T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

HARŞİT ÇAYI-BAĞLARBAŞI (GÜMÜŞHANE MERKEZ) YER ALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Mohamed Abubakar ISAK

TEMMUZ-2025
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

HARŞİT ÇAYI-BAĞLARBAŞI (GÜMÜŞHANE MERKEZ) YER ALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF HARŞİT ÇAYI-BAĞLARBAŞI (GÜMÜŞHANE CENTRE) GROUNDWATER POTENTIAL BY ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

YÜKSEK LİSANS

Mohamed Abubakar ISAK

TEMMUZ-2025
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

HARŞİT ÇAYI-BAĞLARBAŞI (GÜMÜŞHANE MERKEZ) YER ALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF HARŞİT ÇAYI-BAĞLARBAŞI (GÜMÜŞHANE CENTRE) GROUNDWATER POTENTIAL BY ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

YÜKSEK LİSANS

Mohamed Abubakar ISAK

Danışman: Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

TEMMUZ-2025
GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Yüksek Lisan Tezi olarak hazırlamış olduğum "**Harşit Çayı-Bağlarbaşı (Gümüşhane Merkez) Yer Altı Suyu Potansiyelinin Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Araştırılması**" isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirtiğimi 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.

10/07/2025

…….

Mohamed Abubakar ISAK

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında emeği geçen, bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, akademik gelişimime katkıda bulunan değerli danışmanlarım Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ ve Dr. Öğr. Üyesi Suna ALTUNDAŞ'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Gerek akademik yönlendirmeleri gerekse motivasyon sağlayıcı tutumları sayesinde bu çalışmanın her aşamasında kendilerinden büyük ölçüde faydalandım. Ayrıca, zor zamanlarda yanımda oldukları, bilgi ve deneyimlerini paylaştıkları, beni cesaretlendirdikleri ve harika işlere imza attığı için Arş. Gör. Kadir SÜNNETÇİ, Jeofizik Yüksek Mühendisi Rasim Taylan KARA'ya, Jeoloji Yüksek Mühendisi Tanju AYDURMUŞ'a ve sevgili arkadaşlarım Liban, Ismail, Mohamed ve Abdurahaman'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Onların sürekli desteği, bu akademik yolculuğu hem daha yönetilebilir hem de çok daha anlamlı ve keyifli hale getirmiştir.

Ayrıca, yaşamım boyunca her koşulda yanımda olan; maddi ve manevi destekleriyle eğitim hayatımın her anında bana güç veren sevgili aileme, özellikle sabırları, anlayışları ve sonsuz sevgileriyle her daim yanımda olduklarını hissettiren annem Muslima, babam Abubakar, kardeşlerim Hasan ve Khadija'a en derin şükranlarımı sunarım. Bu süreçte onların desteği olmasaydı, bu çalışmayı tamamlamak çok daha güç olurdu.

Mohamed Abubakar ISAK

GÜMÜŞHANE – 2025

ÖZET

Bağlarbaşı Mahallesi, Harşit Çayı boyunca çalışma alanı, granitoyid, tortul ve volkanik kayaçlardan oluşan bir jeolojik yapıya sahiptir. Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi, çalışma alanının tabanını oluştururken, bunun üzerine volkano-tortul özellikler gösteren Şenköy Formasyonu ve Berdiga Kireçtaşları uyumlu bir şekilde yerleşmiştir. Gümüşhane Granitoyidi, granit ve granodiyorit bileşiminde olup, çatlak ve kırık yapılarla karakterizedir. Şenköy Formasyonu andezit kayacı, Berdiga Kireçtaşları ise kalsit minerali içerir. Araştırma kapsamında, çalışma alanında Düşey Elektrik Sondajı (DES) ve Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT) yöntemleri kullanılmıştır. DES ölçümleri, Schlumberger elektrot dizilimiyle 10 farklı noktada; ERT ölçümleri ise Wenner-Schlumberger dizilimiyle iki profil boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, yeraltı yapılarının konumsal dağılımı ve elektriksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, yer altı jeolojik yapısının net bir şekilde belirlenmesinin yanı sıra, yer altı suyu potansiyelinin değerlendirilmesinde de önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle düşük özdirençli alanlar, yoğun killi ve geçirimsiz birimleri, yüksek özdirençli alanlar ise kumlu-çakıllı seviyeleri ve potansiyel yer altı suyu seviyelerini (YASS) göstermektedir. ERT profillerinde yer alan bu özelliklere sahip bölgelerde açılacak sondaj kuyularının yüksek verimle su sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca, derin sondajlar için 50–300 ohm metre aralığındaki zonlar, sürdürülebilir su temini için uygun olarak değerlendirilmiştir kök ortalama kare. Elde edilen veriler, çalışma sahasında sürdürülebilir yer altı suyu yönetimi açısından önemli bir temel oluşturmuş ve sondaj yerlerinin bilimsel esaslara dayalı olarak belirlenmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Özdirenç, DES, Granitoyid, Gümüşhane, Harşit, Yer altı suyu

SUMMARY

The study conducted along the Harşit River in Bağlarbaşı District is based on a geological structure consisting of granitoid, sedimentary, and volcanic rocks. The Paleozoic-aged Gümüşhane Granitoid forms the base of the study area, over which the Şenköy Formation, exhibiting volcanic-sedimentary characteristics, and the Berdiga Limestone are conformably found, respectively. The Gümüşhane Granitoid is composed of granite and granodiorite, characterized by fractures and fault structures. The volcanic rocks of the Şenköy Formation are andesite. The Berdiga Limestone is primarily composed of calcite mineral. Geophysical measurements were conducted in the study area using a Schlumberger electrode configuration with expansion geometries at 10 different points. Vertical Electrical Sounding (VES) and Electrical Resistivity Tomography (ERT) methods were employed in the study area to investigate the subsurface structures. The VES measurements were conducted at ten distinct locations using the Schlumberger electrode configuration, while the ERT data were acquired along two profiles using the Wenner-Schlumberger array. These complementary geophysical methods enabled the assessment of the spatial distribution and electrical resistivity variations of subsurface formations, providing valuable insights into the geological and hydrogeological characteristics of the area. Specifically, areas with low resistivity were found to represent clay-rich and impermeable units, while high resistivity areas were identified as sandy-gravel layers, which could correspond to potential groundwater levels (GWL). It is predicted that wells to be drilled in the regions corresponding to these high-resistivity values in the ERT profiles will yield high water flow rates. Furthermore, zones with resistivity values ranging from 50 to 300 ohm-meters, showing continuity in depth, were found to be suitable for a sustainable water supply. The data obtained provided a critical foundation for sustainable groundwater management in the study area. By accurately delineating subsurface resistivity variations and hydrogeological conditions, the study facilitated the selection of optimal drilling locations based on scientific principles rather than empirical or arbitrary methods.

Keywords: Electrical Resistivity, VES, Granitoid, Gümüşhane, Harşit, Ground water

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY .....**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI IV
TEŞEKKÜR.....V
ÖZET.....VI
SUMMARY VII
İÇİNDEKİLER VIII
TABLOLAR DİZİNİ X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....XI
EKLER DİZİNİ.....XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ XIV
1.GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş.....1
1.2. Kapsam ve Amaç 7
2.ÇALIŞMA ALANINA AİT GENEL BİLGİLER 8
2.1. Çalışma Alanının Topografik Özellikleri 8
2.2. Jeomorfoloji 9
2.3. İklim ve Bitki Örtüsü 9
2.4. Gümüşhane Nüfusu ve Ulaşımı 9
2.5. Bölgesel Jeoloji 10
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER 12
3.1. Arazi Çalışmaları 12
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....12
3.3. Jeofizik Çalışmalar.....12
3.3.1.Elektrik Özdirenç Yöntemi 12
3.3.1.1.Elektrik Yöntemlerin İlkesi.....12
3.3.1.2.Fiziksel Temelleri 14
3.3.1.3.Kayaçların Elektrik Özellikleri 15
3.3.1.4.Düşey Elektrik Sondajı (DES) 17
3.3.1.5.Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntemi 21
3.3.1.6.2B ERT Dizilimleri 25
3.3.1.7.Elektrik Özdirenç Yöntemi Uygulama Alanları 26
3.4. Büro Çalışmaları 26

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 27
4.1. Stratigrafi ve Petrografi 27
4.1.1.Gümüşhane Granitoyidi 29
4.1.2.Şenköy Formasyonu 31
4.1.3.Berdiga Formasyonu 33
4.1.4.Alüvyonlar 34
4.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri 35
4.3. DES Ölçümleri 35
4.3.1.DES Verilerinin 1B'lu Ters Çözümü 36
4.3.2.DES Profilleri ve Yapma Kesitleri 46
4.3.3. DES Verilerinin 2B Model Gösterimi 49
4.3.3.DES Kesitleri Olası Yer Altı Jeolojik Model ve YASS 50
4.4.ERT Ölçümleri 52
4.4.1. İki Boyutlu Ters Çözüm 52
4.4.2. ERT1 ve ERT 2 Nolu Rezistivite Profilleri İki Boyutlu Ters Çözüm Kesitleri 53
4.4.3. ERT 1 ve ERT 2 Nolu Rezistivite Profilleri Ters Çözüm Model Kesitlerine Bağlı Geliştirilen Olası Jeolojik Yer Elektrik Model Gösterimi 55
5.SONUÇ VE ÖNERİLER 60
KAYNAKÇA 62
EKLER 70
ÖZGEÇMİŞ 93

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çeşitli Kayaçların Elektrik Özdirenç Değerleri 16

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası 8
Şekil 2. Elektrik özdirenç yöntemin ölçüm prensibi (Akım elektrotları: A-B ve potansiyel elektrotları: M-N) (Telford vd., 1990) 13
Şekil 3. Toprak malzemelerinin karakteristik özdirenç değerleri (Palacky, 1987). ... 16
Şekil 4. WinGlink yazılımı kullanılarak bir DES verisinin değerlendirilmesi örneği 17
Şekil 5. DES ölçüm cihazı ile ekipmanları (elektrotlar ve kablolar) 21
Şekil 6. ERT kesitinin oluşturulmasında temel prensibini gösteren şematik diyagram (ABEM, 2006) 22
Şekil 7. ERT ölçüm ekipmanı ve arazi çalışması 24
Şekil 8. Özdirenç çalışmalarında sıklıkla kullanılan elektrot dizilimleri (Çağlar, 2009) 25
Şekil 9. İnceleme alanındaki birimlerin stratigrafik dikme kesiti (Güven, 1993'ten değiştirilerek) 28
Şekil 10. İnceleme alanın jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek) 28
Şekil 11. Gümüşhane Granitoyidi'nin inceleme alanındaki görünümü 29
Şekil 12. Granitteki taneli dokunun a) tek nikolde (TN) ve b) çift nikoldeki (ÇN) görünümü. (Pl: Plajiyoklaz, Ku: Kuvars, Or: Ortoklaz, Bi: Biyotit). 30
Şekil 13. Granitteki taneli dokunun a) tek nikolde (TN) ve b) çift nikoldeki (ÇN) görünümü (Pl: Plajiyoklaz, Ku: Kuvars, Or: Ortoklaz, Bi: Biyotit). 31
Şekil 14. Çalışma alanında Gümüşhane Granitoyidi üzerinde bulunan Şenköy Formasyonu'nun görünümü 32
Şekil 15. Andezitteki camsı mikrolitik porfirik dokunun a) tek nikolde (TN) ve b) çift nikoldeki (ÇN) görünümü. (Pl: Plajiyoklaz, Amf: Amfibol, Op: Opak mineral). 32
Şekil 16. Berdiga Formasyonu kireçtaşının arazideki görünümü 33
Şekil 17. Kireçtaşı örneğinin tek nikolde (a) ve çift nikoldeki (b) görünümü 34
Şekil 18. Harşit Çayı'nda alüvyonlardan görünüm 34
Şekil 19. İnceleme alanı DES ve ERT lokasyonları 36
Şekil 20. DES-1 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 37
Şekil 21. DES-2 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 38
Şekil 22. DES-3 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 39
Şekil 23. DES-4 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 40

Şekil 24. DES-5 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 41
Şekil 25. DES-6 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 42
Şekil 26. DES-7 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 43
Şekil 27. DES-8 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 44
Şekil 28. DES-9 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 45
Şekil 29. DES-10 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü 46
Şekil 30. P1 ve P2 nolu profillerin konumunu gösteren harita 47
Şekil 32. P1 nolu profilin yer elektrik yapma kesiti..... 48
Şekil 33. P2 nolu profilin yer elektrik yapma kesiti..... 48
Şekil 34. P1 nolu yer elektrik kesitinin 2B'lu model gösterimi 49
Şekil 35. P2 nolu yer elektrik kesitinin 2B'lu model gösterimi 50
Şekil 36. P1 ve P2 nolu profillerin 2B'lu yer elektrik kesiti ve olası YASS 52
Şekil 37. İterasyon sayısı 4 ERT-1 nolu profilin 2B'lu Özdirenç ters çözüm modeli 54
Şekil 38. ERT-2 nolu profilin 2B'lu Özdirenç ters çözüm modeli 54
Şekil 39. a) ERT 1 nolu kesit yer bulduru, b) ERT 1 nolu kesit ters çözüm modeli ve c) ERT 1 nolu kesit 2b ters çözüm kesiti, olası jeolojik ve YASS seviye modeli 56
Şekil 40. a) ERT 2 nolu kesit yer bulduru, b) ERT 2 nolu kesit ters çözüm modeli ve c) ERT 2 nolu kesit 2b ters çözüm kesiti, olası jeolojik ve YASS seviye modeli 57
Şekil 41.ERT 2 sondaj öneri noktası..... 59

EKLER DİZİNİ

Ek Tablo 1. Çalışma alanına ait DES ölçümleri 70
Ek Tablo 2. Özel bir firma tarafından yapılan sondajlara ait bilgiler. 81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1B	: Bir boyutlu
2B	: İki boyutlu
Amf	: Amfibol
Bi	: Biyotit
$CaCO_3$	: Kalsiyum karbonat
cm	: Santimetre
Çn	: Çift nikol
DA	: Doğru akım
DES	: Düşey Elektrik Sondaj
EM	: Elektromanyetik
ERT	: Elektrik Özdirenç Tomografi
EÖY	: Elektrik Özdirenç Yöntemi
I	: Akım
K	: Geometrik düzenleme faktörü
km	: Kilometre
Ku	: Kuvars
m	: Metre
mgr/l	: Miligram/litre
Or	: Ortoklaz
Op	: Opak mineral
Rms	: Kök ortalama kare hatası
Pl	: Plajiyoklaz
TÇKM	:Toplam çözünmüş katı maddeler
Tn	: Tek nikol
UTHM	: Universiti Tun Hussein Onn Malezya
ΔV	: Potansiyel fark
YASS	: Yer altı suyu seviyesi
ρa	: Görünür özdirenç
Ω.m	: ohm metre

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yer altı suyu araştırmaları, su kaynaklarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi için büyük önem taşır, özellikle tatlı su kaynaklarının sınırlı veya belirsiz olduğu bölgelerde. Jeofizik yöntemler, özellikle Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT), yer altı yapılarını haritalamak ve yer altı suyu potansiyelini değerlendirmek için etkin ve güvenilir araçlar olarak kabul edilmektedir. ERT yöntemi, yerin elektriksel özdirencini ölçmek için elektrotlar aracılığıyla bir elektrik akımı uygulanması ve bu akımın yarattığı voltajın kaydedilmesi prensibine dayanır. Elde edilen veriler, yer altı yapılarını 2D veya 3D şekilde modellemeye ve yer altındaki akiferler, su taşıyan formasyonlar ve kirlenmiş bölgeler gibi unsurları belirlemeye yardımcı olur (Telford vd., 1990).

Yer altı suyu araştırmalarında DES yöntemi, özellikle dikey profiller sağlayarak yeraltındaki yapıların detaylı bir şekilde incelenmesini mümkün kılar. Bu özellik, heterojen jeolojik yapıya sahip bölgelerde oldukça etkilidir. DES aynı zamanda sığ ve derin yer altı suyu sistemlerini değerlendirebilmekte, böylece yeni kuyuların yerleşimi için uygun alanların belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, DES, yer altı suyu salınımı ve su kirliliği tespiti gibi çevresel izlemeleri de yapma imkânı sağlar (Loke ve Barker, 1996)

Su, Dünya yüzeyinin %71'ini kaplar ve bilinen tüm yaşam formları için hayati öneme sahiptir. Dünya'da, gezegendeki suyun %96,5'i denizlerde ve okyanuslarda (manto hariç), %1,7'si yer altı suyunda, %1,7'si Antarktika ve Grönland buzullarında, küçük bir kısmı diğer katmanlardaki su kütlelerinde ve %0,001'i havada buhar, bulut (havada asılı katı ve sıvı su parçacıklarından oluşan) ve yağış olarak bulunur (U.S. Geological Survey, 2022). Tatlı su, Dünya'daki suyun %2,5'ini oluşturur ve bu suyun %98,8'i buzda ve yeraltı suyunda bulunmaktadır. Tüm tatlı suyun %0,3'ten azı nehirlerde, göllerde ve atmosferdedir. Dünya'nın tatlı suyunun çok küçük bir kısmı (%0,003) bile biyolojik hücrelerde ve üretilen ürünlerde bulunmaktadır (Wikipedia, 2024). Yeraltı suyu, alüvyal malzemeler (kum, çakıl, silt, kil) veya kayalardaki çatlakların arasındaki küçük boşlukları doyuran su olarak tanımlanabilir. Tatlı su, insanların ve ulusların hayatta kalması için çok önemlidir. Doğa, tatlı su kaynaklarını dünyanın her yerine eşit olarak dağıtmamıştır. Göller ve nehirler gibi yüzey suları kolay kirlenebilmeleri nedeniyle güvenli değildir. En güvenli tatlı su kaynağı yer altı suyudur. Yer altı suyuyla ilgili bazı temel sorular var; nerede, ne kadar var, kalitesi nedir? Kaynak olumsuz etki olmadan ne oranda

kullanılabilir? Bunlar, jeofizik tekniklerin cevaplamaya yardımcı olabileceği keşif ve üretim sorularıdır (Fitterman ve Stewartj, 1986).

Bölgedeki yağışların azalması sonucunda yer altı su seviyesinin düşmesi ve buna bağlı olarak, önceden verimli olan çok sayıda su kuyusu kurumakta ve yeni, verimli su kuyusu açmaya yönelik çok sayıda girişim başarısız olmaktadır (UNESCO, 2022; Famiglietti, 2014). Sert kaya ortamındaki yer altı suyu araştırmaları için jeolojik sınırlar, faylar ve eklemler gibi özelliklerin tanımlanması çok önemlidir. Sonuç olarak yer altı suyu aramaları öncesinde gerekli olduğu düşünülen bu yapıların tespitinde jeofizik yöntemlerden yararlanılmaktadır (Al-Garni, 2009).

