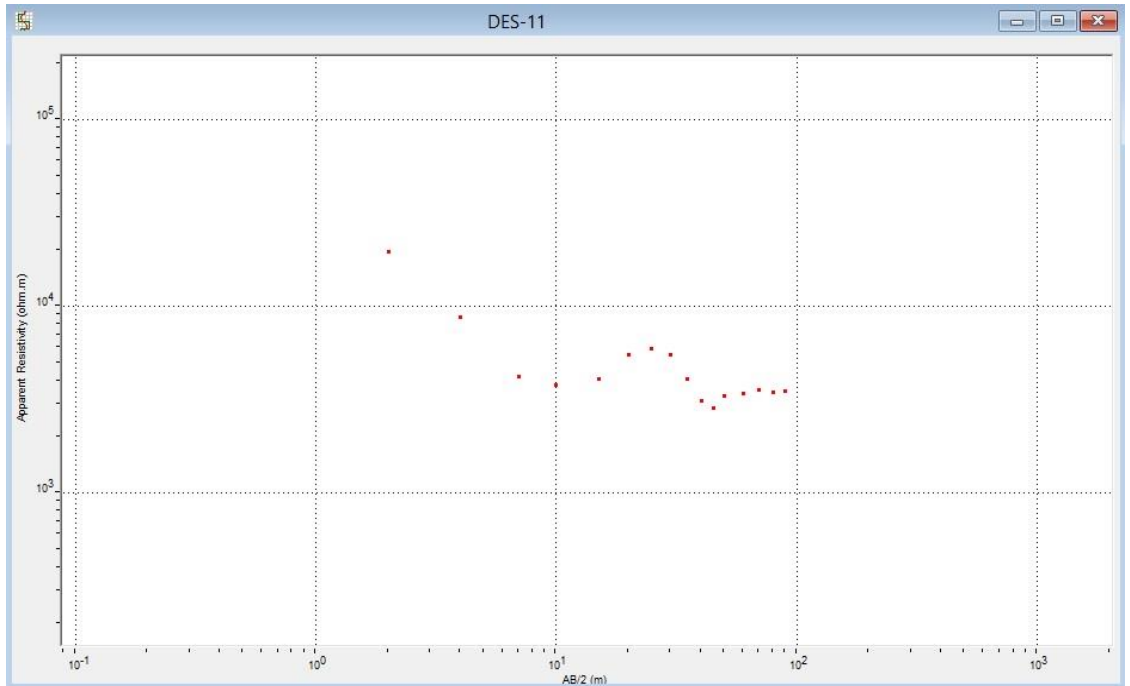
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 9 eğrisi

SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	24.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 10	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 120 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.326314(X) - 39.349317(Y) - 2009 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	10	1000	1	85	11,8	10030,0
1	4	1	5	1000	2	54	49,5	26730,0
2	7	1	5	100	1	51	153	15606,0
3	10	1	5	100	3	68	313	14189,3
4	15	1	5	10	1	67	706	9460,4
5	20	1	20	10	1	110	1256	6908,0
6	20	8	20	100	5	95	151	1434,5
7	25	1	25	10	2	154	1963	6046,0
8	25	8	25	100	1	86	239	8221,6
9	30	8	15	100	4	169	347	9773,8
10	35	8	15	100	4	120	475	9500,0
11	40	8	25	100	4	135	622	8397,0
12	45	8	10	100	4	46	789	9073,5
13	50	8	5	10	1	69	975	13455,0
14	60	8	20	10	1	141	1407	9919,4
15	70	8	10	10	1	55	1918	10549,0
16	80	8	5	10	2	74	2507	18551,8
17	90	8	5	10	2	53	3175	16827,5
18	90	20	5	1	1	46	1257	1156,4
19	100	20	10	1	1	151	1555	2348,1
20	120	20	10	10	2	68	2246	7636,4