Su, küresel ekonomiyi önemli ölçüde etkilemektedir. İnsanların kullandığı tatlı suyun yaklaşık %70'i tarıma tahsis edilmektedir. Tuzlu su ve tatlı su ekosistemlerinde balıkçılık, tarihsel olarak dünya çapında birçok bölge için önemli bir geçim kaynağı olmuştur ve olmaya devam etmektedir ve dünya protein arzının %6,5'ine katkıda bulunmaktadır. Uzun mesafeli emtia ticaretinin (petrol, doğal gaz ve mamul mallar dahil) önemli bir kısmı denizler, nehirler, göller ve kanallar üzerinden deniz taşımacılığı yoluyla gerçekleştirilmektedir. Endüstriyel ve konut ortamlarında termal düzenleme için önemli miktarda su, buz ve buhar kullanılır. Su, hem mineral hem de organik çok sayıda bileşik için üstün bir çözücü görevi görür; dolayısıyla endüstriyel uygulamaların yanı sıra mutfak ve temizlik uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Su, buz ve kar, yüzme, gezi teknesi, tekne yarışı, sörf, sportif balıkçılık, dalış, buz pateni, snowboard ve kayak gibi çok sayıda spor ve eğlence etkinliğinin ayrılmaz bir parçasıdır (Wikipedia, 2020).

Su, insanlık için temel bir gereksinimdir ve tahsisi, herhangi bir topluluğun ekonomik faaliyetini ve uzun vadeli büyümesini önemli ölçüde etkiler (Akbar vd., 2022). Doll vd. (2012), sulamada kullanılan suyun %42'si yer altı suyundan, konutta kullanılan suyun %36'sını yer altı suyundan ve endüstride kullanılan suyun %27'sinin yer altı suyundan sağlandığını belirtmektedir. Gordon Groundwater Consulting (2011), yer altı suyu sürdürülebilirliğinin, mevcut ve gelecekteki çevresel, ekonomik ve sosyal talepleri dengelemek için bağlantılı ekosistemlerin yönetimi ve bakımıyla ilgili olduğuna inanmaktadır. Yaşam için gerekli olan su, yer üstü ve yer altı su kaynaklarından karşılamakta olup, tatlı suyun ana kaynağı yağışlardır. Türkiye'nin mevcut su kapasitesi 112 milyar m^3 olup bunun %16'sı içme ve kullanma amaçlıdır. Yüzde 72'si tarımsal sulamaya, yüzde 12'si ise sanayiye tahsis ediliyor.

Jeofizik yöntemler, yer altı suyu kaynaklarının belirlenmesi, karakterizasyonu ve izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, yer altı suyu kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını, korunmasını ve sürdürülebilirliğini sağlamak için temel

bir araçtır (Patra vd., 2016). Yer altı suyu kaynaklarının potansiyelinin değerlendirilmesi, su seviyelerinin izlenmesi ve kirlenme durumlarının analiz edilmesi açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Jeofizik yöntemlerin kullanımı, yer altı suyu kaynaklarının yönetimi için gereken verilerin toplanmasında da önemli bir yere sahiptir.

Jeofizik yöntemler, özellikle elektriksel, manyetik, sismik ve elektromanyetik teknikler aracılığıyla yer altı suyu rezervuarlarının tespitini sağlamaktadır. Elektriksel iletkenlik ve resistivite ölçümleri, yer altındaki suyun varlığını belirlemede etkili olurken, manyetik ve gravite yöntemleri jeolojik yapıları haritalamaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca, sismik ve radar taramaları, suyun hareketini ve yer altındaki yapıların detaylı analizini mümkün kılmaktadır (Patra vd., 2016). Bu yöntemler, yalnızca suyun varlığını değil, aynı zamanda suyun kalitesini, mineralizasyon seviyelerini ve kirlenme potansiyelini de değerlendirmede önemli bir araçtır.

Önceki Çalışmalar

Tez konusu ile ilgili olarak, Türkiye'de ve dünyada daha önceden yapılmış olan araştırmalardan bazıları özetler halinde verilmiştir.

Aydın (1995) çalışmasında, Hatay-Dörtyol-Erzin Ovası'nın sahil kesiminde yaklaşık 15 km^2 bir alanda Düşey Elektrik Sondaj (DES) tekniğini kullanmıştır. Araştırma bölgesinin denize yakın olması ve sulama kooperatiflerinin yanı sıra bireysel su sondaj kuyularından kaynaklanan pompajı dikkate alarak, deniz suyunun olası nüfuzunu belirlemek için görünür özdirenç haritaları oluşturmuştur.

Kopaçlı (2009) tarafından yapılan çalışma, Hatay ili Yayladağ İlçesi civarında yer alan Karaköse, Kışlak ve Yeditepe Beldelerini kapsamaktadır. İnceleme alanına ait birimlerin jeolojisinin ve hidrojeolojisinin tespiti ve yer altı suyu potansiyelinin belirlenmesi amacıyla düşey elektrik sondaj yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan görünür özdirenç kat haritalarında yüksek olan özdirenç değerlerinden kaynaklı olarak inceleme alanında tuzlu su girişimli seviyelerin olmadığı tespit edilmiştir.

Ateş ve Yeşil (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Düzce ili Küçük Melen Çayı çevresindeki alüvyon çökellerinde yer altı suyunu araştırmak için DES yöntemi kullanılmıştır. Dört farklı lokasyondan elde edilen verilerin analizi sonucunda, kumlu, siltli ve çakıllı formasyonların su depolama alanı olarak işlev gösterdiği ve açılan kuyulardan farklı derinliklerden su elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Mohammed Nazıfı (2015) yaptığı çalışmada, Gana'da Twifo-Hemang Lower Denkyira bölgesinin mevcut yer altı suyu varlığının incelenmesi için entegre jeofizik yöntemler kullanılmıştır. Çalışmada Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve Elektromanyetik

(EM) ölçümleri yapılarak yer altı suyu içeren sahalarda jeolojik birimlere bağlı olarak özdirenç ve iletkenlik arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Aziman vd. (2018) tarafından Universiti Tun Hussein Onn Malezya (UTHM) üniversitesinin kampüs alanında elektrik özdirenç çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, profil uzunlukları 300 m ve 380 m olmak üzere elektrik özdirenç tomografi çalışması yapılmış ve elde edilen veriler 2B'lu Res2Dinv programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, UTHM'deki kırıklı ana kayanın ilk tabakasının, yerel tüketim kullanımı için önemli miktarda yeraltı suyu üretebildiği sonucuna varılmıştır.

Yıldırım (2021) çalışmasında, Emirdağ-Karaağaç bölgesindeki muhtemel yer altı suyu bulunduran jeolojik yapıların araştırılmasında, düşey elektrik sondajı ve elektrik özdirenç tomografi yöntemlerini kullanmıştır. Elektrik özdirenç araştırma sonuçları bölgede açılmış 4 adet sondajdan sağlanan litolojik bilgiler kullanılarak yer altı suyu açısından yorumlanmış ve muhtemel yer altı suyu bulunduran akifer yapıların dağılımı belirlenmiştir.

Gelişli ve Babacan (2021), iki farklı sahada (Araklı ve Değirmendere, Trabzon) sulama amacıyla yapılan yer altı suyu araştırmalarını içeren ve Elektrik Özdirenç Tomografi yönteminin kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. İnceleme alanlarının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önünde bulundurularak elde edilen tomografi kesitleri yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda, elektrik özdirenç çalışması ile yapılan yer altı suyu araştırması, yer altı suyunu taşıyan akiferin yeri ve kalınlığı, tatlı su-tuzlu su girişim alanı başarıyla tespit edilmiştir.

Wiederhold vd. (2021) tarafından Almanya ve Danimarka'da yer altı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sismik yansıma ve Elektrik özdirenç yöntemlerinin kullanıldığı 2 farklı çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan Sismik ve özdirenç çalışmalarının birlikte yorumlanması sonucunda, yer altı suyu taşıyan akiferlerin yerleri ve yer altı suyu bariyer katmanlarının 150 m derinliğe kadar uzandığı tespit edilmiştir.

Izzaty vd. (2022)'nin çalışmasında Johor'daki Parit Raja sahasındaki yer altı su depo yerlerinin belirlenmesinde iki boyutlu (2B) Elektrik Özdirenç Tomografi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, potansiyel akiferi ve gözlem kuyusu görevi görecek sondaj kuyuları için uygun yerleri belirlemek amacıyla çalışma alanındaki üç farklı lokasyonda görüntüleme yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 10 ila 30 m arasındaki derinliklerdeki 10 Ω.m'nin altındaki düşük değişken özdirenç değerleri potansiyel sığ akifer bölgesi olarak gözlemlenmiştir. Ve aynı sahada alınan ve 0-1 ms arasında değişim

gösteren IP ölçüm verileri de yeraltı suyu varlığını işaret etmekte olup, bu sonuçları desteklemiştir.

Karadeniz Bölgesi'nin doğu kesiminde yer alan çalışma alanında ve yakın civarında çok sayıda jeolojik incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunluğu bölgede mevcut olan kayaçların stratigrafik, petrografik, petrolojik ve jeoteknik olarak araştırılması ve maden yatakları açısından değerlendirilmesini kapsamakta olup yer altı su seviyesinin belirlenmesine yönelik çalışma bulunmamaktadır.

Tez çalışma alanını içeren saha ve civarında yapılan çalışmalardan bazıları verilmiştir. Bunlar;

Sipahi (2005), Zigana Dağı (Torul, Gümüşhane) üzerindeki Geç Kretase yaşlı volkanitlerde meydana gelen hidrotermal ayrışmaları incelediği doktora tezinde volkanik serinin tabanında bazalt ve andezit piroklâstitleri bulunduğunu belirtmiştir. Bu tabanın üzerine, Dasit-I, Dasit-II ve andezit ve piroklâstitleri uyumlu olarak gelmektedir. Andezit daykları ve porfirik dasitler volkanitleri kesmektedir. Volkanitlerin, yitim etkisiyle gelişen metazomatizma nedeniyle zenginleşmiş bir kaynaktan türedikleri, daha sonra farklılaşmaya uğradıkları ve aynı zamanda kabuk kirlenmesi nedeniyle meydana geldikleri belirtilmiştir. Potasyum-Argon (K-Ar) yöntemine göre, Dasit–I'deki illitlerin ortalama 78.7 ±2.3 My ve Dasit-II'dekilerin ortalama 75.3 ±2.4 My (Kampaniyen-Daniyen) yaşında oldukları belirlenmiştir.

Akaryalı (2010), "Arzular (Gümüşhane, kuzeydoğu Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Jeokimyasal, Mineralojik ve Köken Araştırması" başlıklı doktora tezinde, alterasyon, mineral kimyası, sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmalarına göre cevherleşmenin epitermal sistemde düşük sülfürlü damar tipi olduğunu belirlemiştir.

Topuz vd. (2010), Gümüşhane Plüton'nun kalk-alkalin, I-tipi granitoyidik, yüksek potasyumlu kayaçlardan oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca Gümüşhane plütonunun zirkon yaş tayinine göre 324±6 My, hornblend ve biyotit argon-argon yaş tayinine göre 320±4 My yaşında olduğunu bulmuşlardır.

Saydam Eker vd. (2012), Gümüşhane'deki Liyas yaşlı çörtlerin iz elementleri ve nadir toprak elementlerini (NYE'ler), çörtlerin kökenlerini ve çökelme ortamları incelenerek mineralojik içeriği mikrokristalin, kriptokristalin kuvars ve mega kuvars olarak belirlemişlerdir.

Sipahi ve Sadıklar (2014), "Doğu Pontidlerdeki Dasitik Volkanitlerin Jeokimyası" adlı çalışmada, Dasit-I ve Dasit-II olarak adlandırılan dasitlerden Dasit-I'in toleyitik-geçişi, Dasit-II'nin geçişli-kalkali olduğunu ve dasitlerin zenginleştirilmiş bir kaynaktan

ve aynı ana magmadan plajiyoklaz-hornblend kontrollü fraksiyonel kristalleşme yoluyla oluştuğuna dikkat çekmişlerdir.

Uslu (2014) ve Sipahi ve Uslu (2016) tarafından Gümüşhane (Türkiye) şehir merkezindeki içme suyunun fiziksel ve jeokimyasal özelliklerinin araştırıldığı çalışmalarda, Gümüşhane merkez içme sularının genel olarak karbonatlı ve sülfatlı (Ca+Mg>Na+K) sular sınıfında olup, genellikle zayıf asit köklerinin güçlü asit köklerinden (HCO_3^-+CO_3^{2-} > Cl-+SO_4^{2-}) daha fazla olduğu belirlenmiştir. İçme sularının pH'sı ile sularda değişik konsantrasyonlarda bulunan metaller arasında pek bir ilişki olmadığı, suların çıktığı yerlerde su-kayaç etkileşimi ile Fe, Ni, Cd, Pb, Zn ve Cu gibi elementlerin sularda zenginleştiği, maden atıklarının veya endüstriyel atıkların sulara karışması ile bu elementlerin sularda artış gösterdiğine dikkat çekilmiştir. İnceleme alanındaki bazı su örneklerinin içme ve kullanma suyu açısından iyi sular sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Şahin ve Kaygusuz (2016), Mescitli (Torul/Gümüşhane) ve çevresindeki volkanik kayaların, dasit, riyolit, bazaltik andezit, traki andezit ve bazaltik traki andezit, bileşiminde olduğunu; çoğunlukla kuvars, alkali feldispat, ojit, biyotit ve hornblend minerallerinden oluştuğunu belirlemişlerdir.

Sipahi vd. (2017), Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu skarn mineralizasyonu jeokimyasal, mineral kimyası, sıvı kapanım, duraylı izotop ve U-Pb zirkon yaş izotop çalışmaları ile detaylı incelemiş olup mineralizasyonun magmatik sıvılardan başlangıçta düşük sülfürlü sonradan yüksek oksitli şartlar altında 42 My yaşlı Erik Granitoyidinin karbonat kayaçlarına sığ sokulumu sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir.

Vural vd. (2021), Gümüşhane'nin Canca, Refene, Çamlıca, Dörtkonak (Edire), Alemdar, Kabanbaşı, Yukarı Kov, Tekke, Tamzı, Tahnis ve Kale sahalarındaki kil oluşumlarının jeolojisi, mineralojisi, jeokimyası ve mineral kimyasının incelenerek arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bulguları uzaktan algılama çalışması ile kil alanlarının belirlenmesi için bölgeye ait Landsat 7 ve 8 uydu görüntüleri Crósta Tekniği ile işleyerek değerlendirmiştir.

Semiz vd. (2021), tarafından gereçekleştirilen çalışmada Gümüşhane (KD Türkiye) ili Şiran ilçe sularının hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmış ve metal element içerikleri belirlenmiştir.

Sipahi vd. (2022), Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu skarn mineralizasyonunun 44 My yaşlı Karadağ intrüzyonu'nun Geç Kretase yaşlı karbonat kayaçlarına sokulumuna bağlı olarak exoskarn zonunda ve oksitli şartlar altında geliştiğini belirtmişlerdir.

Sipahi vd. (2023), Orta Eosen magmatizmasının kaynağı ve petrojenezi hakkında bazı çıkarımlar sunmak amacıyla Dağdibi Plütonu'nu jeokronolojik ve jeokimyasal olarak incelemişlerdir. Elde edilen veriler ışığında levha kırılması, Orta Eosen'de (44.75 ± 0.92 ve 45.01 ± 0.59 My) Dağdibi Plütonu'nun oluşumundan sorumlu jeodinamik süreç olarak değerlendirilmiştir.

1.2. Kapsam ve Amaç

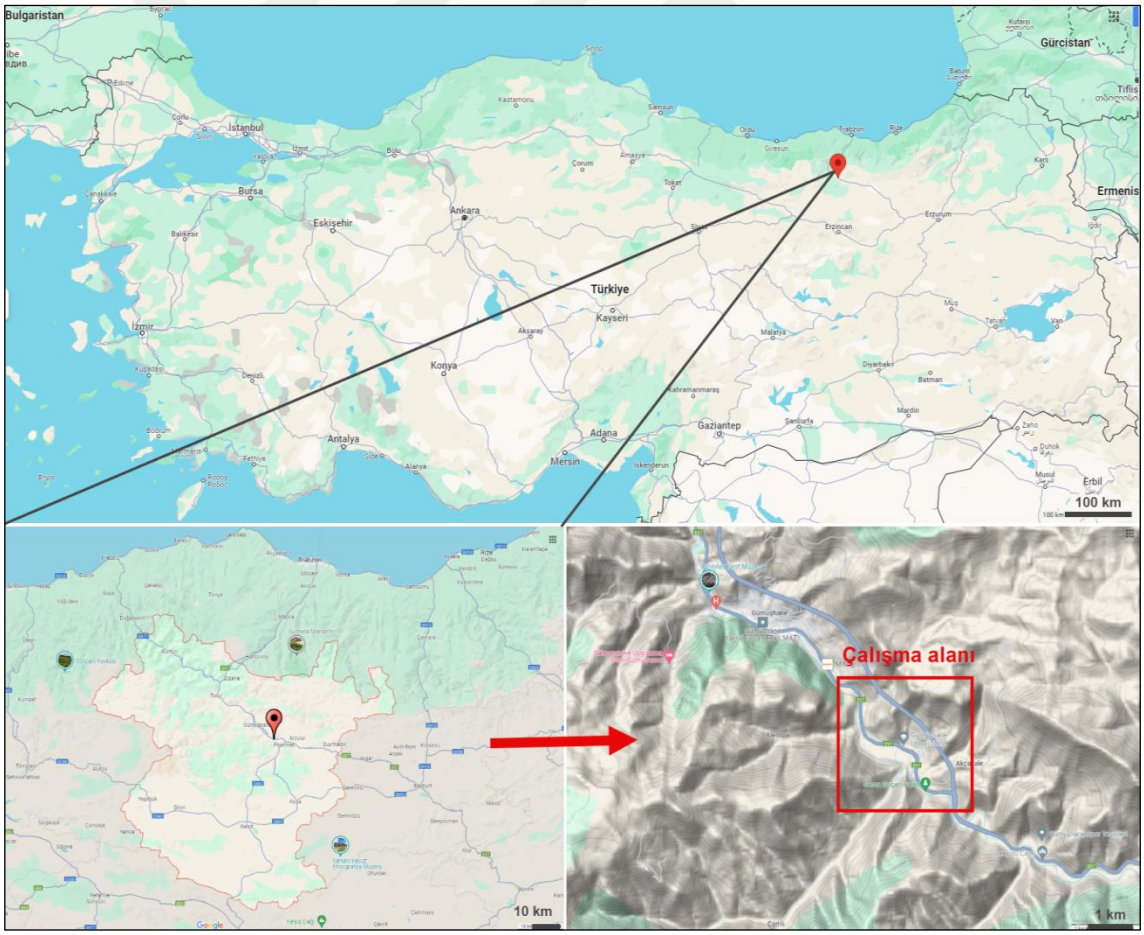
Yer altı suyu hakkında doğrudan bilgi elde etmek amacıyla gözlem ve su sağlama kuyuları kullanılabilmektedir. Ancak bu yöntemler, genellikle yüksek maliyetli olup zaman açısından da verimsizdir. Bu nedenle, yer altı suyu araştırmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılması, sondaj sayısını ve konumlarını optimize ederek hem keşif sürecini hızlandırmakta hem de maliyetleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Yer altı sularının araştırılmasında sıklıkla başvurulan jeofizik yöntemlerden biri yer elektrik yöntemidir. Kayaçların türü, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi jeolojik özellikleri, hidrojeolojik yapılarla doğrudan ilişkili olup aynı zamanda elektrik iletkenlik ile de bağlantılıdır. Bu bağlamda, elektrik özdirenç yöntemi, yer altı suyu araştırmalarında etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Yer altı suyu içeren akiferlerin elektrik özdirenci büyük değişkenlik gösterebilir. Mutlak özdirenç değerleri çoğu zaman belirli bir litolojiye tam olarak karşılık gelmediğinden, bu tür araştırmalar genellikle dolaylı yollarla gerçekleştirilir. Özdirenç yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan düşey elektrik sondajı (DES) yöntemi, su taşıyan oluşumların kalınlığını ve derinliğini belirlemede etkili sonuçlar sunar. Daha geniş alanlarda daha hızlı ve detaylı veri elde etmek amacıyla kullanılan bir diğer yöntem ise elektrik özdirenç tomografisi (ERT) olup, çok-elektrotlu sistemlerle çalışarak yüksek çözünürlüklü yeraltı görüntülemeleri yapılmasına olanak tanır (Yıldırım, 2021). Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane il merkezine bağlı Bağlarbaşı Mahallesi Harşit Çayı boyunca mevcut kayaçların stratigrafik ve petrografik olarak araştırılması, yer altı su seviyesinin ve yer altı su potansiyelinin elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak incelenmesidir. Mevcut çalışmanın yeni su temini kuyularının açılması için en uygun yer veya lokasyonların belirlenmesi amacıyla yapılması önerilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANINA AİT GENEL BİLGİLER