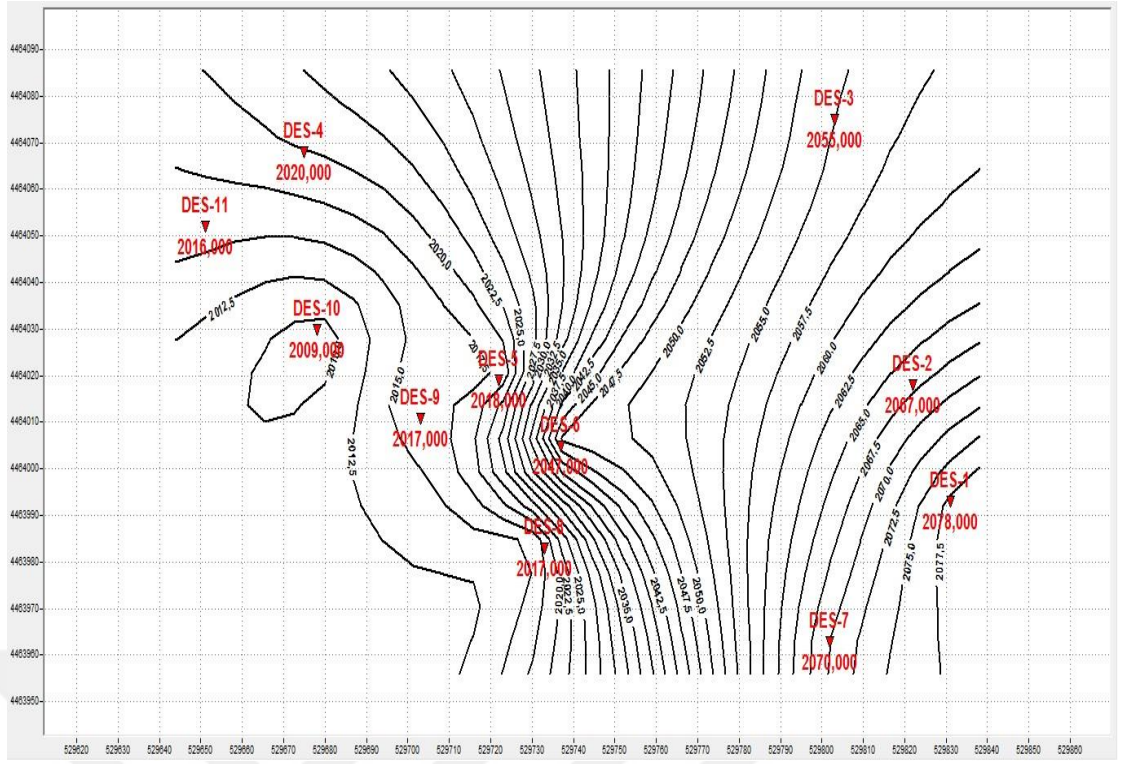


Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 10 eğrisi

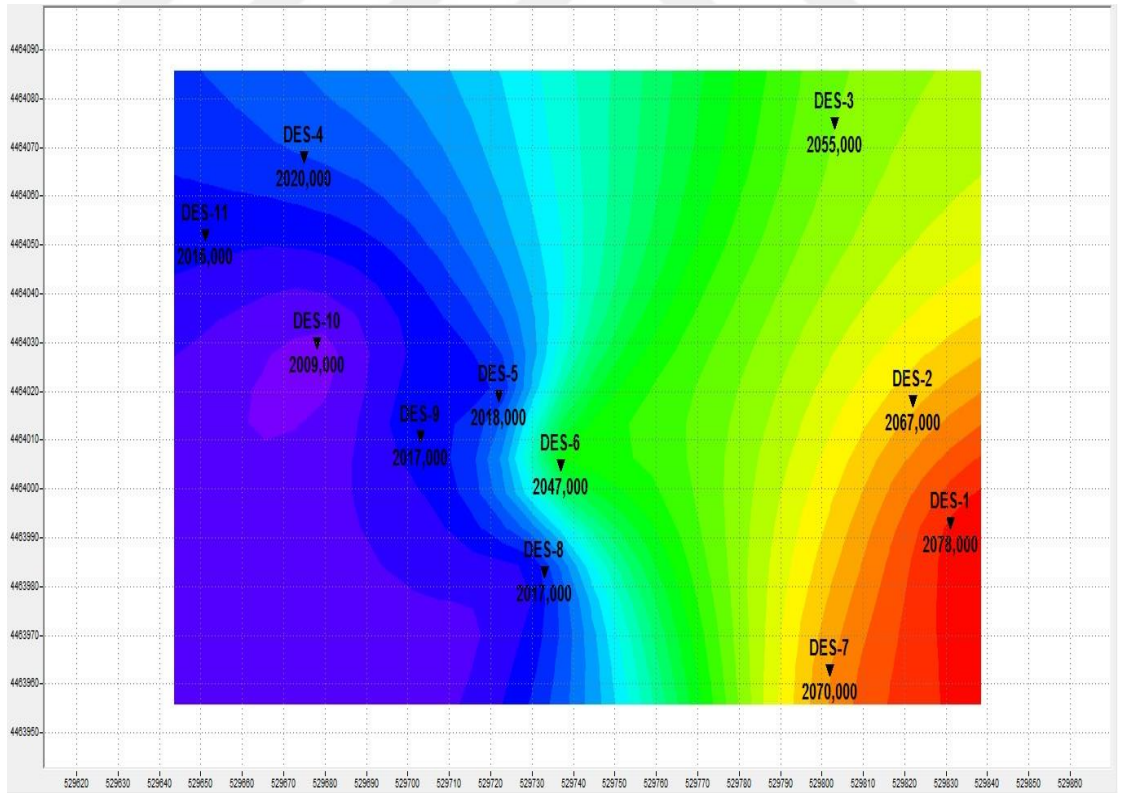
SCHLUMBERGER REZİSTİVİTE ARAZİ ÖLÇÜM KARNESİ								
İŞVEREN	YILDIZ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş.					TARİH	24.08.2022	
PROJE ADI	KÖSTERE					ÖLÇÜ NO	DES - 11	
PROJE YERİ	GÜMÜŞHANE					SERİM BOYU	AB/2 : 90 MT	
PAFTA	-					AÇILIM YÖNÜ	KB/GD	
ADA	-					ÖLÇ. YÖNT.	SCHLUMBERGER	
PARSEL	-					ÖLÇ. ALAN	JEOF. MÜH. MEHMET AVCIL	
KOORDİNAT	40.32647300(X) - 39.34903288(Y) - 2016 MT							
SIRA NO	AB/2(m)	MN(m)	I(m.Amper)	Atanetör	Verniyer	DV(m.Volt)	Katsayı(k)	Özdirenç
0	2	1	5	1000	1	83	11,8	19588,0
1	4	1	5	100	1	89	49,5	8811,0
2	7	1	10	100	2	55	153	4207,5
3	10	1	10	10	1	122	313	3818,6
4	15	1	5	10	2	58	706	4094,8
5	20	1	10	10	2	88	1256	5526,4
6	20	8	10	100	1	52	151	7852,0
7	25	1	5	1	1	151	1963	5928,3
8	25	8	5	10	1	164	239	7839,2
9	30	8	5	10	1	79	347	5482,6
10	35	8	25	10	1	91	475	1729,0
11	40	8	25	10	1	126	622	3134,9
12	45	8	20	10	1	73	789	2879,9
13	50	8	20	10	1	68	975	3315,0
14	60	8	25	10	1	61	1407	3433,1
15	70	8	25	10	2	107	1918	4104,5
16	80	8	15	10	3	62	2507	3454,1
17	90	8	15	10	3	50	3175	3527,8



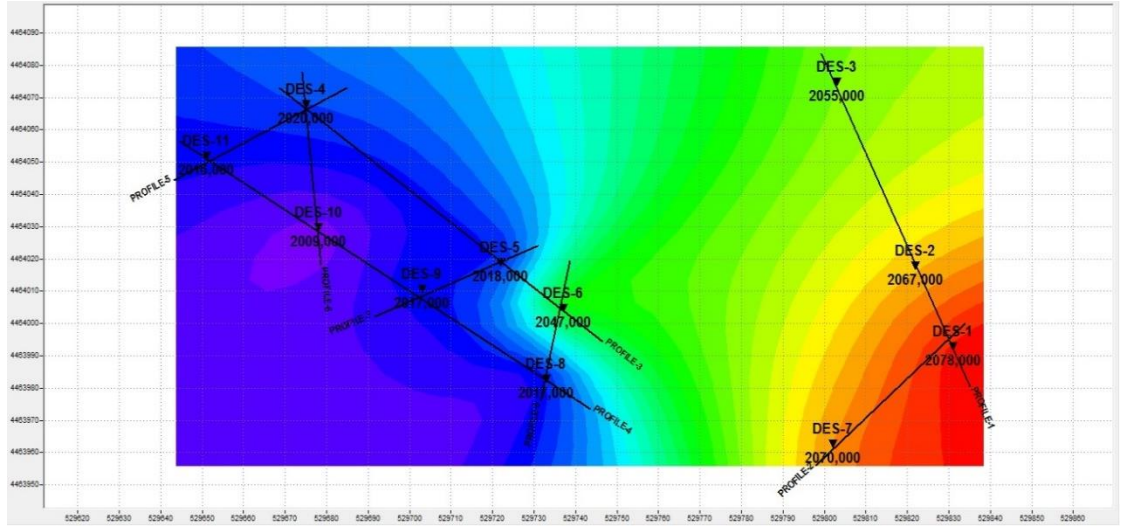
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – 11 eğrisi



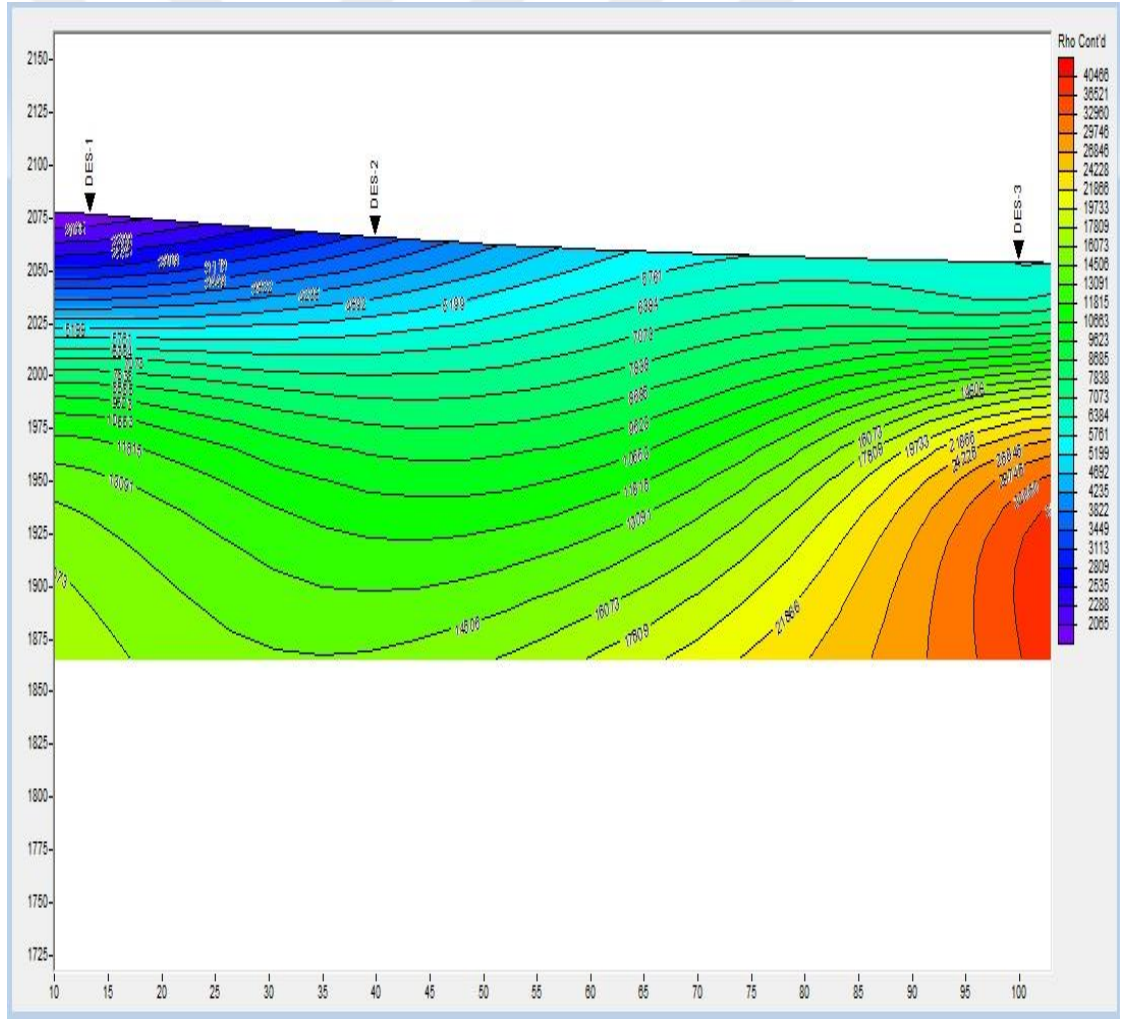
Düşey Elektrik Sondaj (DES) noktaları topoğrafik yükselti haritası