2.1. Çalışma Alanının Topografik Özellikleri

Çalışma alanı, Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda ve güney kesiminde, Gümüşhane il merkezi Bağlarbaşı Mahallesi-Harşit Çayı civarında yer almaktadır (Şekil 1). Gümüşhane ili, günümüzde Erzurum-Trabzon Otoyolu olarak bilinen tarihi İpek Yolu üzerinde yer almaktadır. Güneyde Erzincan, kuzeyde Trabzon, batıda Giresun ve doğuda Bayburt ile komşudur. Şehrin topografyası, GD-KB yönünde akan Harşit çayı tarafından ortadan ikiye bölünen dar bir V şekillindedir. Yerleşim Harşit Vadisi boyunca gerçekleşmiştir. Çalışma alanının en düşük tepesini Tencel Tepe (1448 m) en yüksek tepesini Kuşakkaya Tepesi (1952 m) oluşturmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası

2.2. Jeomorfoloji

Bölgenin jeomorfolojik özellikleri genel olarak üç ana birim altında sınıflandırılabilir: dağlık (yayla) alanlar, vadiler ve ovalar. Ancak, Gümüşhane ve çevresine ait jeomorfoloji incelendiğinde, bu birimler arasındaki dağılımın dağlık alanlar lehine belirgin bir şekilde dengesiz olduğu görülmektedir. Bu durum, bölgenin topoğrafyasının büyük ölçüde engebeli ve yüksek alanlardan oluştuğunu göstermektedir. Gümüşhane İli'nin topraklarının %60'ını dağlar, %29'unu platolar ve %11'ini ovalar oluşturmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015) Gümüşhane, kuzeyde Zigana-Trabzon Dağları (Çakır Göl Tepesi 3063 m.), güneyde Çimen Dağları (Akdağ 2710 m.), batıda Giresun Dağları (Sarıyer Tepeleri 2919 m.), doğuda Pulur ve Soğanlı Dağları gibi yüksek sıradağlarla çevrilidir. Zigana Dağı, içinde kayak merkezi bulunan ve kış sporları tutkunlarının popüler destinasyonu olarak bilinmektedir. Abdal Musa Tepesi'nin zirvesi 3331 metre yüksekliğiyle ilin ve bölgenin en yüksek zirvesidir. Gavurdağı Dağı'nın zirvesinde Karanlık Göl, Beş Göller, Artebel Gölü ve Kara Göller'in de aralarında bulunduğu birçok göl doğal park olarak koruma altına alınmıştır.

2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Gümüşhane ili, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin kesişim noktasında yer alması nedeniyle, her iki bölgenin iklim özelliklerini yansıtan bir geçiş iklimine sahiptir. Yaz ayları genellikle kurak geçerken kışları kar yağışlı ve soğuktur. İnceleme sahası, bitki örtüsü bakımından oldukça zayıftır. Akarsu yatakları boyunca kayısı, vişne, elma, ceviz ve dut ağaçlarının oluşturduğu meyve bahçelerine; ayrıca söğüt ve kavak ağaçlarına rastlanmaktadır. Doğal bitki örtüsünü ise yaygın olarak çalılıklar, yer yer çam ve pelit (meşe) ağaçları ile son yıllarda şehrin ekonomisine katkı sağlayan kuşburnu bitkisi oluşturmaktadır. Ormanlık alanlarda baskın ağaç türleri sarıçam ve köknar olup, çevre zengin bir fauna ve çeşitli kuş türleriyle dikkat çekmektedir.

2.4. Gümüşhane Nüfusu ve Ulaşımı

Gümüşhane ilinin, coğrafi alanı 6.668 kilometrekare olup, 2023 toplam nüfus ise 148539'tür. Çalışma alanı, Gümüşhane Üniversitesi'ne yakın olduğu için araba ve yürüyerek ulaşım sağlanabilmektedir.

2.5. Bölgesel Jeoloji

Ketin (1966), tarafından Türkiye'nin orojenik gelişimine dayanarak, ülkenin tektonik birimlerini kuzeyden güneye doğru sıralanmış ve dört ana tektonik birliğe ayrılmıştır: Anatolidler, Toridler, Kenar Kıvrımları Kuşağı ve Pontidler (Karadeniz Bölgesi). Daha sonra Ketin ve Canıtez (1972) tarafından yeniden Bu tektonik birlikler sınıflandırılmış; Batı Pontidler" ve 'Doğu Pontidler' Karadeniz Bölgesi'ni oluşturan iki alt bölümdür. Kuzey ve güneyde farklı özellikler gösterdikleri için Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Geç Kretase kayaçları "kuzey (dış)" ve "güney (iç)" bölümler olarak sınıflandırılmıştır. (Akın, 1978; Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981). Bektaş (1986), Doğu Karadeniz magmatik yayı, farklı magmatik, tektonik ve sedimantolojik evrim aşamalarına göre kuzeyden güneye doğru "kuzey zonu", "eksen zonu" ve "güney zonu" olmak üzere üç alt zona ayrılmıştır.

Karadeniz Bölgesi; Hersiniyen, Alpin ve Kaledoniyen, orojenezlerinin etkisi altında kalmış, bu süreçte bindirme, dalma ve yay gerisi havzalarının oluşumu gibi çeşitli tektonik olaylar sonucunda şekillenmiş (Şengör ve Yılmaz, 1981) ve bu nedenle birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bektaş (1984) ise Karadeniz Bölgesi'nin güneye dalan bir yitim zonu karakteri taşıdığı belirtilmektedir.

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı kayaçlar arasında kristalin şistler ve granitler yer almaktadır. Karadeniz Bölgesi'nin doğu bölümünün Güney Zonu'nda Gümüşhane yöresinde ve Gümüşhane-Köse arasında büyük plütonik kütleler olarak yer almaktadır (Zankl, 1962a, 1962b; Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Ağar, 1977; Gedikoğlu, 1978; Özdoğan, 1992; Kaygusuz, 2000). Bu kayaçlar, Doğu Karadeniz Bölümü'nün Kuzey Zonu'ndaki önceki çalışmalara (Schultz-Wetsrum, 1961) göre küçük mostralar halinde sadece Giresun güneyinde metamorfik kayaçlarla birlikte görülmektedir. Doğu Karadeniz Bölümü Kuzey Zonu'nda Paleozoyik yaşlı granitlerin varlığı ilk kez Kaygusuz vd. (2012, 2016) tarafından gösterilmiş ve bu Paleozoyik yaşlı kayaçların Tonya güneyi (Derinoba, Kayadibi, Şahmetlik ve Kızılağaç), Maçka güneyi (Soğuksu) ve Özdil bölgelerinde yüzeylediğini bildirmiştir. Bu temel kayaçlar Erken-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Bu taban kayaçları, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Görür vd., 1983; Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz, 2002; Dokuz ve Tanyolu, 2006). Geniş alanlarda yüzeylenen ve kısa mesafelerde belirgin kalınlık ile fasiyes değişimleri gösteren bu birimler, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli adlarla tanımlanmıştır (Seymen, 1975 (Karatepe Formasyonu); Turan, 1978 (Telme Yayla Formasyonu); Pelin, 1977 (Hacıören Formasyonu); Ağar, 1977

(Hamurkesen Formasyonu); Kesgin, 1983 (Balkaynak Formasyonu); Eren, 1983 (Zimonköy Formasyonu); Yılmaz ve Kandemir, 2003 (Şenköy Formasyonu)). Bu formasyonlar, stratigrafik konumları ve litolojik özelliklerine göre ayrılmış olup, çoğunlukla tüf, tüfit, aglomera ve lavlarla ardalanan volkano-sedimanter ardalanma göstermektedir. Ayrıca, bu birimlerin yerel olarak denizel çökelme ortamlarını yansıtan ince taneli çökeller içerdiği de gözlemlenmektedir. Geniş yüzeyleme alanları ve litofasiyes çeşitliliği, bölgenin Jura dönemindeki tektonik ve volkanik etkinliğinin bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Orta Jura'da Paleotetis'in kapanmasıyla (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1997; Dokuz vd., 2010) Geç Jura'dan Erken Kretase sonuna kadar karbonatlar çökelmiştir. Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) olarak adlandırılan bu birim yer yer masif ve tabaka kalınlığı güneye doğru azalmakta olup, üst seviyeleri çört yumruları (Saydam vd., 2012) ve bantları içeren kireçtaşı, dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Taslı, 1990; Yılmaz, 1997). Geç Kretase döneminde kuzey zonda volkanitler yaygınken güney zonda tortul kayaçlar (Tokel, 1972; Güven, 1993; Arslan vd., 1996; Sipahi, 2005, 2017; Sipahi ve Sadıklar, 2010, 2014; Sipahi vd., 2014, 2019, 2020) yaygın olarak bulunmaktadır. Geç Kretase-Paleosen geçişi Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer yer gözlenmektedir. Şarman (1975), Tirebolu'nun güneydoğusunda Stratigrafik istif, Geç Kretase yaşlı filişlerle başlamakta ve bunları uyumsuz olarak örten Paleosen yaşlı, konglomera ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Kale (Gümüşhane) Formasyonu ile devam etmektedir. Üstte ise Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu yer almaktadır. Bu birikim süreci, Geç Paleosen–Erken Eosen dönemindeki tektonik sıkışma ile ilişkili olarak oluşan granitoyid ve adakitik bileşimli magmatik kayaçlarla tamamlanmaktadır (Topuz vd, 2005, 2011; Karslı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2011; Sipahi vd., 2017, 2022, 2023). Traverten ve alüvyonlardan meydana gelen Kuvaterner yaşlı tortullar, günümüzde de aktif olarak birikmeye devam etmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Arazi Çalışmaları

Saha çalışmaları sırasında sahanın 1:25.000 ölçekli jeoloji haritası kontrol edilerek petrografik analiz için 6 adet kayaç örneği toplanmıştır. Ayrıca potansiyel yeraltı suyu kaynaklarının belirlenmesi amacıyla jeofizik çalışmalar yapılmış olup, 2 lokasyonda Elektrik Özdirenç Tomografi (ERT) ve 10 noktada düşey elektrik sondaj (DES) ölçümleri alınmıştır.

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında toplanan kayaç örneklerinin petrografik ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik petrografik kesitler, Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Atölyesi'nde yaptırılmıştır. Kayaç örnekleri plakalar halinde dilimlendikten sonra 2.5 x 5 cm ebatındaki cam üzerine Kanada Balsamı kullanılarak yapıştırılır. İnce kesitler çeşitli boyutlarda (400, 600, 800 ve 1000'lik) SiC tozlar yardımı ile 0.03 mm kalınlığı getirilir. Kesitlerin taşlanması aşamasında Buehler PetroThin cihazı kullanılmaktadır. Hazırlanan petrografik kesitler GÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı'nda Leica Marka polarizan mikroskop kullanılarak kayaçların mineralojik-petrografik özellikleri (modal analizler, bileşim, doku, adlama vb.) analiz edilmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.

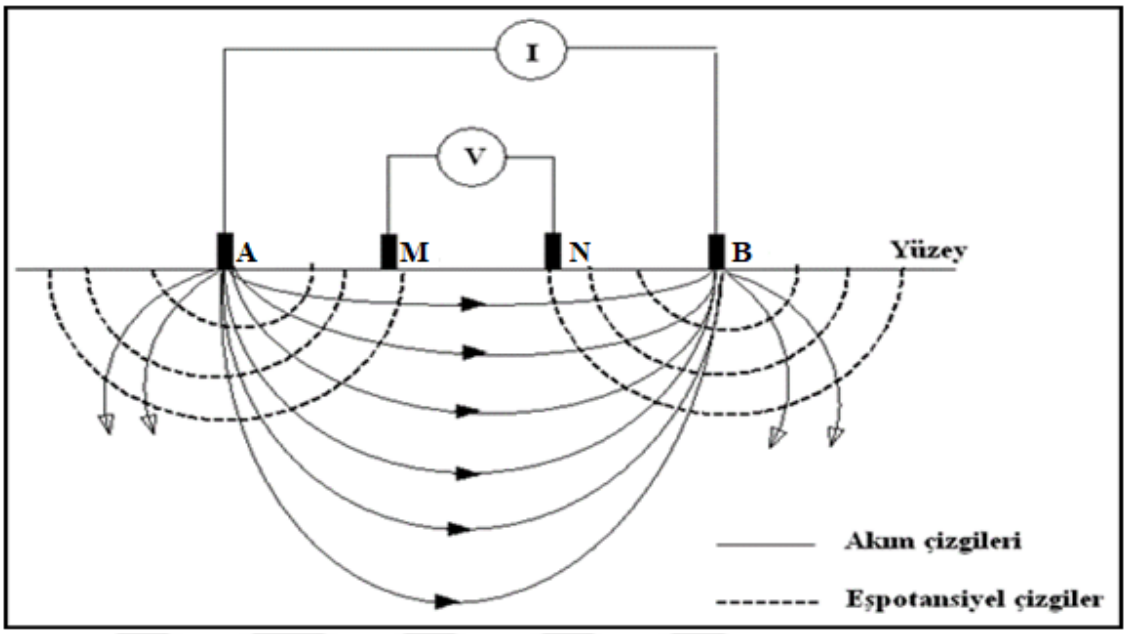
3.3. Jeofizik Çalışmalar

3.3.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi

3.3.1.1. Elektrik Yöntemlerin İlkesi

Elektrik özdirenç yöntemi, yeraltında yapay bir elektrik potansiyel alanı oluşturmak amacıyla akım kaynağı kullanır. Bu yöntemde genellikle iki akım elektrodu (A ve B) aracılığıyla yer içine elektrik akımı verilir ve oluşan potansiyel farkı, iki potansiyel elektrodu (M ve N) ile kaydedilir (Şekil 2). Kullanılan akım genellikle doğru akım veya düşük frekanslı (0.1–30 Hz) alternatif akımdır. Bu yöntemin temel amacı, yeraltındaki uzaysal özdirenç (veya iletkenlik) dağılımını belirlemektir. A ve B elektrotlarıyla yere verilen akım miktarı ve elektrotların yerleşimi bilindiğinde, M ve N arasındaki potansiyel

farkı ölçülerek yerin özdirenci hesaplanabilir. Bu hesaplanan değer, "görünür özdirenç (ρ_a)" olarak adlandırılır.



Şekil 2. Elektrik özdirenç yöntemin ölçüm prensibi (Akım elektrotları: A-B ve potansiyel elektrotları: M-N) (Telford vd., 1990)

Özdirenç ölçümleri; yer yüzeyinde, sondaj kuyularında veya yüzey ile kuyu arasında gerçekleştirilebilir. Ayrıca, özel kablolar kullanılarak göller, nehirler ve kıyı bölgelerinde, su altı ortamlarında da ölçümler yapılabilmektedir. Elektrik özdirenç yöntemleri, farklı saha uygulama teknikleriyle kullanılmaktadır. Ölçüm yapılacak alanın jeolojik özelliklerine ve araştırma hedeflerine göre seçilen bu teknikler; Özdirenç Profilleme veya Haritalama (Profil Yöntemi), Düşey Elektrik Sondajı (DES) ve Birleşik Sondaj-Profil Yöntemi (İki Boyutlu Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT)'dir.

Özdirenç Profilleme veya Haritalama (Profil Yöntemi):Bu yöntemde sabit elektrot dizilimleri kullanılarak belirli bir hat boyunca ölçüm yapılır. Ölçülen özdirenç değerleri, yatay düzlemde haritalanarak yüzey altındaki yapısal değişimler gözlemlenir. Özellikle sığ derinliklerdeki yanal değişimleri tespit etmede etkilidir.

Düşey Elektrik Sondajı (DES), yer altının düşey doğrultudaki özdirenç dağılımını belirlemeye yönelik bir yöntemdir. Profil boyunca veya rastgele noktalarda yapılan ölçümler, yapısal heterojenliklerin yatay uzanımı hakkında da bilgi sağlayabilir. DES, yüzeyden itibaren yüzlerce metre derinliğe kadar veri sunabilir. Veriler, nitel ve nicel olarak analiz edilebilir; ancak yorumların güvenilirliği, sondaj verileri, diğer jeofizik yöntem sonuçları ve jeolojik bilgilerle desteklenmelidir.

Elektrik Rezistivite Tomografisi (ERT), çok sayıda elektrot kullanılarak hem yatay hem düşey yönde ölçüm yapılmasını sağlar. Böylece yeraltının iki boyutlu özdirenç dağılımı detaylı bir şekilde görüntülenir. Bu yöntem, karmaşık jeolojik yapıları çözümlemek, yer altı suyu hareketlerini izlemek ve çevresel riskleri değerlendirmek açısından oldukça etkilidir.

3.3.1.2. Fiziksel Temelleri

Elektrik özdirenç (resistivite) yöntemi, yer altı ortamlarının elektrik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan aktif bir jeofizik prospeksiyon yöntemidir. Yöntemin temelinde, Ohm Yasası ve elektrik akımının iletken ortamda yayılımı prensibi yer alır (Telford vd., 1990).

Ohm Yasası ve Özdirenç Kavramı

Yöntemin fiziksel dayanağı, Ohm Yasası'dır. Bir malzemenin elektrik akımına karşı gösterdiği direnç, o malzemenin özgül elektrik özdirenci (ρ), akımın katettiği mesafe (L) ve kesit alanı (A) ile tanımlanır:

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad \text{(Eşitlik 1)}$$

Yer altı formasyonları, farklı mineralojik ve fiziksel özellikleri nedeniyle farklı özdirenç değerlerine sahiptir. Bu farklar, uygulanan akımın oluşturduğu potansiyel farklar yardımıyla tespit edilebilir (Reynolds, 2011).

Elektrik Akımının Yer Altında Yayılımı

Yüzeye yerleştirilen bir çift akım elektrodu (A ve B) aracılığıyla doğru akım zemine verilir. Akım, yer altı ortamında yarı sonsuz bir hacimde küresel olarak yayılır. Potansiyel fark ise ayrı bir çift ölçüm elektrodu (M ve N) yardımıyla belirlenir. Yarı sonsuz homojen varsayımıyla, noktasal bir akım kaynağının belirli bir noktada oluşturduğu potansiyel şu şekilde tanımlanır:

$$V = \frac{\rho . I}{2\pi r} \qquad \text{(Eşitlik 2)}$$

Burada I akım şiddeti, ρ ortamın özdirenci ve r, ölçüm noktasının akım elektroduna olan uzaklığıdır (Telford vd., 1990).

Homojen bir yapıya sahip olmayan yer altı için hesaplanan özdirenç değeri görünür özdirenç değeri olarak adlandırılmaktadır ve görünür özdirenç değeri (ρ_a), aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \times K \qquad \text{(Eşitlik 3)}$$

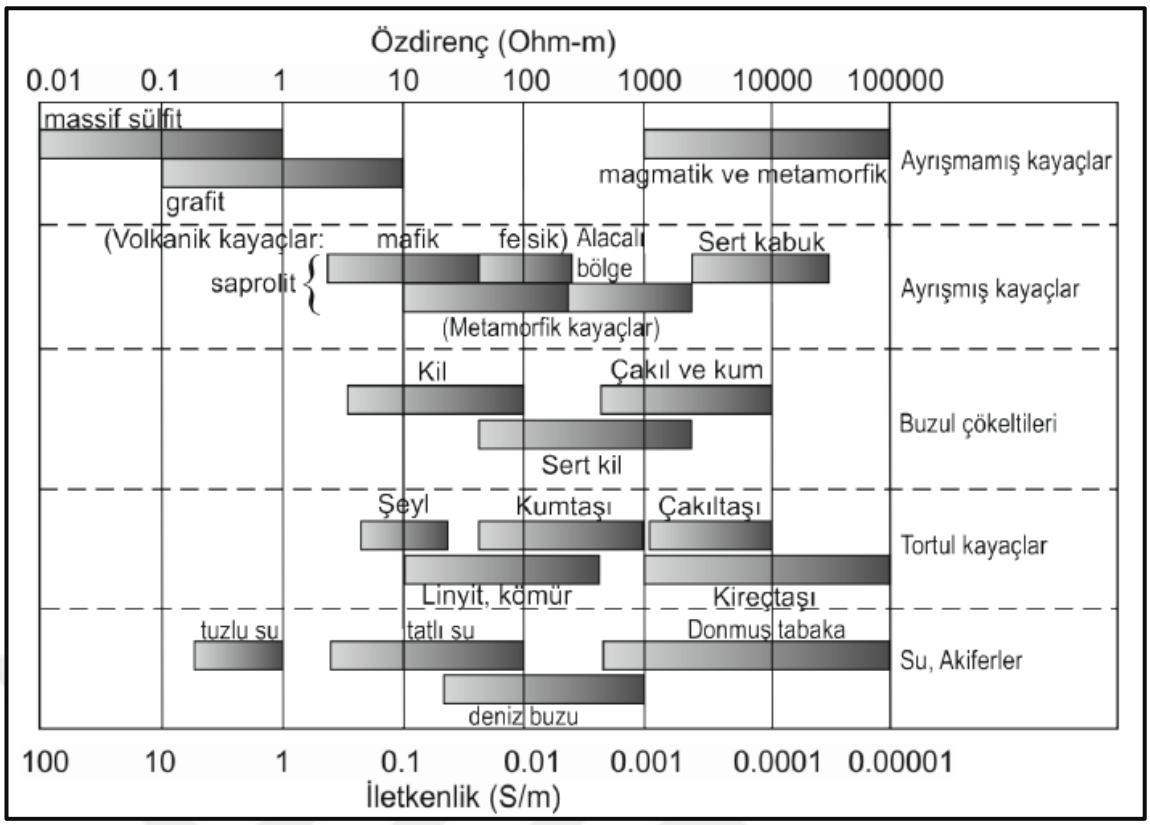
Burada; ρ_a görünür özdirençi (Ohm metre), K Geometrik faktörü, ΔV ölçülen potansiyel farkı (Volt) ve I ise yere gönderilen akım miktarını (Amper) temsil etmektedir (Başokur, 1994).

3.3.1.3.Kayaçların Elektrik Özellikleri

Yer altı oluşumlarının elektrik özellikleri, bu ortamların fiziksel yapısını belirlemede önemli bir göstergedir. Kayaların elektrik akımını iletme kapasiteleri, jeofiziksel ölçümlerle belirlenebilir ve bu sayede yer altındaki yapılar hakkında dolaylı bilgi edinilebilir (Telford vd., 1990). Kayaların iletkenliği temelde iki farklı mekanizmaya dayanır: elektronik iletkenlik ve iyonik iletkenlik**.** Elektronik iletkenlik, serbest elektronların hareketiyle oluşur ve özellikle metalik minerallerde görülür. İyonik iletkenlik ise, yer altı suyunda bulunan çözünmüş iyonların hareketine dayanır ve doğal zeminlerde en yaygın iletim şeklidir (Reynolds, 2011).

Jeofizik uygulamalarda genellikle iletkenlik yerine özdirenç (resistivity) kavramı kullanılır. Özdirenç, birim hacimdeki malzemenin elektrik akımına karşı gösterdiği dirençtir ve birimi ohm-metre (Ωm) olarak tanımlanır. Özdirenç değerleri; gözeneklilik, su doygunluğu ve sıvıdaki tuz oranı gibi parametrelerden etkilenir (Keller ve Frischknecht, 1966).

Magmatik ve metamorfik kayaçlar genellikle daha yüksek özdirenç değerlerine sahiptir. Ancak bu değerler, kayaçların kırıklı yapısı veya yer altı suyuna doygunluğu durumunda önemli ölçüde düşebilir (Daniels ve Alberty, 1966). Tortul kayaçlar ise daha geçirgen olduklarından genellikle daha düşük özdirenç gösterirler. Konsolide olmamış sedimanlar ve killi zeminler, bu açıdan en düşük değerleri sergileyen birimlerdendir (Şekil 3 ve Tablo 1).



Şekil 3. Toprak malzemelerinin karakteristik özdirenç değerleri (Palacky, 1987).

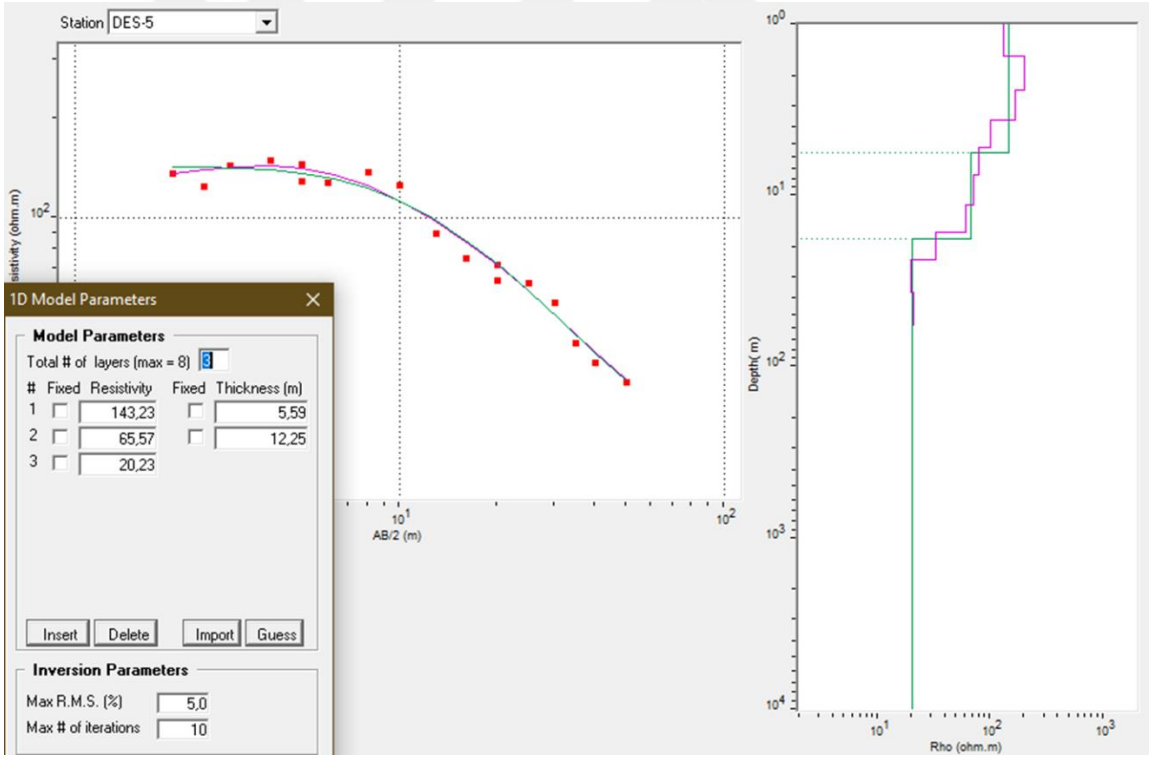
Yer altı suyunun özdirenci, çözünmüş tuz miktarına bağlı olarak değişir. Tatlı suyun özdirenci 10–100 Ωm aralığındayken, deniz suyu yaklaşık 0.2 Ωm değerindedir. Bu fark, kıyı bölgelerinde tuzlu ve tatlı su sınırlarını belirlemede özdirenç yöntemlerini son derece etkili kılar (Telford vd., 1990). Bazı iletken mineraller, örneğin metalik sülfürler ve grafit, oldukça düşük özdirenç değerlerine sahiptir (genellikle <1 Ωm). Bu minerallerin varlığı, maden aramalarında önemli bir belirteç olabilir. Ancak grafitli kayaçlar ile sülfürlü yapılar benzer elektrik özellikler gösterdiğinden ayırt edilmeleri güç olabilir (Reynolds, 2011).

Tablo 1. Çeşitli kayaçların elektrik özdirenç değerleri (Kopaçlı, 2009)

Elektrik özdirenç (ohm metre)	Jeolojik malzemeler
>1000	Masif ve iyi yapılandırılmış kayaçlar
<1000	Çatlakları kuru kumla dolmuş ve az kırıklı kayaçlar
100	Çatlakları nemli toprakla dolmuş ve çok çatlaklı kayaçlar
>1000	Kaba, kuru çakıl ve kum yatakları
<1000	Silt katmanlarıyla karıştırılmış çakıl ve kum
10 – 100	Kumlu topraklar ve nemli siltli
<10	Siltli kil ve nemli siltli toprak
1 – 10	Nemli killi toprak ve nemli kil

3.3.1.4. Düşey Elektrik Sondajı (DES)

DES, yeraltının yatay veya neredeyse yatay tabakalardan oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Bu tür jeolojik hedefler; farklı litolojik özellikler gösteren tortul kayaçlar, değişik özelliklere sahip tabakalı akiferler, magmatik kayaçların üstündeki tortul birimler veya volkanik kayaçların ayrışma bölgeleri olabilir. DES yöntemiyle gerçekleştirilen bir araştırmada, yerin bir-boyutlu özdirenç dağılımı belirlenir; bu dağılım, yatay olarak konumlanmış tabakaların sayısını, kalınlıklarını ve özdirençlerini ortaya koyar. Yerin düşey yöndeki özdirenç dağılımını belirlemek için, akım elektrotlarının (A ve B) her iki taraftan dışa doğru kaydırılması ve AB aralığının kademeli olarak arttırılması gereklidir. Bu sayede, yere verilen akım daha derinlere nüfuz eder ve derin tabakaların özdirenç bilgileri elde edilir. Elde edilen görünür özdirenç verileri, bir log/log ölçeği üzerinde, akım elektrot aralığına karşı çizilir. Bu eğri, yerin özdirenç-derinlik yapısını belirlemek amacıyla verilerin ters çözümünü elde etmek için kullanılan temel sondaj eğrisini oluşturur (Şekil 4).



Şekil 4. WinGlink yazılımı kullanılarak bir DES verisinin değerlendirilmesi örneği

DES yönteminde, genellikle pratikliği ve metodik avantajları nedeniyle, M ve N voltaj elektrotları yakın aralıklarla yerleştirilir ve bu elektrotlar dizilimin merkezine sabitlenir. A ve B akım elektrotları ise dışarıya doğru hareket ettirilir. Bu düzenlemeye simetrik Schlumberger dizilimi denir. Bu dizilim, yeraltındaki özdirenç profilinin daha

doğru bir şekilde belirlenmesi için yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemde, voltaj elektrotlarının yerleştirilmesi, akım elektrotlarının dışa doğru yer değiştirilmesiyle derinlik arttıkça yerin daha derin katmanlarından bilgi alınmasını sağlar. Genellikle topoğrafik koşulların etkisiyle Schlumberger açılımının tam olarak uygulanamadığı durumlarda geçerli olan bir ölçümdür. Bu tür durumlarda, yarım-Schlumberger dizilimi sıklıkla tercih edilen bir alternatiftir. Teorik açıdan bakıldığında, bu dizilimde akım elektrotu B, potansiyel elektrotlara herhangi bir katkı sağlamadan sonsuz bir mesafeye yerleştirilir. Bu düzenleme, ölçümlerin doğruluğunu sağlamak için geometrik faktörde değişiklikler yapılmasına yol açar. Yarım-Schlumberger diziliminin kullanımı, özellikle topografik engellerin veya saha koşullarının dizilimin tam uygulanmasına izin vermediği durumlarda, özdirenç ölçümlerinin yapılabilmesi için önemli bir avantaj sağlar.

3.3.1.4.1. Saha Ölçümleri

Hidrojeolojik bir sorunu çözmek için yapılacak DES ölçümlerinin planlaması, bölgenin jeolojik yapısı ve mevcut arazi koşullarına dayanarak titizlikle gerçekleştirilmelidir. Bu süreçte, özellikle yeraltı özdirenci ve derinlik profili hakkında daha önce elde edilmiş bilgiler, ölçüm parametrelerinin belirlenmesinde yardımcı olur. Eğer bölgeye dair önceden özdirenç/derinlik yapısı ile ilgili veriler mevcutsa, bu bilgiler ışığında modelleme hesaplamaları yapılabilir ve ölçüm için gerekli olan profil uzunluğu ile elektrot açılma mesafesi belirlenebilir. Bu hesaplamalar, doğru ölçüm sonuçları elde edilmesini sağlar ve yer altındaki özellikler hakkında güvenilir veriler sunar (Kirsch, 2006).

DES ölçümleri sırasında, topografik değişikliklerin eğriyi etkilememesi için elektrot açılım yönü dikkatle seçilmelidir. Yüzeydeki topografik engeller ve engebeler, ölçümün doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir, bu nedenle elektrotların açılma yönü genellikle düz bir hat boyunca yapılır. Bu, ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini artırır. Ancak, engebeli ve zorlu arazi koşullarında bu düz bir hat boyunca elektrot yerleştirilmesi mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda, daha esnek bir yaklaşım gereklidir ve bu nedenle yarım-Schlumberger dizilimi gibi alternatif elektrot dizilim yöntemleri tercih edilebilir. Yarım-Schlumberger dizilimi, özellikle yüzeydeki engelleri aşmak ve daha verimli ölçümler yapmak için kullanışlıdır. Bu dizilimde, akım elektrotları uzaklaştırılmak yerine, potansiyel elektrotların mesafesi sabit bırakılır ve akım elektrotları bir taraftan dışarıya doğru hareket ettirilir, böylece daha derin katmanlar incelenebilir. DES eğrilerinin analizi, yer altının yatay katmanlardan oluştuğu varsayımı üzerine yapılır. Bu ölçümler sırasında, AB/2 aralığı logaritmik bir ölçekte her iki yönde

eşit aralıklarla artırılır. AB/2 mesafesinin artırılması, M ve N elektrotlarında ölçülen potansiyel farkının küçülmesine neden olur. Bu durum, artan akım elektrotları arası mesafeye karşılık gelen voltajın yetersiz kalmasını engellemek için MN mesafesinin de artırılması gerekliliğini doğurur. MN mesafesinin, örneğin 1 m'den 5 m'ye yükseltilmesiyle, özellikle yakın yüzeydeki özdirenç heterojenlikleri, sondaj eğrisinde statik kaymalara yol açabilir. Bu kaymalar, her iki MN mesafesi ile yapılan ölçümleri üst üste bindirerek minimize edilebilir. Bu yöntemle, ölçüm sonuçları arasındaki tutarsızlıklar giderilir ve daha güvenilir veriler elde edilir.

Yatay tabakalı ortamlarda yapılan DES ölçümleri genellikle düzgün ve istikrarlı eğriler verir. Ancak, operatör tarafından elde edilen görünür özdirenç değerlerinde belirgin sapmalar veya sondaj eğrisinde belirgin kaymalar gözlemlenirse, bu durum birkaç farklı faktöre bağlı olabilir. İlk olarak, yer altında mevcut olan insan yapımı yapılar, örneğin elektrik hatları, boru hatları veya diğer altyapılar, ölçüm verilerini etkileyebilir. Bu tür yapılar, ölçüm sırasında elektrik alanın bozulmasına ve yanlış sonuçların alınmasına neden olabilir. Diğer bir olasılık ise, kullanılan ölçüm cihazının kalibrasyon hataları veya arızalarıdır. Cihazda meydana gelen herhangi bir teknik aksaklık, özellikle potansiyel farklarını ölçen sensörlerdeki tutarsızlıklar, ölçüm verilerinin doğruluğunu bozarak yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Bu tür anomalilerin tespiti, hem saha gözlemleri hem de cihazların düzenli bakım ve kalibrasyonu ile mümkün olabilir (Kirsch, 2006).

3.3.1.4.2. DES Eğrilerinin Yorumlanması

Yatay tabakalardan oluşan yer modellerinde, tabakaların özdirenç ve kalınlıkları, ölçülen görünür özdirençlerin AB elektrot aralığına bağlı olarak grafiksel bir şekilde çıkarılabilir. Bu tür verilerin yorumlanmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, ters çözüm (inversiyon) algoritmalarının uygulanmasıdır. Ters çözümleme, yerin elektrik yapısını, ölçülen elektrik verileri kullanarak tahmin etmeyi amaçlayan bir tekniktir. Ancak, bu çözümleme süreci her zaman teorik olarak ideal sonuçlar vermez, çünkü çözüm veri setlerinin varyasyonlarına ve ölçüm belirsizliklerine bağlı olarak, sonuçlar tamamen kesin olamayabilir. Verilerdeki hata payı, ölçüm cihazlarının doğruluğu, çevresel faktörler ve yeraltı heterojenlikleri gibi etmenler, çözümün doğruluğunu sınırlayabilir. Bu nedenle, ters çözümleme sonuçları genellikle bir tahmin aralığı sunar ve yeraltı yapısının kesin özelliklerini belirlemek yerine, daha çok genel bir model önerisi oluşturur (Kirsch, 2006).