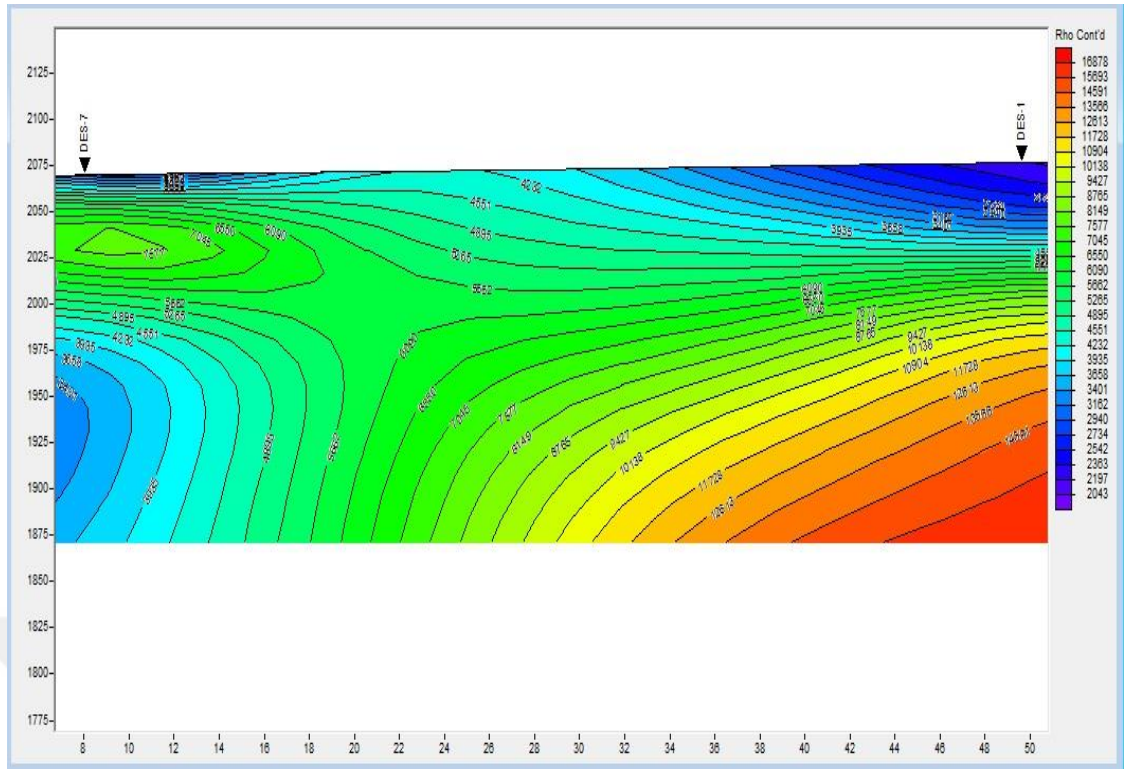
Düşey Elektrik Sondaj (DES) noktaları renklendirilmiş topoğrafik yükselti haritası



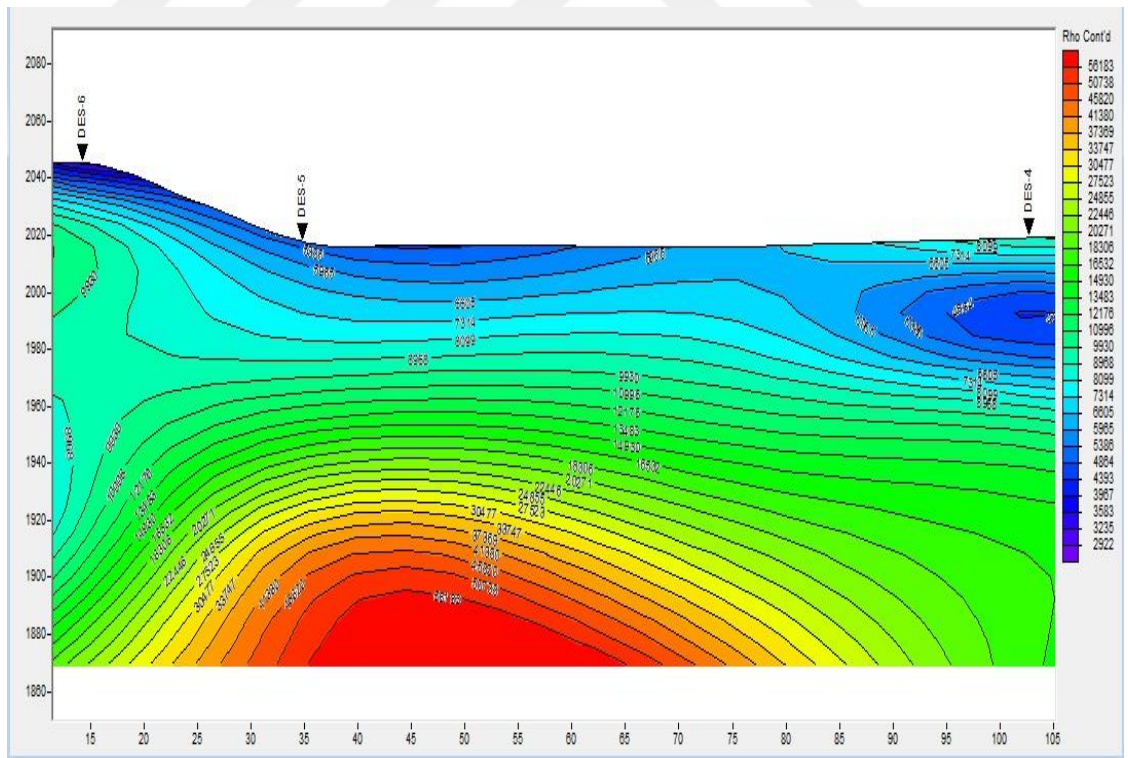
Düşey Elektrik Sondaj (DES) noktaları renklendirilmiş topoğrafik profil hatları haritası