Günümüzde, DES eğrilerinin yorumlanmasında, otomatik ters çözümleme yapan yazılımlar (örneğin, IPI2Win, Res1d, Winsev vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlar, saha verilerinden elde edilen eğriler ile hesaplanan model eğrilerinin uyumlu hale gelmesini sağlayarak ters çözüm işlemini gerçekleştirir. Sonuç olarak, bu işlem, yer altındaki yatay tabakaların elektrik özelliklerini temsil eden özdirenç ve kalınlık parametrelerini belirler. Ancak, çözüm elde edildikten sonra yorumlayıcının, bu çözümün yalnızca fiziksel açıdan eşdeğer birkaç modelden biri olduğunu ve jeolojik açıdan güvenilirlik sağlamak için tüm eşdeğer çözümler aralığını dikkate alması gerektiğini unutmaması önemlidir (Kirsch, 2006). Bu noktada, her bir çözümün jeolojik doğruluk ve saha koşullarıyla karşılaştırılması, daha güvenilir ve anlamlı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

3.3.1.4.3. DES Ölçümlerinde Kullanılan Cihaz ve Özellikleri

Bu tez çalışması kapsamında alınan özdirenç ölçümlerinde METZ marka tek kanallı SAS-24SD Rezistivite cihazı kullanılmıştır (Şekil 5). SAS-24SD cihazı, + / - 5 volt arasındaki gerilimleri otomatik olarak ölçer. Ölçüm tamamlandığında akım otomatik olarak kesilir, bu da güç israfını engeller. Son yıllarda, elektrik özdirenç cihazlarında sismik kayıtçı sistemlerinde olduğu gibi sinyal yığma ve ortalama alma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler, ölçüm doğruluğunu artırarak zayıf sinyalleri güçlendirir ve rastlantısal hataları azaltır, böylece daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. SAS-24SD sisteminde de sinyal yığma işlemi uygulanmakta olup, yalnızca hatasız veri döngüleri işlenmektedir. Gerekli durumlarda ölçüm döngü sayısı artırarak doğru sonuçlar elde edilmeye çalışılır. Dahili bir bataryaya (12 v 7 AH akü) sahip olan cihaz, Minimum 12 V'luk 24 A/h akü ile kullanılmaktadır. Vericiden 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400 ve 500 mA akım verilebilmektedir. Ölçülen maksimum voltaj 400 volt ve maksimum elektrik enerjisi 300 Watt'tır (Şekil 5).

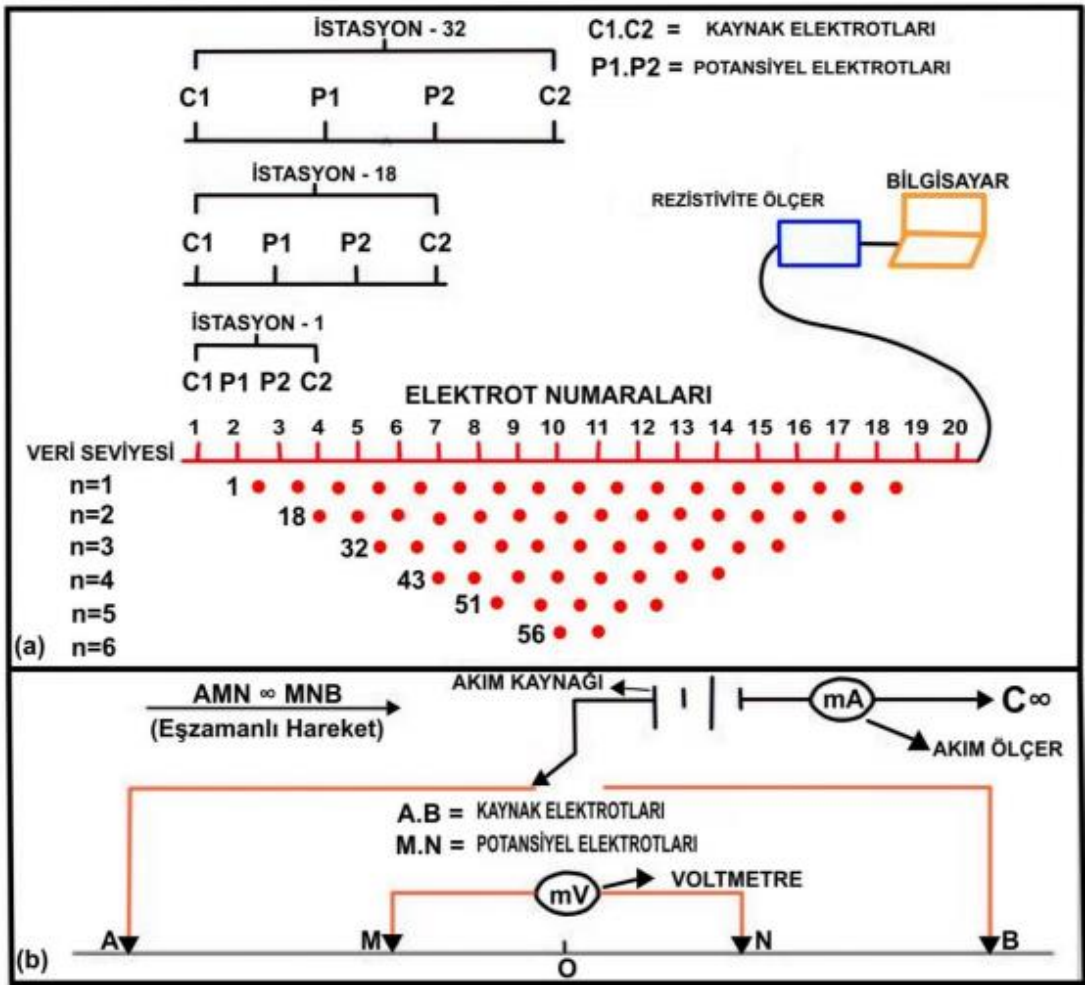
Şekil 5. DES ölçüm cihazı ile ekipmanları (elektrotlar ve kablolar)

Alternatif akım güç kaynaklarında elektrotlar çelik, alüminyum veya pirinçten üretilebilir. Ancak paslanmaya karşı en dayanıklı seçenek paslanmaz çeliktir. Doğru akım güç kaynağı kullanıldığında ise potansiyel elektrot olarak gözenekli potlar tercih edilir. Elektrotların en az 30 cm uzunluğunda olması gerekir; böylece 5 ila 15 cm'lik kısmı toprağa çakılarak iyi bir elektrik teması sağlanabilir. Kuru zeminlerde ise elektrotlara su dökülerek iletkenlik artırılabilir. Arazide kullanılan makaralara sarılı kabloların iyi yalıtılmış ve mümkün olduğunca hafif olması önemlidir. Plastik yalıtım, aşınma ve neme karşı lastikten daha dayanıklıdır. Ancak bazı plastik türleri soğuk havalarda kırılgan hale gelebilir. Ölçümler sırasında zeminle daha iyi elektrik temas sağlamak için bir tanesi dizilim merkezini temsil etmek amacıyla 5 adet 50x1.5 cm boyutlarında, paslanmaz çelikten üretilmiş akım ve potansiyel elektrotları kullanılmıştır. Ayrıca, potansiyel ve akım kabloları olarak arazi şartlarına dayanıklı, çift izoleli sahra kablosu tercih edilmiştir. Yapay bozucu etkileri en aza indirmek amacıyla, akım ve potansiyel kabloları birbirinden olabildiğince uzak konumlandırılmıştır.

3.3.1.5.Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntemi

Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT), yeraltındaki özdirencin, belirli bir araştırma hattı boyunca yatay yönde değiştiği, ancak araştırma hattına dikey yönde sabit kaldığı varsayımına dayanarak uygulanan bir ölçüm tekniğidir (Reynolds, 2011). Bu yöntem, yer

altı jeolojik yapılarının yüksek çözünürlüklü 2B veya 3B görselleştirmesini sağlamak amacıyla kullanılır ve genellikle karmaşık yeraltı koşullarının daha iyi anlaşılmasını sağlar. ERT'nin temel prensibi, yeraltı malzemelerinin elektrik iletkenlik farklarını ölçmektir. Bu yöntem, özellikle derin jeolojik yapılar üzerinde yapılan araştırmalar için oldukça uygundur, çünkü yer altı katmanlarının yatay özelliklerinin baskın olduğu durumlarda geçerli varsayımlar sunar (Griffiths ve Barker, 1993). ERT, özellikle iki boyutlu (2B) görselleştirmeyi hedefler. Bu süreçte, bir yeraltı profilinin oluşturulabilmesi için normalde tek boyutlu (1B) özdirenç ölçümleri (DES) çeşitli derinlik ve konumlarda birkaç kez tekrarlanır. Bu işlemi gerçekleştirmek için, ölçüm noktaları, araştırma hattı boyunca belirli bir mesafe kaydırılır ve daha derin tabakalara inebilmek için elektrotlar arasındaki mesafe artırılır. Bu şekilde, yeraltındaki farklı derinliklerdeki ve farklı konumlardaki özdirenç değişimlerine dair bilgi toplanır ve sonuç olarak yer altı yapılarının yatay ve dikey özdirenç dağılımı elde edilir (Şekil 6).



Şekil 6. ERT kesitinin oluşturulmasında temel prensibini gösteren şematik diyagram (ABEM, 2006)

Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT) yöntemiyle derinliğe doğru ölçüm almak, öncelikle elektrotların saha boyunca uygun aralıklarla ve düzenli dizilimle yerleştirilmesini gerektirir. Elektrotlar arasındaki mesafe arttıkça, ölçümlerin nüfuz ettiği derinlik seviyesi (N seviyesi) de yükselir; ancak bu durumda ölçüm çözünürlüğü azalabilir. Bu nedenle, derinlik ve çözünürlük arasında bir denge kurularak optimum elektrot konfigürasyonu belirlenir (Şekil 6). Ölçüm sürecinde, yüksek kanal kapasiteli cihazlar kullanılarak farklı elektrot çiftleri arasında elektrik akımı verilmekte ve oluşan gerilim farkları kaydedilmektedir. Toplanan veriler ters çözüm (inversiyon) algoritmalarıyla analiz edilerek, yer altındaki farklı litolojik birimler, su doygunlukları ve yapısal özellikler detaylı bir şekilde modellenir. N seviyesi, yani ölçüm derinliğinin etkinliği, kullanılan elektrot dizilimi ve elektrot aralığına bağlı olarak değişmekte olup, yüzeyden yüzlerce metre derinliğe kadar güvenilir özdirenç verisi sağlanabilmektedir. Böylece ERT yöntemi, yeraltı suyu seviyesi, çatlak zonları veya mineral yatakları gibi jeolojik yapıların derinliklerine kadar incelenmesine olanak verir.

ERT yöntemi, yeraltı jeolojik yapıların ayrıntılı bir haritalanmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bu yapılar hakkında derinlemesine bilgi edinilmesini de mümkün kılar. Örneğin, yer altı suyu potansiyeli, gözenekli alanlar, suyun geçirgenlik özellikleri ve yeraltındaki mineral varlıkları gibi faktörler ERT ile belirlenebilir. Yüksek çözünürlükteki 2B veya 3B görüntüleme, mühendislik, hidrojeoloji, çevre bilimleri gibi birçok alanda daha etkili kararlar almayı sağlayacak verilerin elde edilmesine yardımcı olur.

İki boyutlu (2B) elektrik özdirenç araştırmaları, yeraltının özdirenç profillerini belirlemek amacıyla kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu tür araştırmalarda, yer altındaki özdirenç dağılımını görselleştirebilmek için, çok sayıda elektrotun kullanıldığı ölçümler gerçekleştirilir. Tipik olarak, bu tür bir araştırma, birden fazla elektrotu (genellikle 25 veya daha fazla) içeren çok elektrotlu sistemler kullanılarak yapılır. Ölçüm sürecinde, yer altı tabakalarının özdirenç bilgilerini elde edebilmek için, her bir ölçümde ilgili dört elektrot otomatik olarak seçilir ve bu işlemi gerçekleştirmek için elektronik anahtarlama üniteleri ile entegre bir dizüstü bilgisayar kullanılır (Loke, 2001).

3.3.1.5.1. ERT Ölçümlerinde Kullanılan Cihaz ve Özellikleri

ERT ölçümlerinde Mangusta System MC/144E model bir elektrik özdirenç cihazı kullanılmıştır (Şekil 7). Bu cihaz, AMBROGEO tarafından geliştirilen çok kanallı bir elektrik özdirenç (ERT) ölçüm cihazıdır ve 144 kanala kadar destek sağlar. Bu yüksek kanal sayısı, geniş alanlarda eş zamanlı ve yüksek çözünürlüklü veri toplanmasına olanak

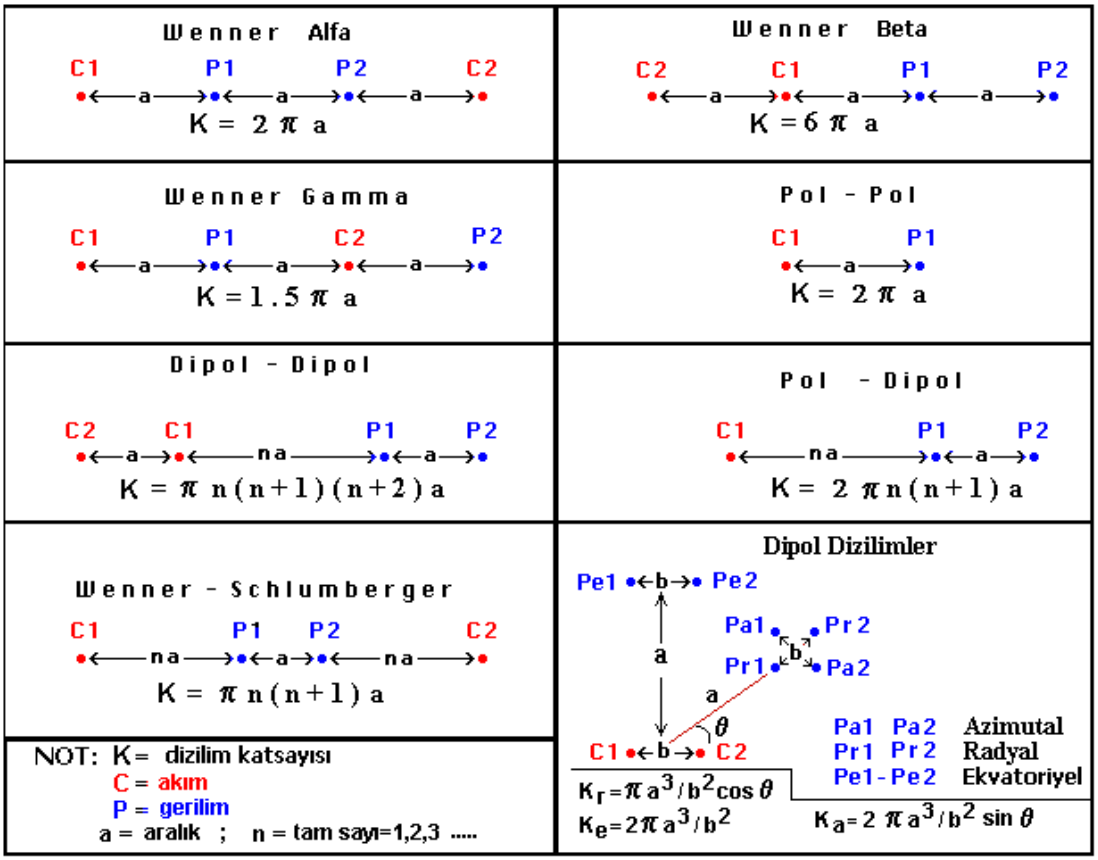
tanır. Cihaz, otomatik elektrot dizilimleriyle çalışarak, düzenli aralıklarla veya inceleme bölgesinde rastgele yerleştirilen elektrotlar üzerinden ölçüm yapabilir. Böylece yüzeyden yüzlerce metre derinliğe kadar kapsamlı yer altı araştırmaları gerçekleştirilir. MC/144E, toplanan verileri hem niteliksel hem de niceliksel analizler için uygun formatta sunar; ayrıca elde edilen sonuçlar, mekanik sondaj verileri veya diğer jeofizik yöntemlerden alınan verilerle birleştirilerek çok disiplinli jeolojik yorumlar yapılabilir.

Teknik açıdan, cihazın yüksek kanal sayısı sayesinde birden fazla elektrot dizisi aynı anda kontrol edilebilir, bu da ölçüm süresini önemli ölçüde kısaltır ve veri kalitesini artırır. Sistem, yüksek hassasiyetli veri toplama ve düşük gürültü seviyeleri ile öne çıkar. Derinlik kapasitesi, zemin koşullarına bağlı olarak yüzlerce metreyi bulabilir ve çeşitli ortamlarda uygulanabilirliği yüksektir. MC/144E, ayrıca farklı ölçüm modları ve veri analiz yazılımları ile uyumlu çalışarak, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre esnek uygulama imkanları sağlar. Bu özellikleriyle Mangusta System MC/144E, altyapı mühendisliği, çevresel izleme, hidrojeoloji ve maden arama gibi çeşitli jeofizik saha çalışmalarında güvenilir ve etkin bir çözüm olarak tercih edilmektedir.

Şekil 7. ERT ölçüm ekipmanı ve arazi çalışması

3.3.1.6.2B ERT Dizilimleri

Elektrik özdirenç ölçümlerinde, kullanılan akım ve potansiyel elektrotlarının farklı konum ve uzaklıklara yerleştirilmesiyle farklı elektrot dizilimleri tanımlanmıştır (Şekil 8). Bu dizilimler arasında; Wenner, Schlumberger, Pol-Dipol, Dipol-Dipol ve Pol-Pol elektrot dizilimleri bulunmaktadır. Araştırma yapılacak olan sahanın elektrot dizisi, sahanın topografyası, gerekli keşif seviyesi ve mesafeler dahil olmak üzere bir dizi kritere göre seçilmektedir. Bu seçim; verimlilik, doğruluk ve araştırma alanının gereksinimlerine uygunluğu sağlamak için önemlidir. Örneğin, Schlumberger dizilimi derinliklere daha iyi bir çözünürlük sağlarken, Wenner dizilimi daha geniş bir alanda homojen bir ölçüm sağlayabilir. Bu nedenle, araştırma amacına ve saha koşullarına bağlı olarak en uygun elektrot diziliminin seçilmesi gerekmektedir (Reynolds, 2011). Elektrik özdirenç çalışmalarında kullanılan akım ve potansiyel elektrotlar farklı konumlandırılır ve farklı aralıklarla yerleştirilir.