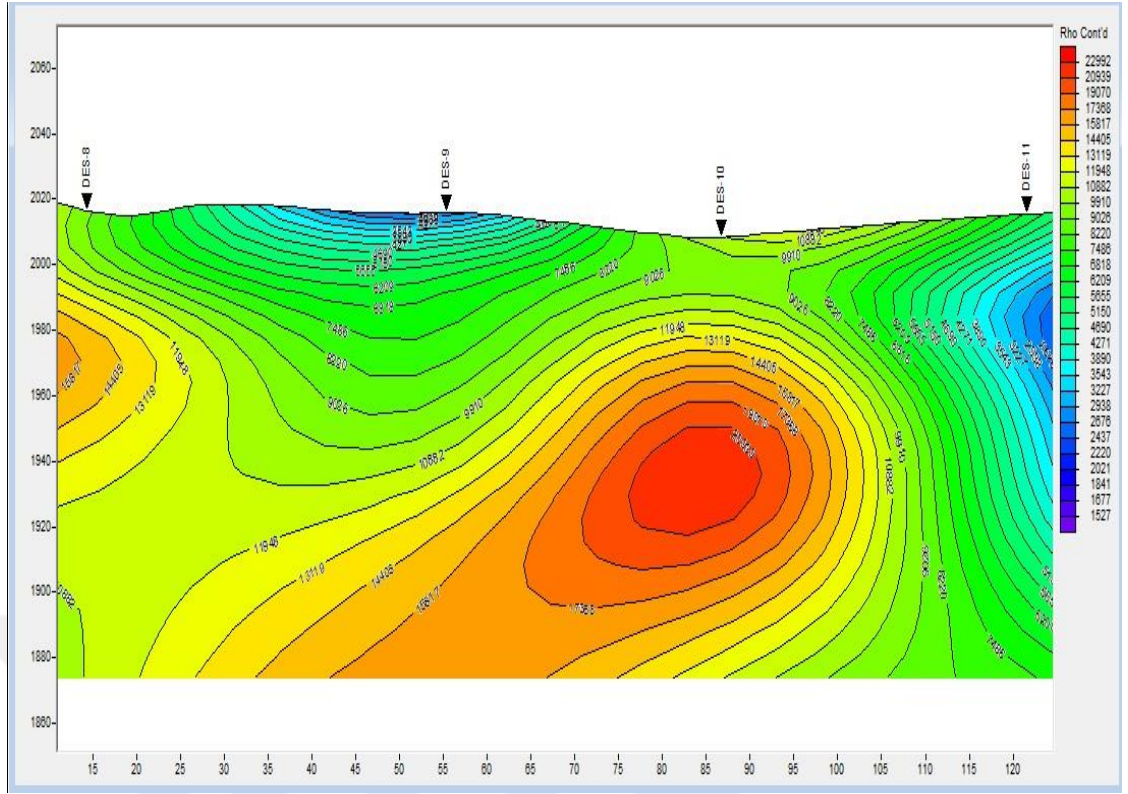
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – profil-1



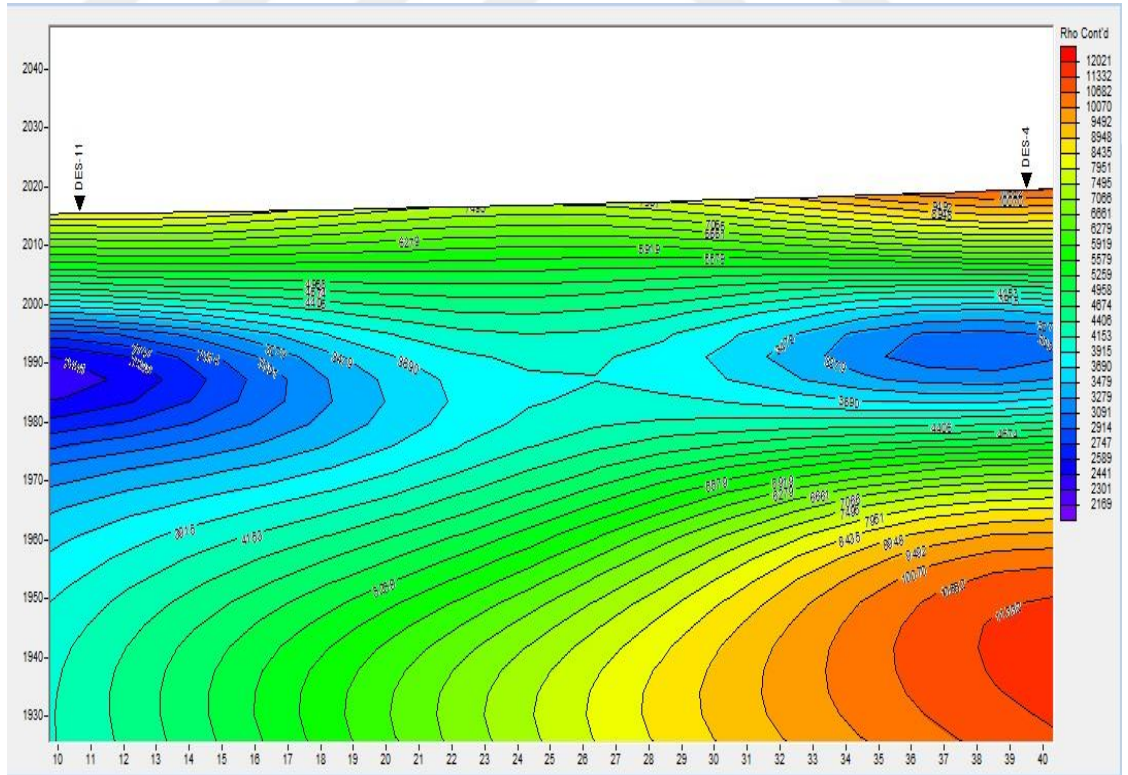
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – profil-2



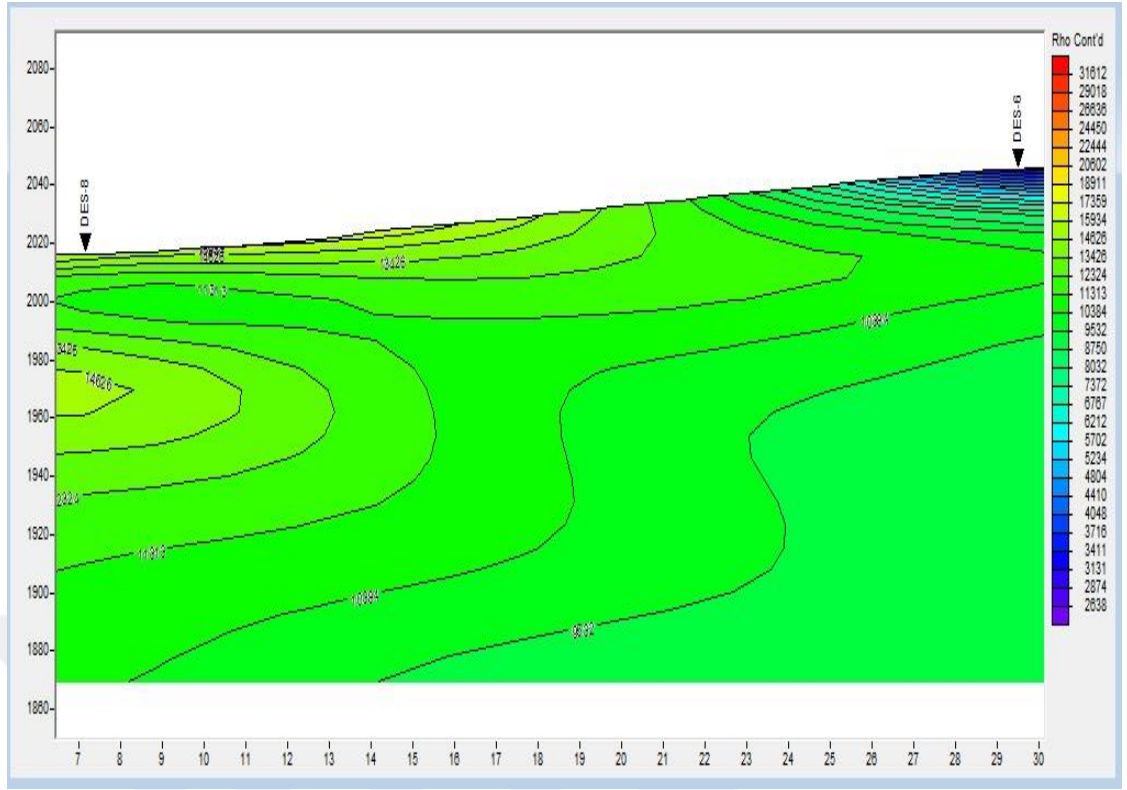
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – profil-3