Şekil 8. Özdirenç çalışmalarında sıklıkla kullanılan elektrot dizilimleri (Çağlar, 2009)

3.3.1.7.Elektrik Özdirenç Yöntemi Uygulama Alanları

Elektrik özdirenç yöntemleri, diğer potansiyel saha jeofizik yöntemlerinin aksine, yer yüzeyindeki belirli bir voltaj dağılımının benzersiz bir yoruma sahip olmayabileceğinden veri eşdeğerliği zorluklarıyla karşılaşır; çeşitli yer altı direnç konfigürasyonları benzer veri setleri sağlayabilir. Sonuç olarak, ters modelleme, ileri yorumlama ve mevcut tüm saha verilerinin birleştirilmesi, en kapsamlı araştırma sonuçlarına ulaşmak ve yer altı yapısının jeolojik açıdan en güvenilir yorumlarını elde etmek için gereklidir. Toprak ve kayayı oluşturan mineral parçacıkları temelde iletken değildir (yani çok dirençlidir). Bazı cevher minerallerinin, ince taneli maddelerin (kil mineralleri gibi) ve yüksek sıcaklıkların varlığında özdirenç genellikle azalır. Yüzey altı direnci, gözenekler ve/veya çatlaklar içindeki sıvının hacminin yanı sıra o sıvıdaki çözünmüş parçacıkların konsantrasyonundan da önemli ölçüde etkilenir. Sonuç olarak, özdirenç araştırmaları, gözeneklilikteki değişikliklerle örtüşen kaya ve/veya çökeltilerdeki değişiklikleri tanımlamak için yaygın olarak kullanılır. Bunlar;

- Yer altı suyu arama ve akifer karakterizasyon çalışmaları.
- Tuzluluk ve kirlilik değerlendirmeleri
- Arıza (fay) ve kırık bölgelerin tespiti
- Arkeolojik araştırmalar
- Karst araştırmaları ve boşluk analizi
- Azimut araştırmaları yoluyla anizotropinin değerlendirilmesi
- Doygunluk ve tuzluluk tahmini
- Sızma ve iyileştirme izleme
- Maden arama

3.4. Büro Çalışmaları

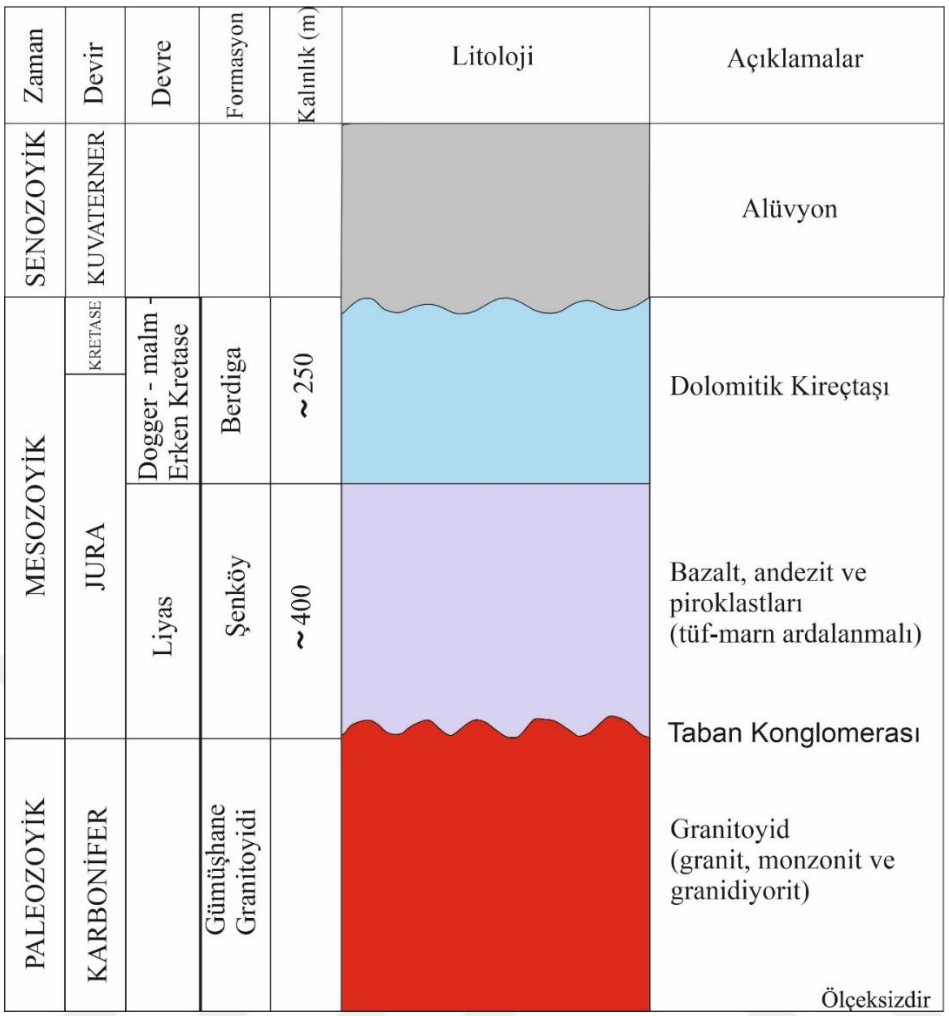
İnceleme alanından elde edilen tüm veriler (arazi, laboratuvar, jeofizik vb.), büro ortamında birlikte değerlendirilip, ilgili programlar kullanılarak gerekli hesaplamalar ve çizimler yapılmış ve bu tezin yazımı gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

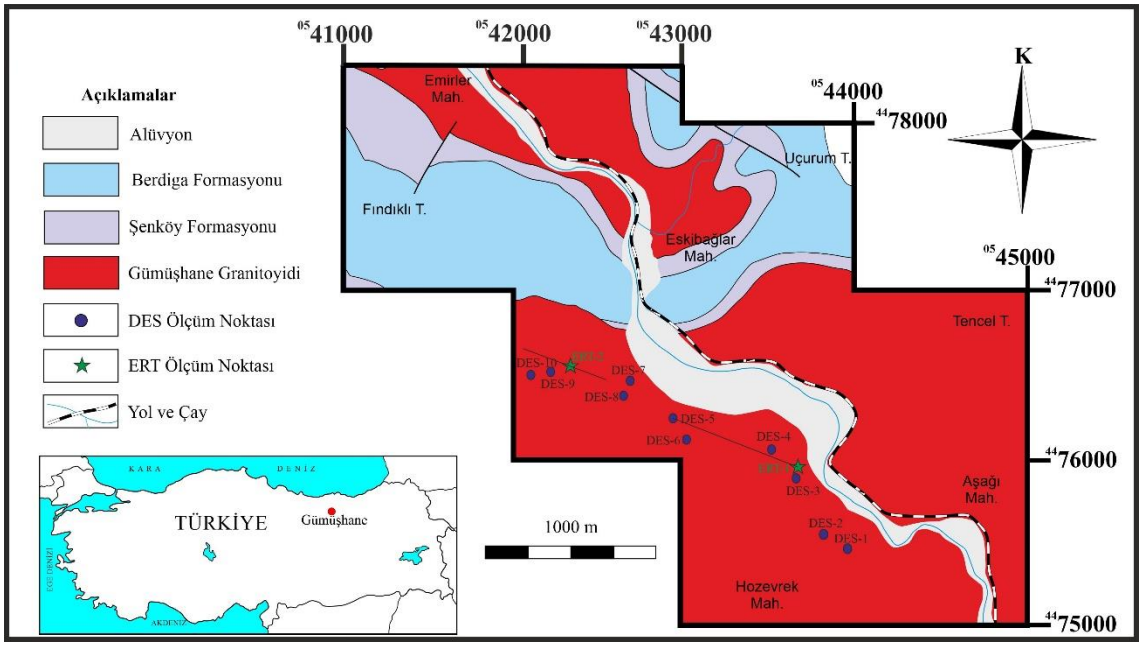
4.1. Stratigrafi ve Petrografi

Gümüşhane ili, Doğu Pontid (Karadeniz) tektonik kuşağının güney bölgesinde yer alan çalışma alanı genel olarak plütonik, volkanik ve tortul kayaçlardan oluşmaktadır. Çalışma alanının tabanında Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi (Yılmaz, 1972) bulunmaktadır. Bu granitoyid kayaçlar üzerinde Jura yaşlı volkano-tortul özellikli Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) bulunmaktadır. Malm-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977), Şenköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Çalışma alanındaki tüm birimler alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şekil 9 ve 10).

- Alüvyonlar (Kuvaterner)
- Berdiga Formasyonu (Geç Jura-Erken Kretase)
- Şenköy Formasyonu (Erken-Orta Jura)
- Gümüşhane Granitoyidi (Geç Karbonifer)



Şekil 9. İnceleme alanındaki birimlerin stratigrafik dikme kesiti (Güven, 1993'ten değiştirilerek)



Şekil 10. İnceleme alanın jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek)

4.1.1. Gümüşhane Granitoyidi

Bu birim başlangıçta en belirgin şekilde fark edildiği yeri belirtmek üzere Gümüşhane Granitoyidi olarak adlandırılmıştır (Yılmaz, 1972). Gümüşhane Granitoyidi'nin bir bölümü araştırma alanı içerisinde yer almaktadır (Şekil 10). Gümüşhane Granitoyidi çalışma bölgesi içerisinde yaklaşık 3 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Gümüşhane Granitoyidi'nde soğuma çatlakları mevcuttur (Şekil 11). Granit ve granodiyorit bileşimine sahip kayalardan oluşur. Koyu renkli mineraller bakımından zengindirler. Genellikle gri ve koyu gri tonlarında gözlenirler. Çıplak gözle görülebilen kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve biyotit mineralleri tespit edilebilmektedir.

Şekil 11. Gümüşhane Granitoyidi'nin inceleme alanındaki görünümü

Çalışma alanı içerisinde yer alan Gümüşhane Granitoyidleri Sema Doğan, Harşit Vadisi, İnönü, Emirler, Bağlarbaşı mahalleleri ve Yeni Hastane civarlarında yüzeylenmekte olup yaklaşık 3km² alanında bulunmaktadır. Ayrışma hakim olup, arenalaşmıştır. Gümüşhane Granitoyidi makroskobik incelemede granüler bir doku sergileyen granitlerin, diğer minerallerle birlikte iri kristalli kuvars ve ortoklaztan oluştuğu görülmektedir. Genellikle pembe bir görünüme sahiptir ve tazedirler. Granodiyoritlerin mikroskobik incelemesine göre taneli dokuda olup, ince ile orta taneli boyuta sahip kristaller yarı öz şekillidir. Başlıca mineraller plajiyoklaz, kuvars, alkali feldispat (ortoklaz) ve biyotitten oluşmaktadır (Şekil 12-13). Biyotitle birlikte apatit, zirkon, epidot ve opak minerallerde bulunmaktadır.

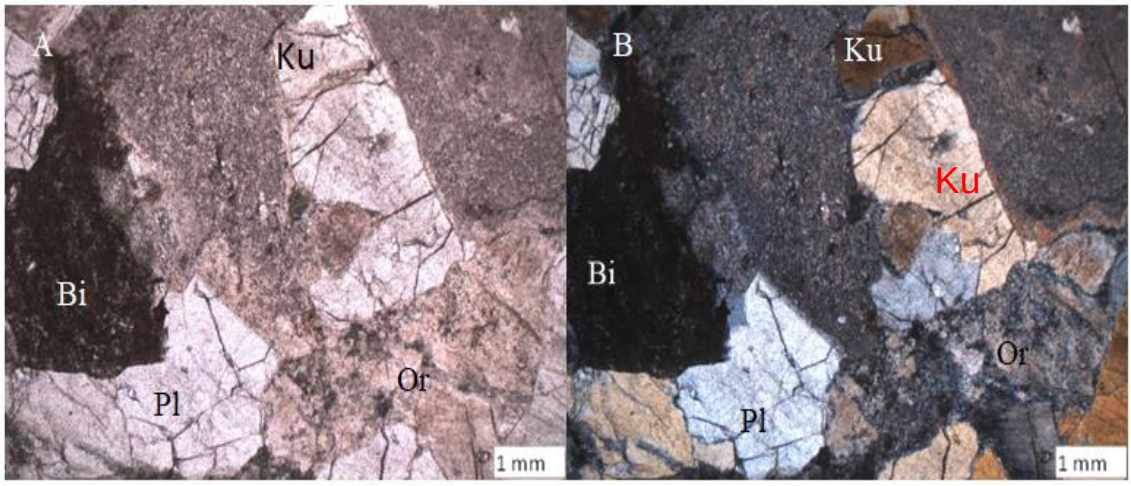
Kuvars: önceden oluşturulan kristaller arasındaki boşlukları doldurmaktadır. Bazı kuvarslarda basınç sonucu çatlaklı bir yapı geliştirmiştir ve dalgalı sönme görülmektedir (Şekil 13).

Plajiyoklaz: özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halinde oluşur. Plajiyoklaz cinsi genellikle %40 An içeren andezin ve bazen de %30 An içeren oligoklazdır. Tek nikol altında genellikle berrak olmaları nedeniyle alkali feldspatlardan ayrılırlar. Ayrıca paljiyoklazlarda serizit ve epidot mineralleri de görülmektedir. Alkali feldispatlara göre daha öz şekilli bir morfoloji sergilemektedir.

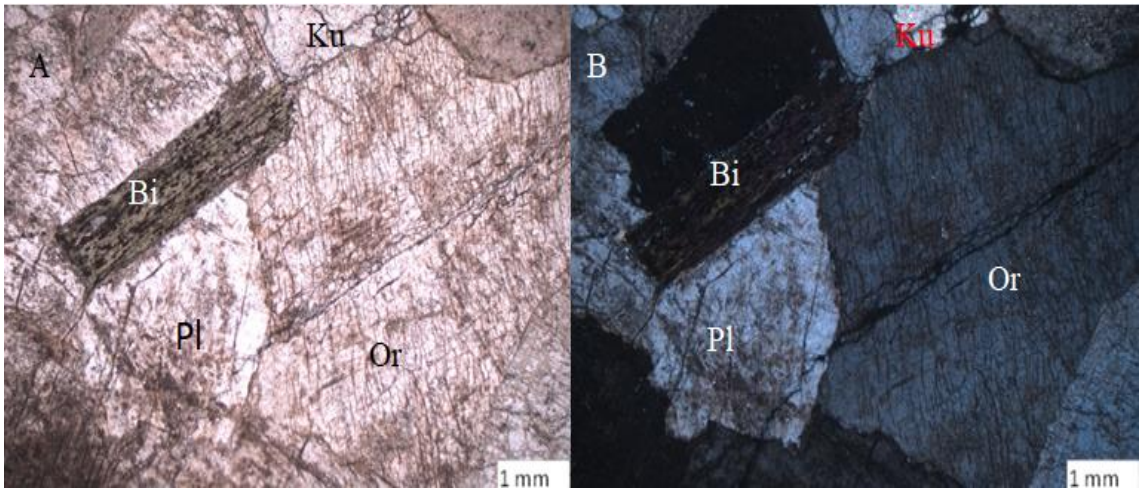
Alkali Feldspat: Bileşimi genel olarak ortoklaz ve bazen de mikroklin tespit edilmiştir. K-feldispatlar kısmi ayrışma ve kaolinitleşerek kirli sarı bir renk tonunda görünürler (Şekil 13). Karlsbad ikizi bazı minerallerde belirgindir. Tek nikolde kirlenmiş morfolojisi ile plajiyoklazdan kolayca ayrılır (Şekil 13). İnce kesitte bazı yerlerde plajiyoklazlarla çevrelenir ve monzonitik bir doku gösterir. Bazı yerlerde de az miktarda plajiyoklaz ve biyotit kristallerinin önemli oranda ortoklaz mineralleri ile çevrelendiği görülmektedir.

Biyotit: Petrografik analizi yapılan kayaçlarda baskın olan koyu renkli mineraldir (Şekil 12). Prizmatik kristaller olarak hem büyük hem de küçük kristallere sahiptir. Kristallerin uçları tırtıklı ve koyu renklidir. Son derece açık kahverengiden koyu kahverengiye kadar değişen renklerde pleokroizma sergiler.

Opak Mineraller: Az miktarlarda, genellikle küçük taneler halinde bulunur ve düzensiz şekillere sahiptirler.



Şekil 12. Granitteki taneli dokunun a) tek nikolde (TN) ve b) çift nikoldeki (ÇN) görünümü. (Pl: Plajiyoklaz, Ku: Kuvars, Or: Ortoklaz, Bi: Biyotit**).**



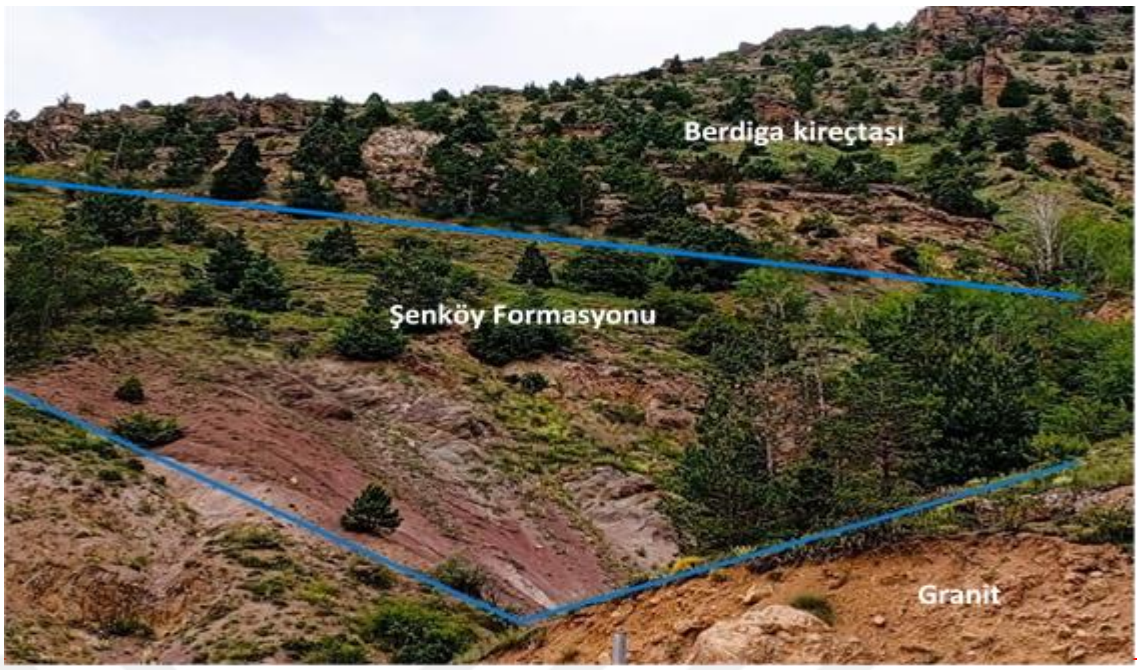
Şekil 13. Granitteki taneli dokunun a) tek nikolde (TN) ve b) çift nikoldeki (ÇN) görünümü (Pl: Plajiyoklaz, Ku: Kuvars, Or: Ortoklaz, Bi: Biyotit).