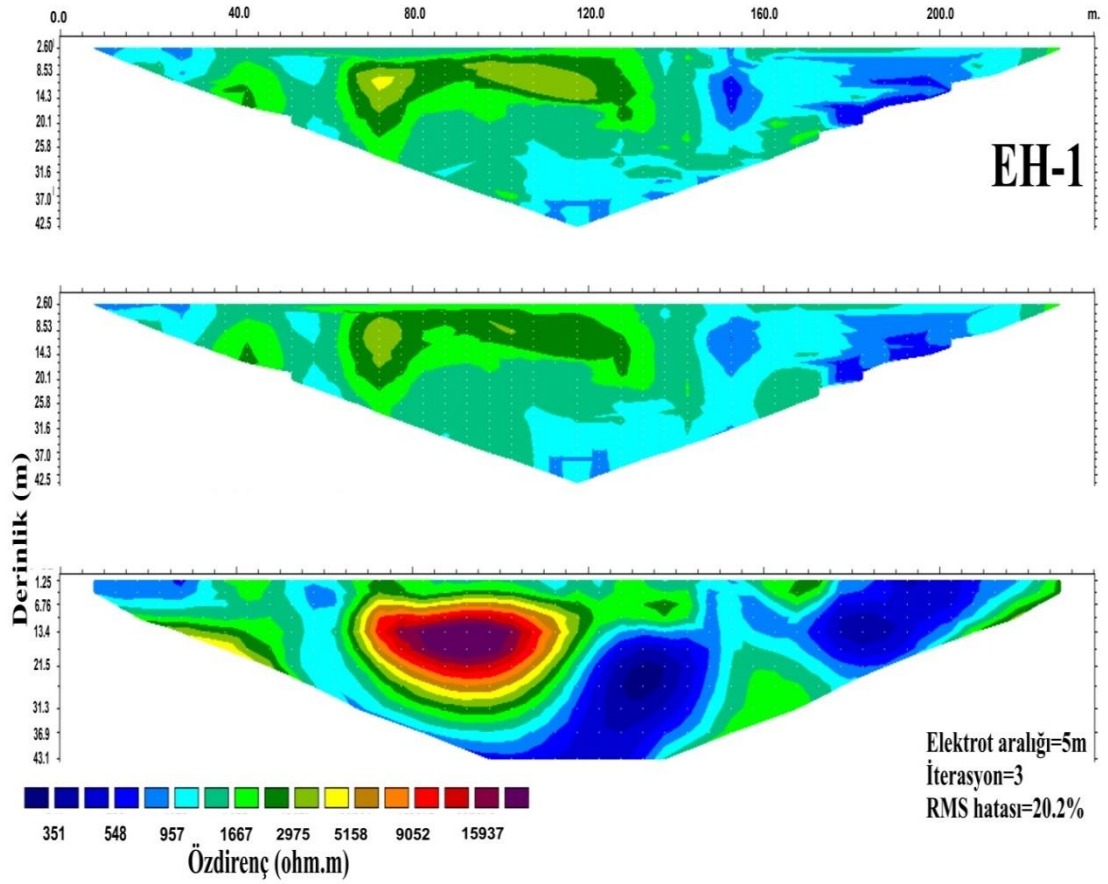
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – profil-4



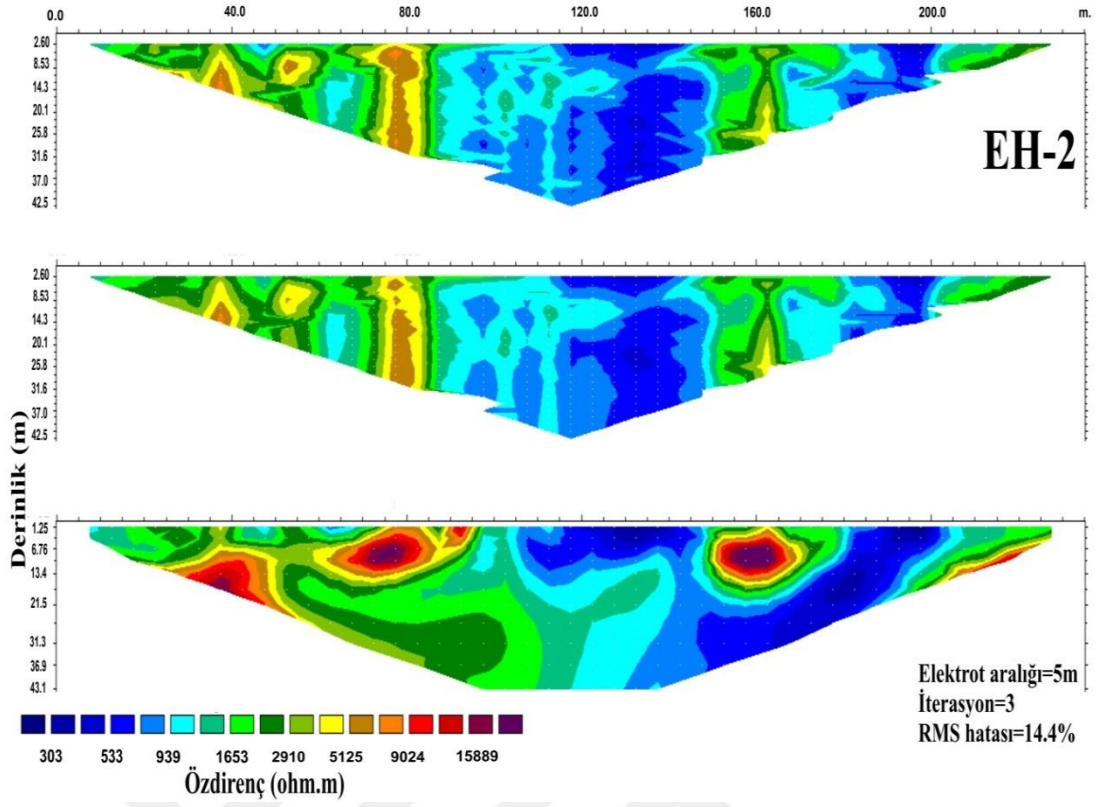
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – profil-5