Gümüşhane Granitoidi ilgili çok sayıda araştırmacı (Baykal, 1952; Gattinger, 1962; Yılmaz, 1972; Tokel, 1972; Robinson vd., 1995; Yılmaz, 1992; Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Topuz vd., 2010) çalışma yapmıştır. Gümüşhane Granitoidi'nin yaşı ile ilgili ilk çalışma Çoğulu (1975) tarafından yapılmış olup, U-Pb jeokronolojik incelemelerle birimin yaşı 298-338 My olarak tespit edilmiştir. Topuz vd. (2010) çalışmasında biyotit ve hornblendlerin Ar-Ar yaşı 320±4 My, zirkon yaşı ise 320±4 - 324±6 My olarak belirlenmiştir. Birim, Liyas yaşlı Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Önceki araştırmalardan elde edilen radyometrik yaş tespitleri dikkate alındığında yaşı Karbonifer olarak kabul edilmiştir.

4.1.2. Şenköy Formasyonu

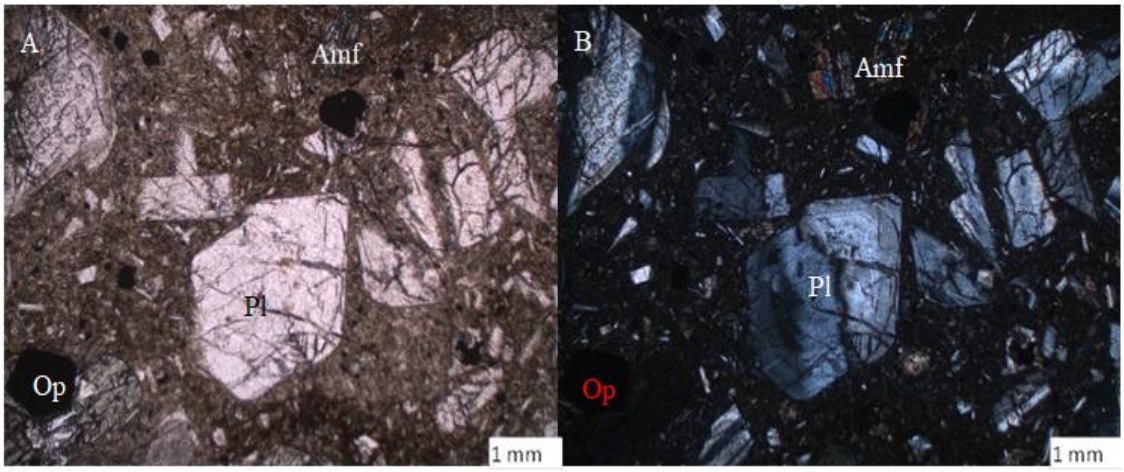
Şenköy Formasyonu, Hamurkesen Formasyonu (Ağar, 1977) ya da Zimonköy Formasyonu (Eren, 1983) olarak da adlandırılmıştır. Şenköy Formasyonu, Gümüşhane Granitoyidi üzerinde uyumsuzlukla bulunmaktadır.

Andezit (Şekil 14), piroklastlar, kırmızı kireçtaşları ve yer yer kömür ara katkılarından oluşur. Kumtaşı, kireçtaşı, marn ve kiltaşı tabakalarından oluşan Formasyonu, ağırlıklı olarak yumuşak bir topoğrafya eşliğinde mor, gri-yeşil ve gri-siyahtan oluşan çeşitli renkler sunar. Formasyon çeşitli yerlerde tespit edilen konglomeralarla başlar ve daha sonra sıklıkla yanal fasiyes değişimleri gösterir. İnce- orta katmanlı, dağınık, alacalı marnlar; orta-kalın katmanlı, iyi boylanmış, kompakt çimentolu türbiditik kumtaşları; bazalt, andezit ara katkılı tüf, tüfit ve piroklastikler; orta tabakalı kumlu kireçtaşı ile birlikte arazide belirgin bir topografyaya neden olur (Saydam Eker vd., 2012).



Şekil 14. Çalışma alanında Gümüşhane Granitoyidi üzerinde bulunan Şenköy Formasyonu'nun görünümü

Bu formasyondan alınan volkanik kayaç örneğinin, mikroskopta incelenmesi sonucu camsı mikrolitik porfiritik dokulu andezit belirlenmiştir (Şekil 15a-b). Plajiyoklazlar prizmatik kristallerdir. Ayrıca küçük kristallerde de bulunur. Cins tespitinde (010'a dik kesit) andezin (An_{36}) olduğu tespit edilmiştir. Büyük plajiyoklaz kristalleri öz şekilli ve yarı öz şekillidir. Polisentetik ikizlenme gösterirler (Şekil 15b). En yaygın ayrışma türleri karbonatlaşma ve serisitleşmedir. Amfiboller genellikle küçük prizmatik kristaller halinde olup hornblenddir. Opak mineraller bazı kesimlerde oldukça bol miktarda bulunmaktadır (Şekil 15). Genellikle köşeli ve düzensiz şekillidir. Hamur plajiyoklaz, hornblend ve opak minerallerden oluşmuştur.

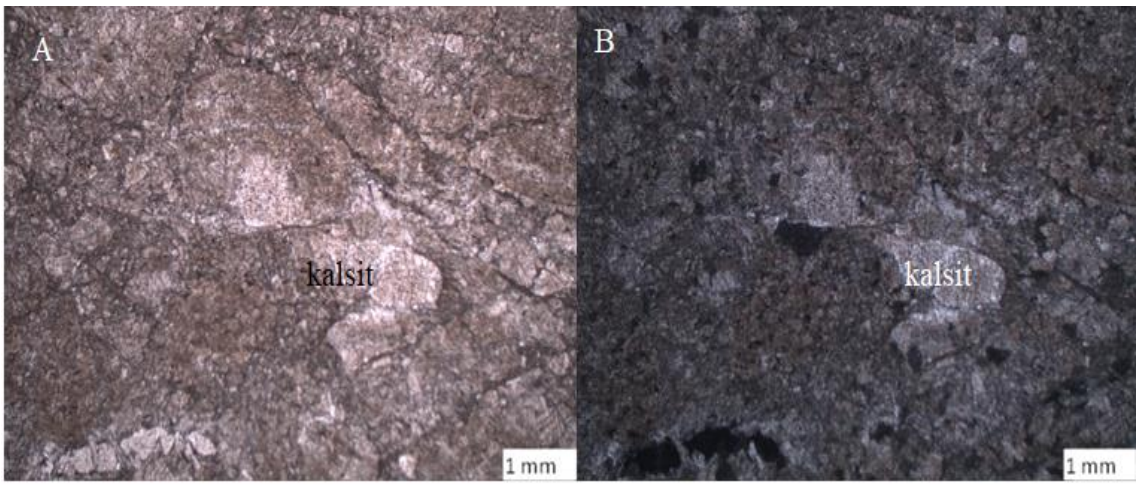


Şekil 15. Andezitteki camsı mikrolitik porfirik dokunun a) tek nikolde (TN) ve b) çift nikoldeki (ÇN) görünümü. (Pl: Plajiyoklaz, Amf: Amfibol, Op: Opak mineral).

4.1.3. Berdiga Formasyonu

Birim ilk olarak Pelin (1977) tarafından litostratigrafi ilkelerine uygun olarak Alucra (Giresun)'da adlandırılmıştır. Giresun'daki Berdiga Dağı'na atfen Berdiga Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, Gümüşhane'de Kuşakkaya Tepesi, Gurbetyatağı Tepesi, Uçurum Tepesi, Fındıklı Tepesi, Akçakale ve Süleymaniye'de geniş bir dağılım sergilemektedir. Berdiga Formasyonu topoğrafik olarak yüksek ve sarp kaya görünümü vermektedir. Birim tamamen karbonatlı kayaçlardan oluşur (Şekil 16-17). Birim orta kalınlıkta tabakalara sahiptir. İstif, tabakalı, gri-beyaz, çok çatlaklı, makrofosil içermeyen kireçtaşlarıyla başlar ve yukarıya doğru devam eder. Birim, dolomit ve dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşmakta olup kalsit mineralinden ibarettir (Şekil 17). Bu yükseltilerdeki karstik oluşumlar birime özgün bir özellik kazandırmaktadır. Birimin tabaka kalınlıkları 0.7 ila 4 metre arasında değişmektedir. Tabakaların yönelimleri kuzeybatı-güneydoğu olup, eğimleri kuzeydoğuya doğru olup, 33° ila 64° derece arasında değişir. Birimin yaşı Taslı (1990) tarafından Geç Jura-Erken Kretase olarak belirlenmiştir.

Şekil 16. Berdiga Formasyonu kireçtaşının arazideki görünümü



Şekil 17. Kireçtaşı örneğinin tek nikolde (a) ve çift nikoldeki (b) görünümü

4.1.4. Alüvyonlar

Berdiga Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır. Alüvyonlarda, çevre kayalardan gelen elementler kil boyutunda parçacıklardan blok boyutundaki parçalara kadar değişir (Şekil 18). Elemanlar tipik olarak küreseldir ve ince bir şekilde kavislidir. Şekilli, köşeli elemanlara zaman zaman rastlanmaktadır.

Alüvyonlar, inşaat alanında kullanılmaktadır. Bu birim, kenti ayıran ve bölgenin ana suyolu olan Harşit Çayı vadisinde yer almaktadır. Güzergahı boyunca ve onu besleyen kolların Harşit Çayı'na kavuştuğu yerde ortaya çıkmaktadır.

Şekil 18. Harşit Çayı’nda alüvyonlardan görünüm

4.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

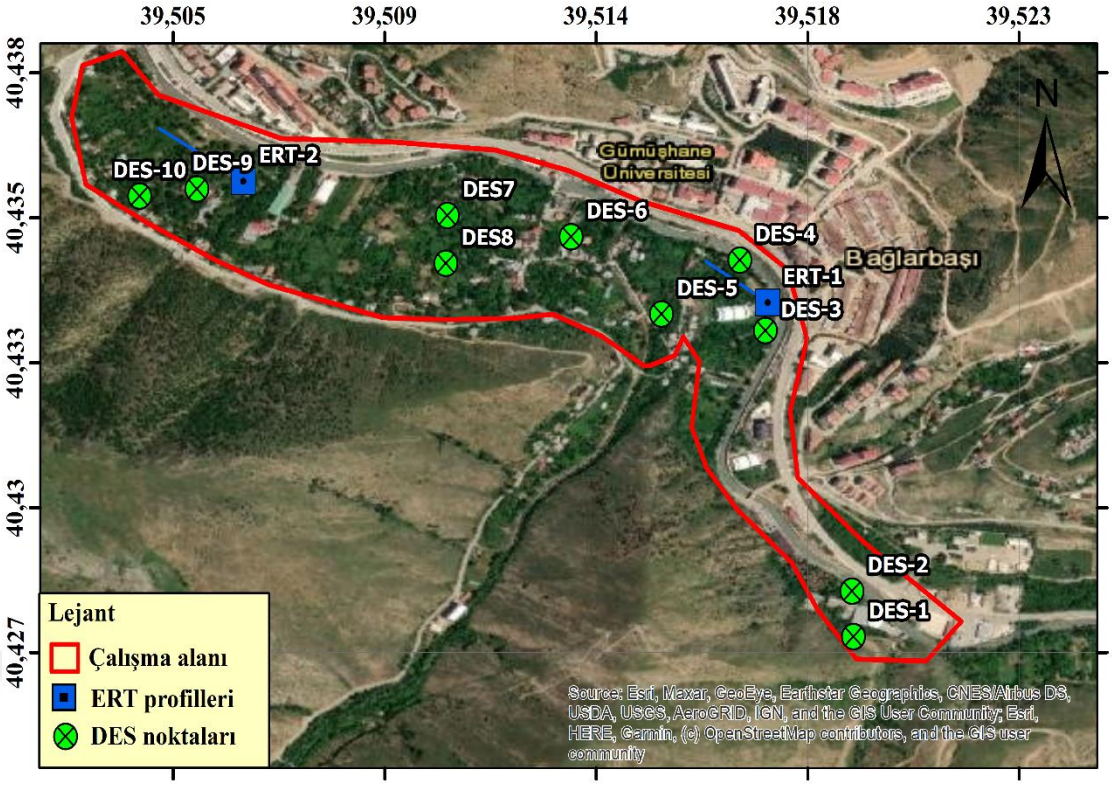
Gümüşhane ve çevresi, hidrojeolojik açıdan oldukça zengin ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Bölgenin jeolojisi, granit, granodiyorit, kireçtaşı ve volkanik kayaçlardan oluşmakta olup, özellikle karstik sistemler yeraltı suyu akışında önemli bir rol oynamaktadır. Karstik akiferler, kireçtaşı ve dolomit kayaçlarında gelişmiş olup, yeraltı suyu depolama kapasitesi yüksek olan alanları oluşturmaktadır. Ayrıca fay ve kırıklarla aktive olmuş akiferler de bölgedeki su hareketine katkı sağlamaktadır. Bölgenin önemli bir yüzey suyu kaynağı olan Harşit Çayı, vadisini kat ederek Karadeniz'e dökülmektedir. Ayrıca, Kelkit Çayı ve bağlantılı akarsular içme suyu ve tarımsal sulama için çok önemlidir.

Gümüşhane'de Karaca Mağarası, karstik yapıların en bilinen örneklerinden biridir. Torul ilçesi yakınlarında yer alan bu mağara, damlataş oluşumları ve geniş yeraltı boşluklarıyla dikkat çeker. Kireçtaşı tabakalarının erimesi sonucu oluşan bu karstik sistemler, bölgedeki yeraltı suyu akışına işaret eder.

Çalışma sahasının yaklaşık 1 km kuzeyinde Emirler Mahallesi doğusunda özel bir firma tarafıdan 4 adet sondaj 2022 yılında yapılmış bulunmaktadır (Ek Tablo 1). Bunların bir adedinde 14 m'ye kadar alüvyon kesilmiş ve devamında granite girilmiştir. Bu sondaj 22m'ye kadar granitte devam etmiştir. Diğer 3 adet sondajda 7 metreye kadar alüvyon ve devamlarında kireçtasına girilmiş ve 30 m'ye kadar devam ettirilmiştir (Ek Tablo 1).

4.3. DES Ölçümleri

İnceleme alanı içerisinde 10 noktada AB/2 değeri 100 m olacak şekilde çeşitli yönlerde açılım geometri ile Schlumberger elektrot dizilimi ile düşey elektrik sondajı ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 19; Ek Tablo 1).



Şekil 19. İnceleme alanı DES ve ERT lokasyonları

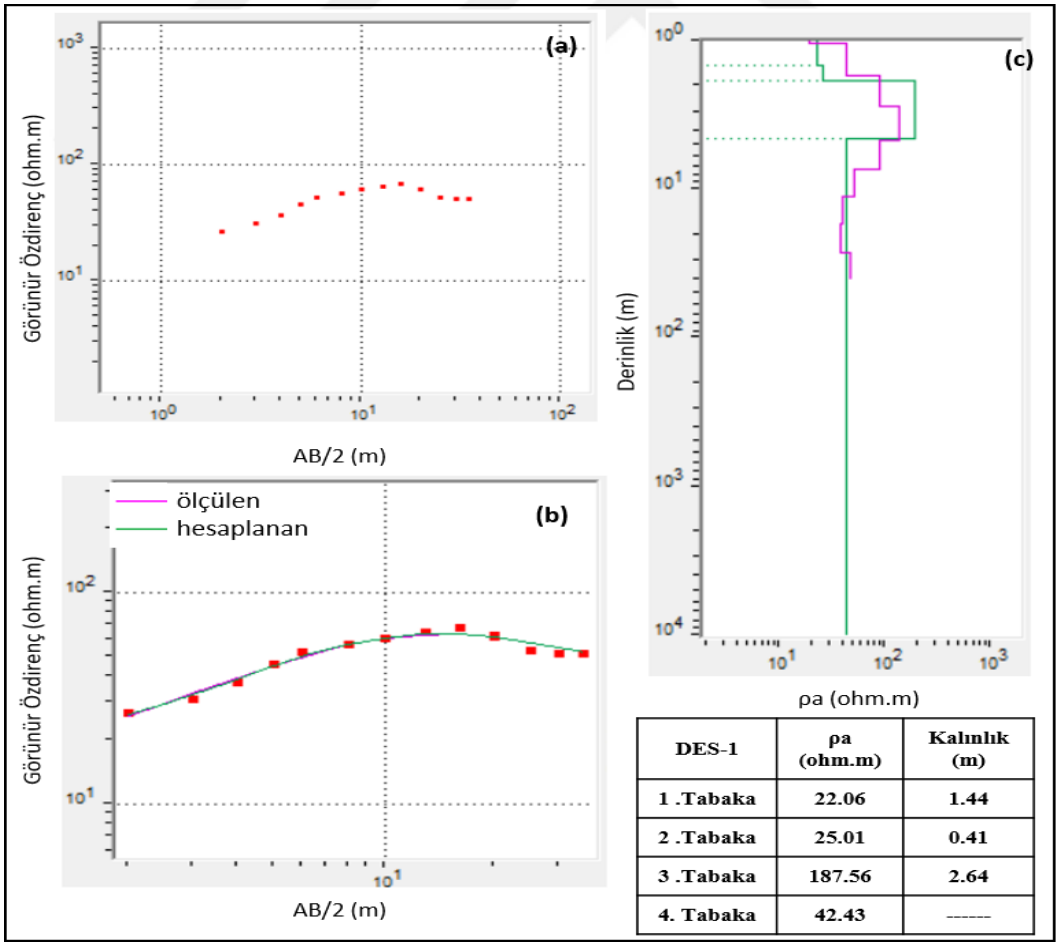
4.3.1. DES Verilerinin 1B'lu Ters Çözümü

Jeofizik veriler için kullanılan ters çözüm prosedürleri oldukça iyi formüle edilmiş bir çözüm süreci ve incelenen yapıyı yeterince tanımlayan parametre değerleri gerektirir. Sonuçlar incelenen modelleri ne kadar doğru tanımlarsa tanımlasın, tüm ters çözüm süreçlerinde istatistiksel ortalamalar oldukları için kesin değerler olamazlar. Bunlar ters çözümün sonuçları olarak anlaşılmalıdır. Bir veya daha fazla parametre deneysel olarak tanımlanabilir ve çözümden elimine edilebilirse gerçek çözüme çok daha yakın olunacaktır (Aşcı, 2004). Bir boyutlu ters çözüm ve iki boyutlu model gösterim için WinGLink programı kullanılmıştır (Şekil 20-29).