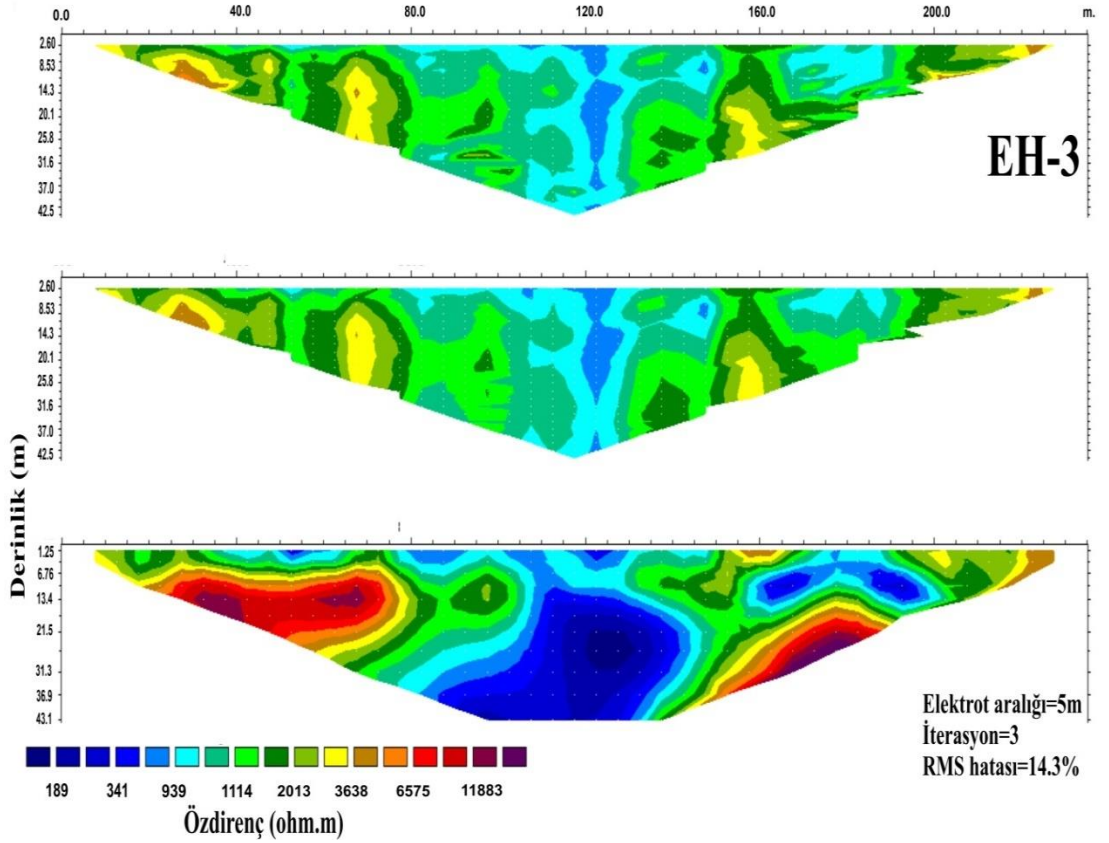
Düşey Elektrik Sondaj (DES) – profil-8



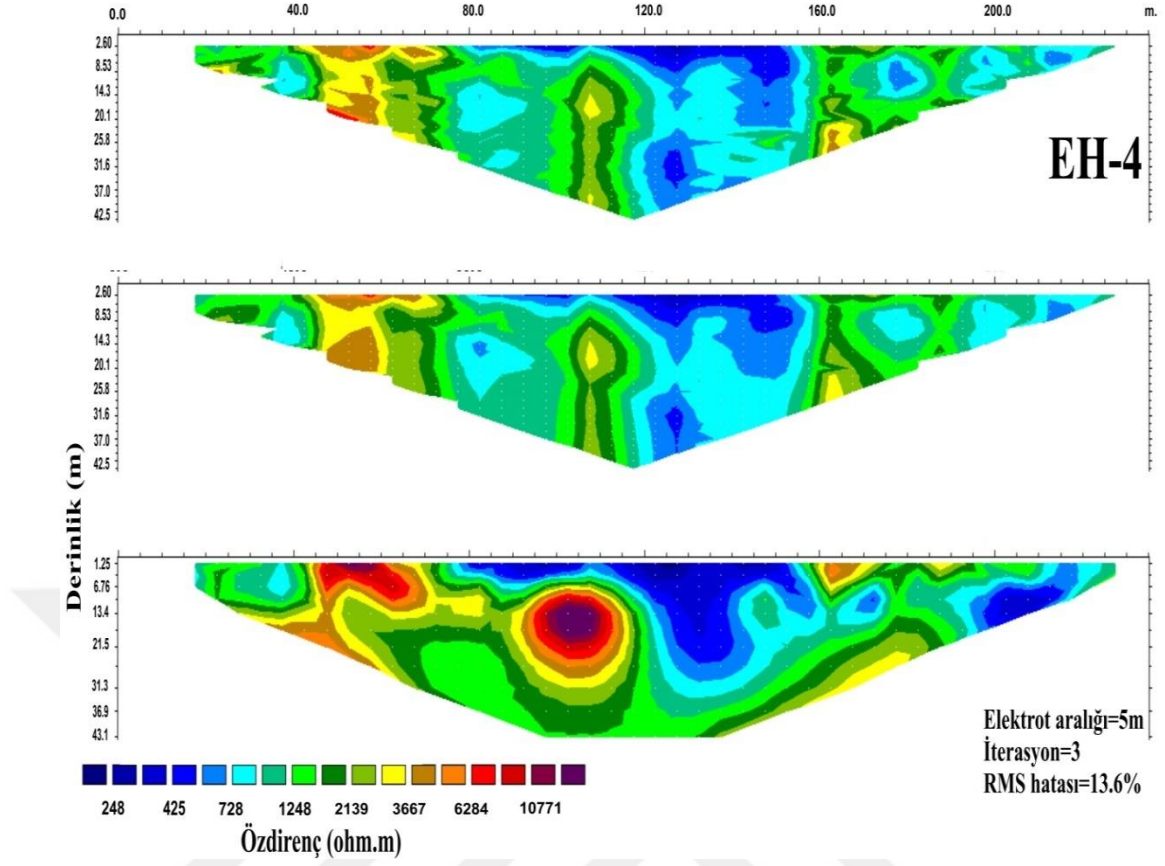
Elektrik Öz direnç Tomografi – EÖT - 1



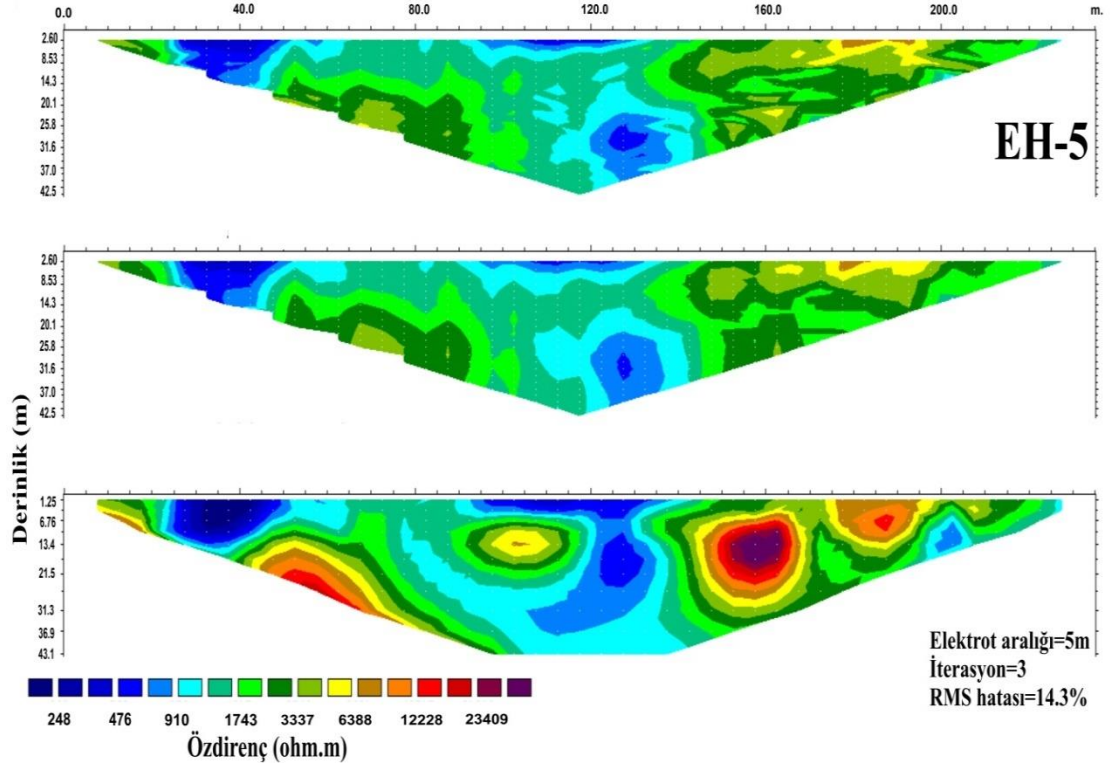
Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 2



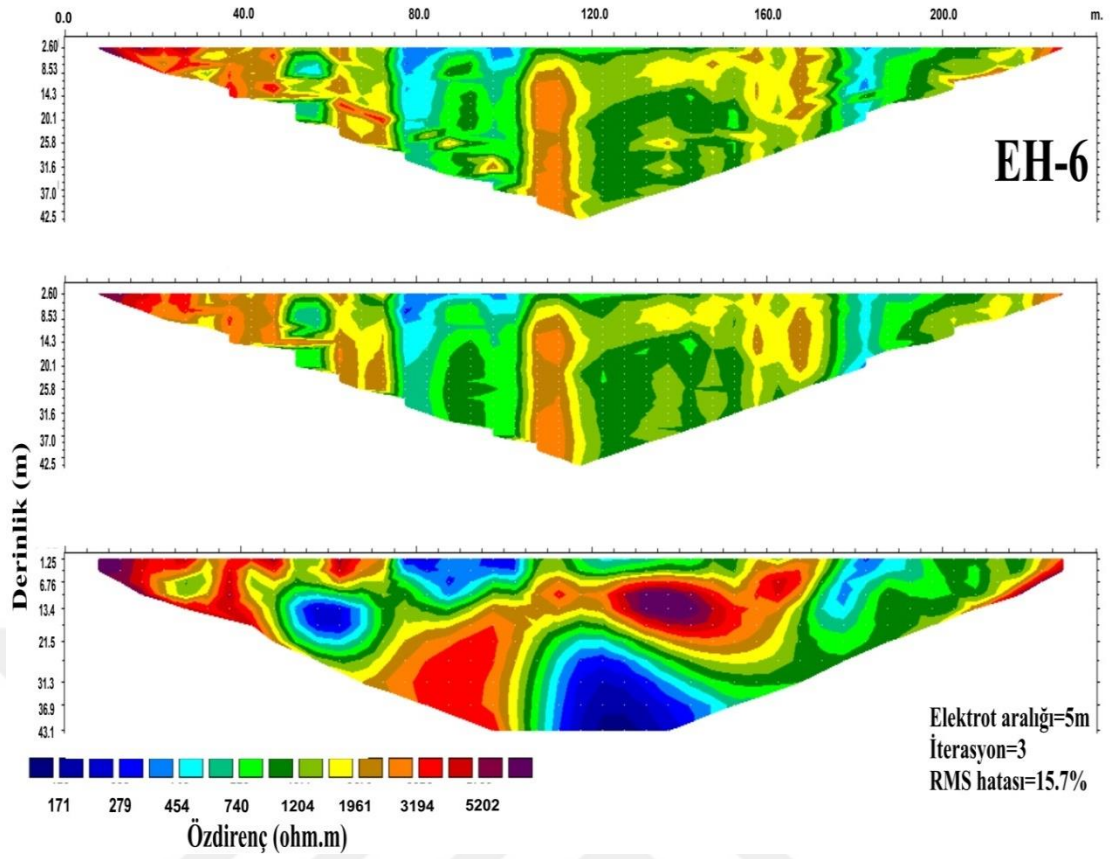
Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 3



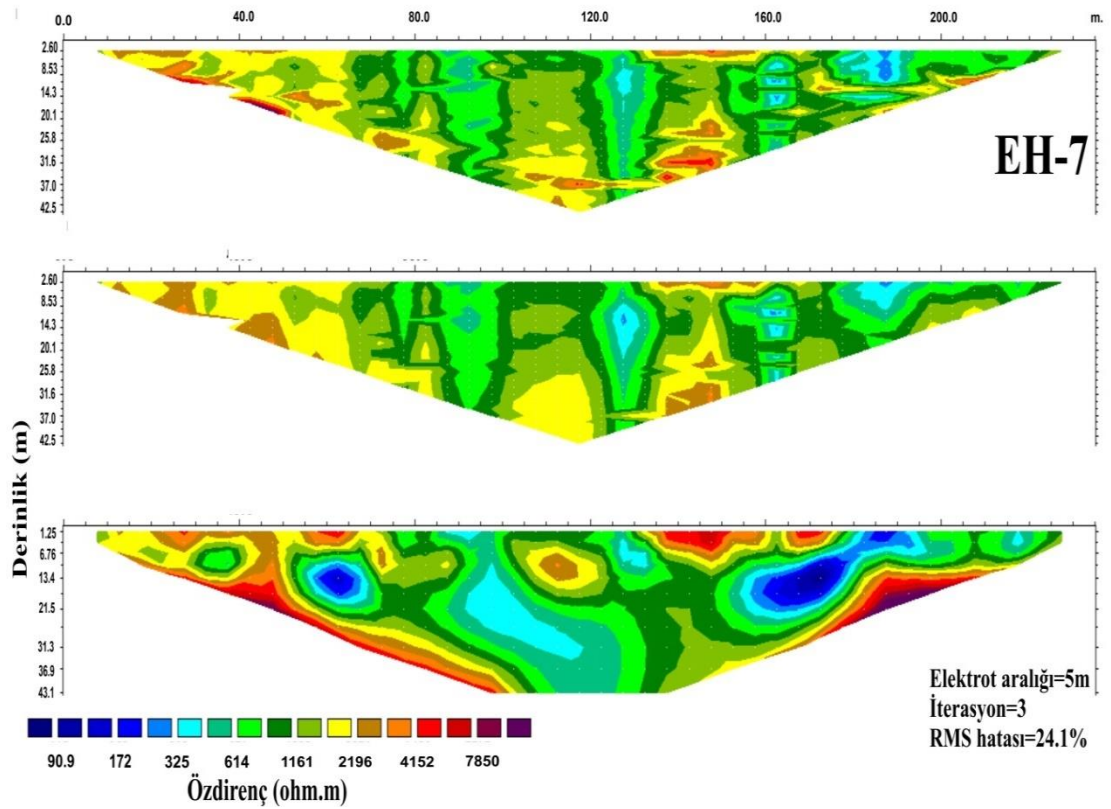
Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 4



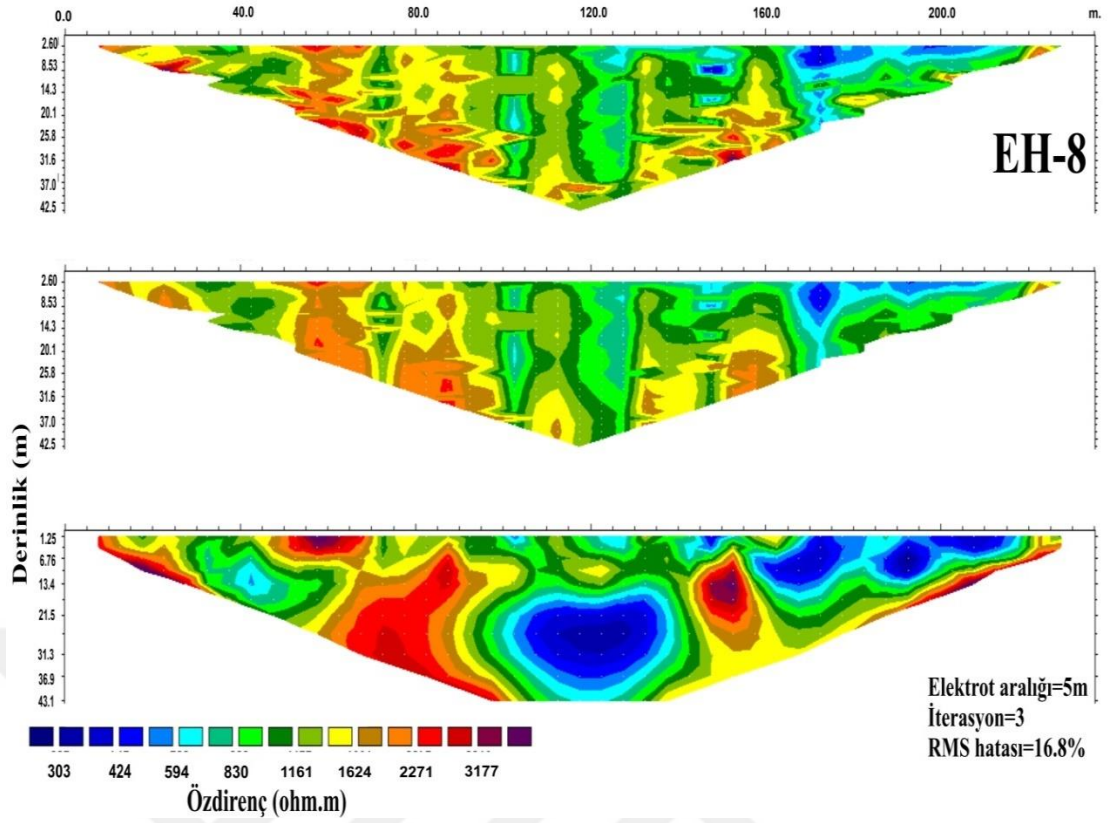
Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 5



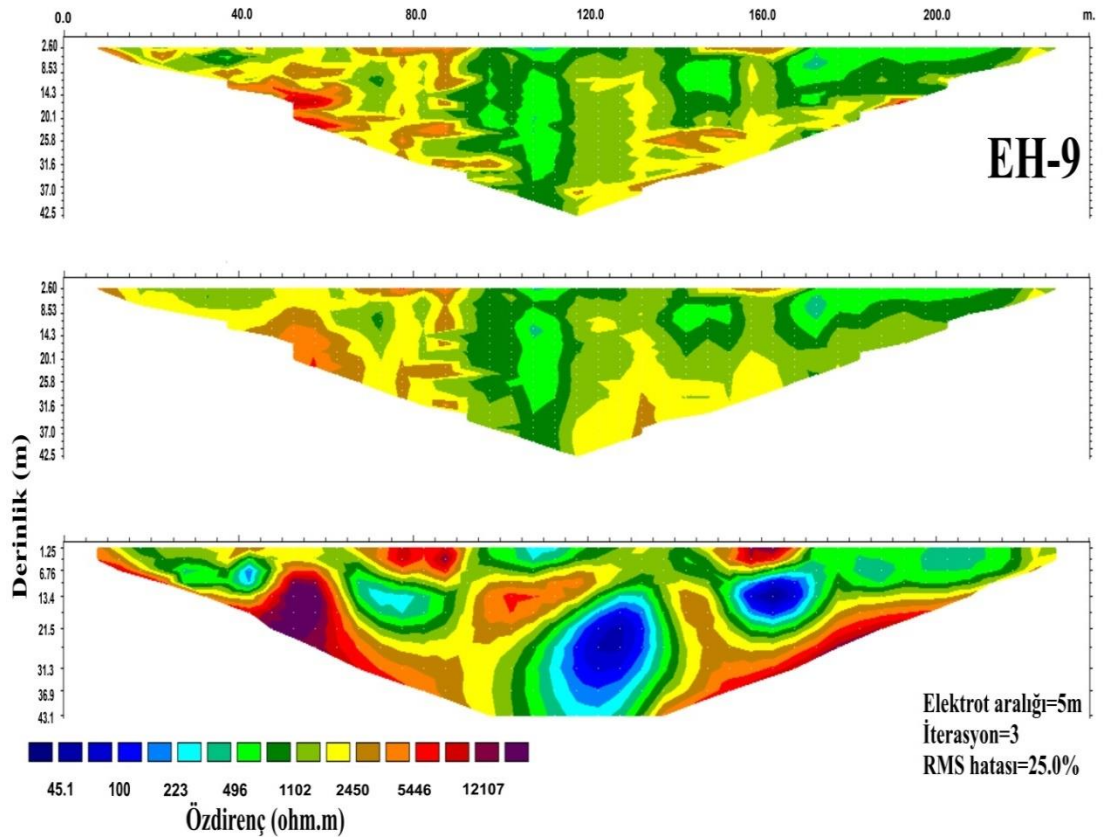
Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 6



Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 7



Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 8



Elektrik Özdirenç Tomografi – EÖT – 9

Ek 3.Gümüşhane il sınırları içerisinde Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır
Madencilik A.Ş. araştırma alanının sondaj karotları

Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 1-2 / 21

Derinlik : 0.00 - 7.00



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 3-4 / 21

Derinlik : 7.00 - 14.70



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 5-6 / 21

Derinlik : 14.70 - 22.30



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 7-8 / 21

Derinlik : 22.30 - 29.80



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 9-10 / 21

Derinlik : 29.80 - 44.50



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 11-12 / 21

Derinlik : 44.50 - 52.50



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 13 / 21

Derinlik : 52.50 - 56.20



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 14 / 21

Derinlik : 56.20 - 60.00



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 15-16 / 21

Derinlik : 60.00 - 82.70



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 17-18 / 21

Derinlik : 82.70 - 93.60



Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 19-20 / 21

Derinlik : 93.60 - 104.20

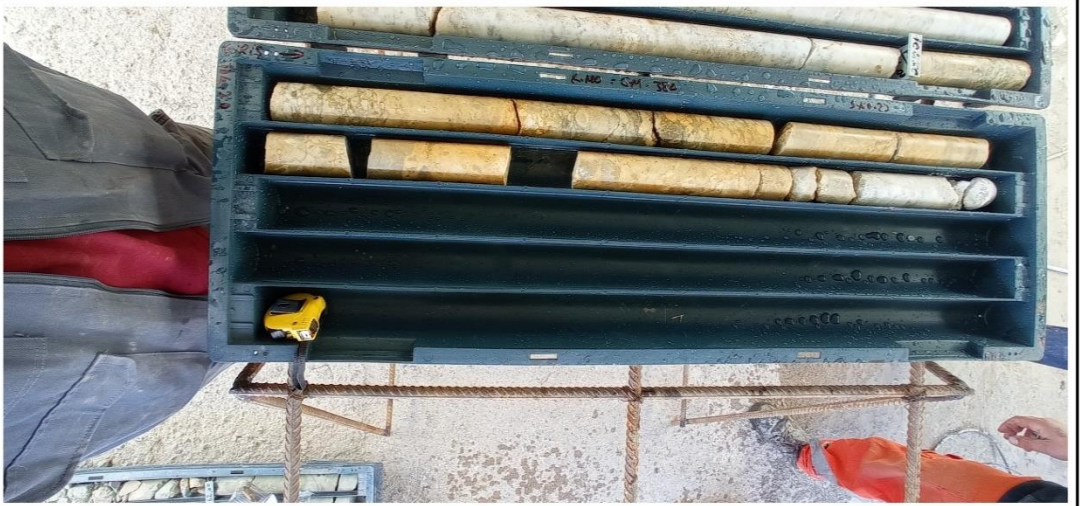


Gümüşhane İli Karamustafa Mahallesi Yıldız Bakır Madencilik A.Ş. Eskiden İşletilmiş Maden Sahası Sondaj Karot

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 21 / 21

Derinlik : 104.20 - 106,20



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AVCIL, İlkokulu 1996-2001 yılları arasında Manisa Fatih İlköğretim okulunda ve ortaokulu 2001-2004 yılları arasında Manisa Ali Rıza Çevik Ortaokulu'nda, Lise öğrenimini 2004-2008 yılları arasında Manisa Anadolu Ticaret Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu'nda, Bilgisayar Teknolojisi Ve Programlama Bölümü'nde “Ön Lisans” eğitimi almaya hak kazandı. Ön Lisans eğitimini 10.06.2010 tarihinde Meslek Yüksek Okulu 2. Si Ve Bölüm 1. Si olarak tamamladı. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik mühendisliği Bölümü'nde “Lisans” eğitimi almaya hak kazandı. Lisans eğitimini 09.07.2014 tarihinde Bölüm 1. si olarak tamamladı. 2021 yılında “Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı”nda “Yüksek Lisans” eğitimine devam ediyor.