WingLink ters çözüm programı, OCCAM ters çözümü yöntemini esas alarak ters çözüm işlemi yapmaktadır. OCCAM ters çözümü, doğrusal olmayan ters problemlerin çözümünde sıklıkla tercih edilen, özellikle jeofizikte DES ve ERT gibi uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Bu yaklaşım, elde edilen modelin gözlenen verilerle uyumlu olmasının yanı sıra, modelin mümkün olduğunca basit, pürüzsüz ve fiziksel olarak anlamlı olmasını hedefler. OCCAM yaklaşımında, model karmaşıklığı artırılmadan, veri ile model arasındaki fark belirli bir tolerans sınırı içinde kalacak şekilde çözüm elde edilir. Bu yöntemde modelin ikinci türevlerinin (veya benzer düzgünlük ölçütlerinin) minimizasyonu esas alınır ve bu sayede ani değişimler yerine kademeli geçişler içeren

daha yumuşak bir yeraltı modeli oluşturulur. OCCAM ters çözümü iteratif olarak çalışır ve her adımda, model uyumu ile modelin düzgünlüğü arasında bir denge kurularak en uygun çözüm üretilir (Constable, Parker & Constable, 1987). Bu özellikleri sayesinde, klasik en küçük kareler yaklaşımının aşırı uyumlu (overfit) veya fiziksel olarak anlamsız modeller üretebildiği durumlarda OCCAM yöntemi daha güvenilir sonuçlar verebilmektedir.

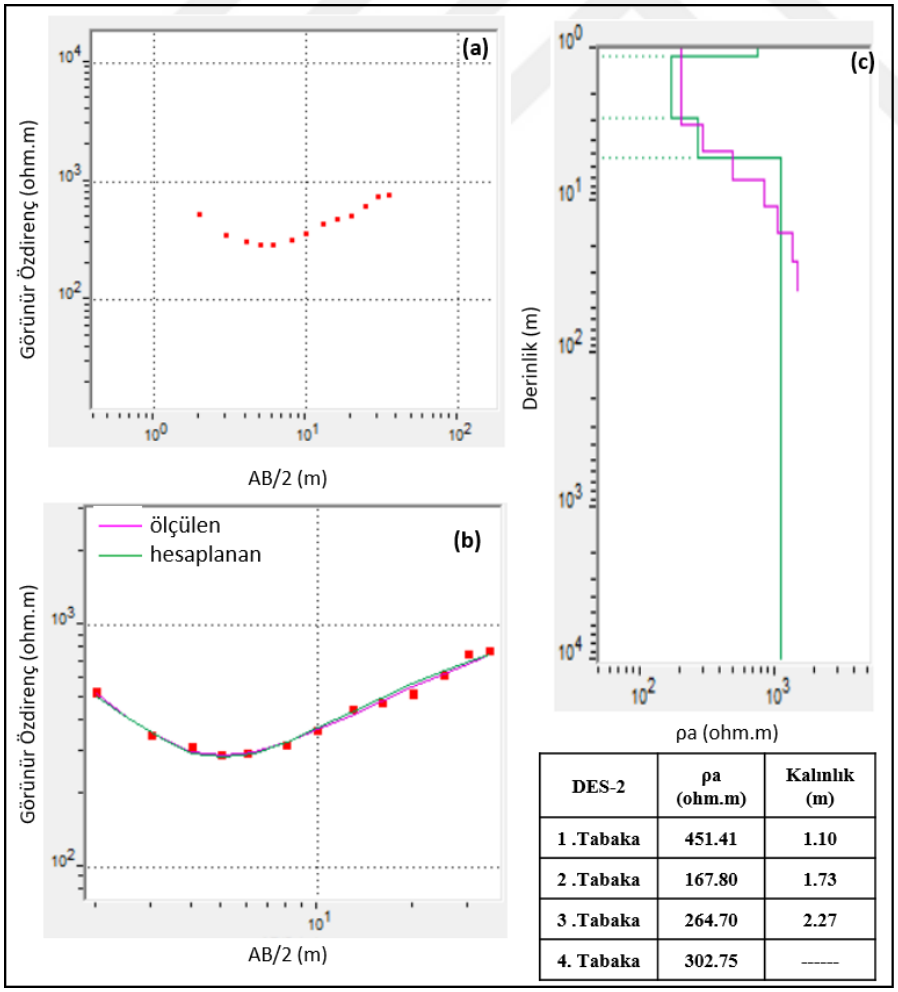
DES-1 ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda, dört katmandan oluşan bir yer modeli oluşturulmuştur (Şekil 20). En üstte, yaklaşık 1.44 metre kalınlığında ve düşük özdirenç değeri olan 22.06 Ωm'ye sahip bir örtü tabakası yer almaktadır. Bu tabakanın hemen altında, yaklaşık 0.41 metre kalınlığında ve biraz daha yüksek özdirençli (25.01 Ωm) bir katman bulunmaktadır. Üçüncü katman ise yaklaşık 2.64 metre kalınlığında olup, belirgin şekilde yüksek bir özdirenç değeriyle 187.56 Ωm olarak ölçülmüştür. En altta ise, 42.43 Ωm özdirenç değerine sahip ve iletken özellikler gösteren bir tabaka tespit edilmiştir. Bu veriler, zemin profilinde üst tabakalardan alt tabakalara doğru değişen fiziksel ve elektriksel özelliklere sahip heterojen bir yapının varlığını ortaya koymaktadır.



DES-1	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	22.06	1.44
2 .Tabaka	25.01	0.41
3 .Tabaka	187.56	2.64
4. Tabaka	42.43	------

Şekil 20. DES-1 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

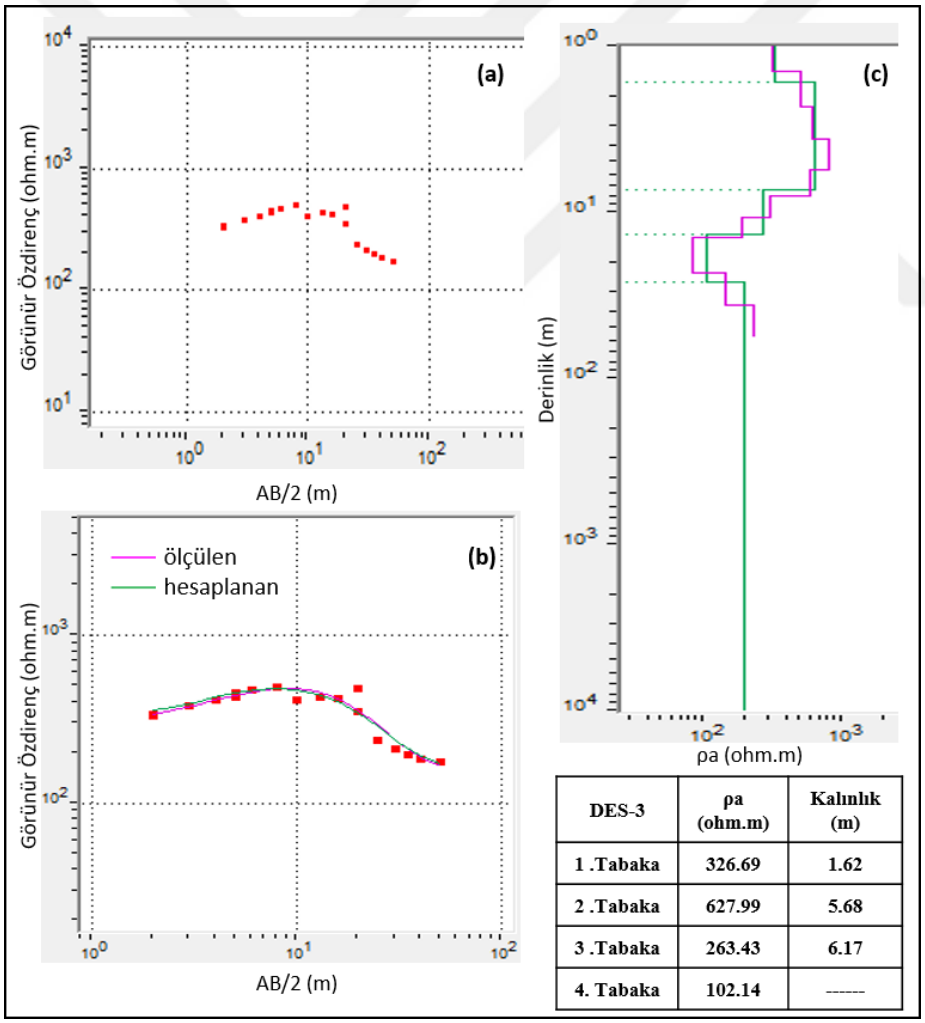
DES-2 ölçüm noktası verilerinin değerlendirilmesi neticesinde, dört katmandan oluşan bir zemin modeli oluşturulmuştur (Şekil 21). En üst tabaka, yaklaşık 1.10 m kalınlığında olup 451.42 Ωm gibi yüksek bir özdirenç değeri sergileyen örtü biriminden oluşmaktadır. Bu katman, muhtemelen düşük nem içeriğine sahip, sıkı veya geçirimsiz özellikte bir zemin yapısını temsil etmektedir. Onu takiben, yaklaşık 1.73 m kalınlığında ve 167.80 Ωm özdirenç değerine sahip ikinci bir tabaka yer almaktadır; bu katmanın fiziksel özellikleri üst tabakaya göre daha iletken ve muhtemelen daha nemli veya ince taneli bir yapıyı işaret etmektedir. Üçüncü katman, yaklaşık 2.27 m kalınlığında ve 264.70 Ωm özdirenç değeri ile iletken özellikler göstererek, ara katmanlara kıyasla daha yüksek dirençli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Modelin en altında ise 302.75 Ωm özdirenç değeriyle nispeten yüksek dirençli bir tabaka bulunmakta olup, bu tabakanın zemin profilinin temelini oluşturan daha sert veya daha kuru birimlerden oluştuğu düşünülmektedir. Genel olarak, DES-2 ölçüm noktası zemin profili, farklı fiziksel ve hidrojeolojik özelliklere sahip katmanların ardışık dizilimiyle karakterize edilen heterojen bir yapıya işaret etmektedir.



DES-2	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	451.41	1.10
2 .Tabaka	167.80	1.73
3 .Tabaka	264.70	2.27
4. Tabaka	302.75	------

Şekil 21. DES-2 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-3 ölçüm noktasında gerçekleştirilen jeoelektrik incelemelerin sonucunda, dört tabakadan oluşan bir yeraltı modelinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 22). En üst katman yaklaşık 1.62 m kalınlığında olup, 326.69 Ωm özdirenç değeriyle yüksek elektriksel direnç sergileyen örtü birimini temsil etmektedir. Bu tabakanın altında yer alan ikinci katman, 5.68 m kalınlığında ve 627.99 Ωm gibi oldukça yüksek bir özdirenç değeri ile belirgin şekilde geçirimsiz ve sıkı yapılı birim olarak tanımlanmıştır. Üçüncü katman, yaklaşık 6.17 m kalınlıkta olup, 263.43 Ωm özdirenç değeriyle orta düzeyde dirençli bir yapı sunmakta; bu katman ara birim özellikleri göstermektedir. En alt tabaka ise 102.14 Ωm özdirenç değeri ile nispeten düşük dirençli olup, yüksek su doygunluğuna sahip, ince taneli veya kil içeriği yoğun bir zemin bileşeni olduğunu işaret etmektedir. Bu bulgular, DES-3 ölçüm noktasında yer alan zemin profilinin hidrojeolojik ve fiziksel özellikler bakımından heterojen karaktere sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

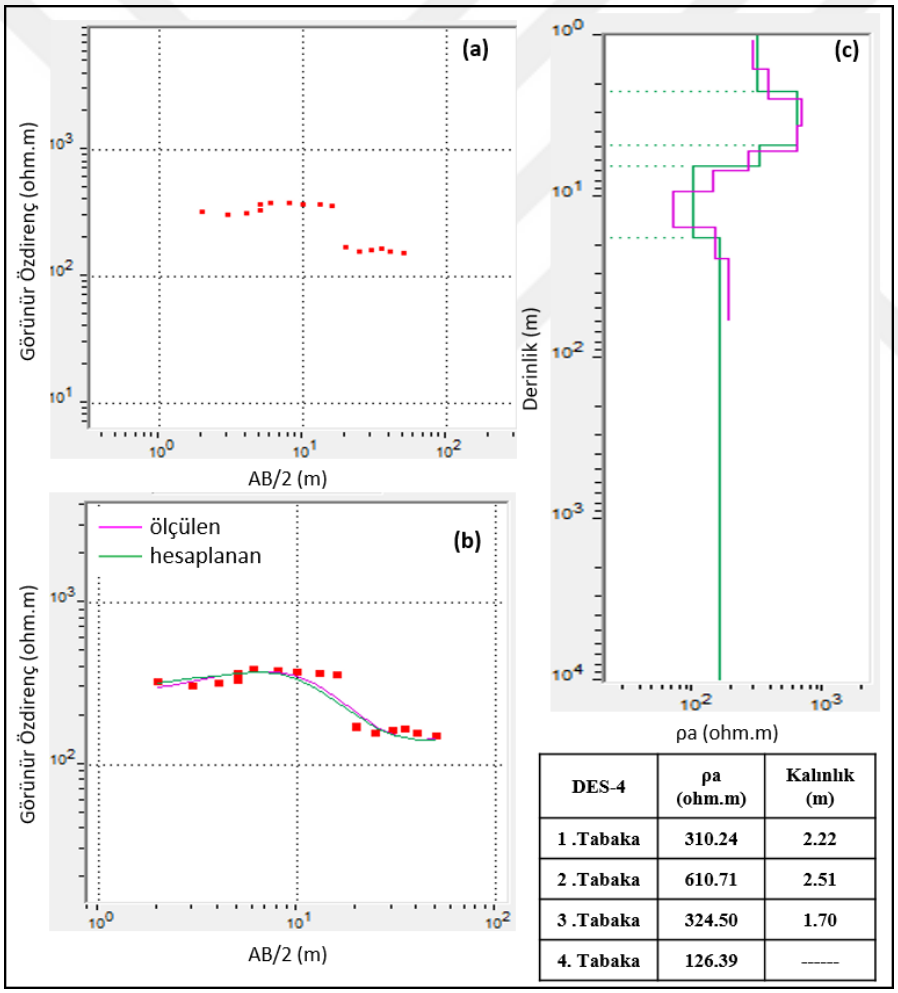


DES-3	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	326.69	1.62
2 .Tabaka	627.99	5.68
3 .Tabaka	263.43	6.17
4. Tabaka	102.14	------

Şekil 22. DES-3 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-4 ölçüm noktasından elde edilen jeoelektrik verilerin analizine göre, dört tabakadan oluşan bir yeraltı modeli belirlenmiştir (Şekil 23). En üstte yer alan yaklaşık

2.22 m kalınlığındaki ve 310.24 Ωm özdirenç değerine sahip örtü birimi, nispeten kuru veya düşük su içeriğine sahip bir zemin yapısını işaret etmektedir. Bunun hemen altında bulunan, 2.51 m kalınlığında ve oldukça yüksek özdirenç değeri (610.71 Ωm) ile karakterize edilen ikinci tabaka, muhtemelen geçirimsiz ve çok düşük su doygunluğuna sahip sıkı birimler içermektedir. Üçüncü tabaka ise, 1.70 m kalınlığında ve 324.50 Ωm özdirenç değeriyle orta düzeyde bir direnç göstererek, su içeriğinin ikinci katmana kıyasla daha fazla olabileceğini düşündürmektedir. En altta tespit edilen yaklaşık 126.39 Ωm özdirenç değerine sahip tabaka ise, üst katmanlara göre daha iletken özellik taşıması nedeniyle yüksek su doygunluğuna sahip ya da ince taneli, su tutma kapasitesi yüksek bir zemin bileşeni olarak değerlendirilmiştir. Genel anlamda, DES-4 noktası zemin profilinde su varlığı yüzeyden derinlere doğru artış gösteren bir eğilim sergilemektedir.

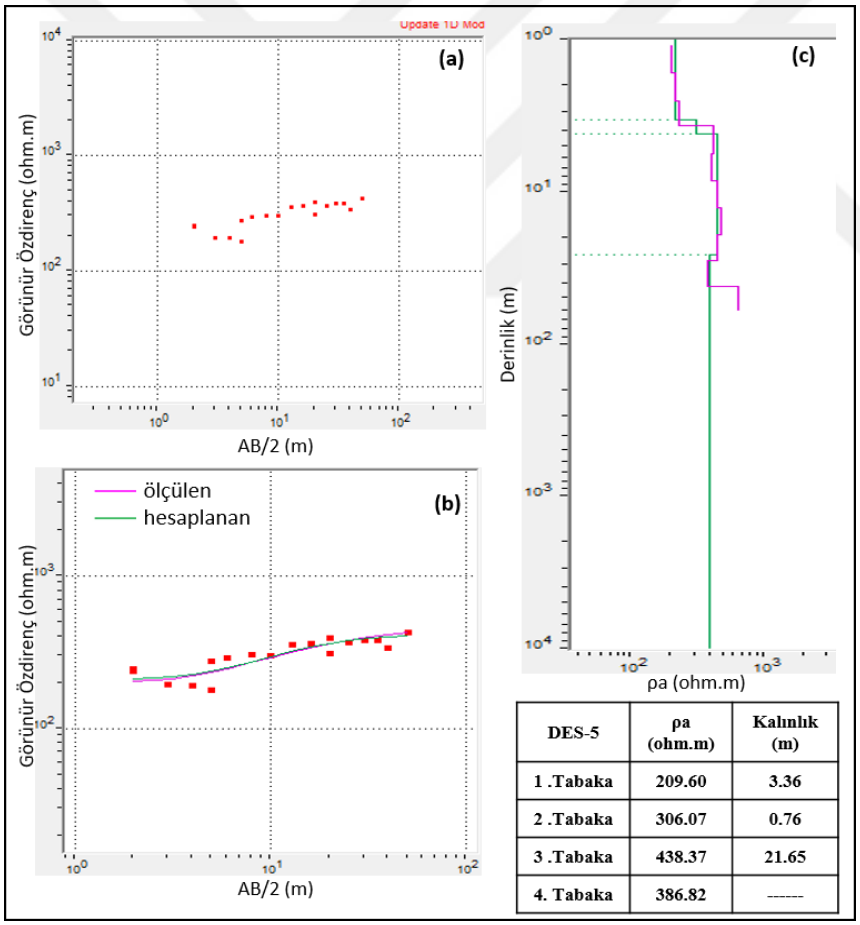


DES-4	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	310.24	2.22
2 .Tabaka	610.71	2.51
3 .Tabaka	324.50	1.70
4. Tabaka	126.39	------

Şekil 23. DES-4 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-5 ölçüm noktasında dört tabakadan oluşan bir zemin modeli ortaya konmuştur (Şekil 24). Yüzeyde, yaklaşık 3.36 metre kalınlığında ve 209.60 Ωm özdirenç değerine sahip bir örtü birimi yer almaktadır ve nispeten kuru ve gevşek yapılı bir zemin özelliği

gösterebilir. İkinci katman, yaklaşık 0.76 metre kalınlığında olup, 306.07 Ωm gibi daha yüksek bir özdirenç değerine sahiptir. İnce yapılı bu birim, daha yoğun, su içeriği düşük bir malzemeyi temsil ediyor olabilir. Üçüncü katman, yaklaşık 21.65 metre kalınlığıyla profilin en kalın tabakasıdır ve 438.37 Ωm ile en yüksek özdirenç değerine sahiptir. Bu değer, zemin yapısının oldukça kuru, sıkı ve geçirimsiz bir karakter taşıdığına işaret eder. En altta yer alan dördüncü tabaka ise 386.82 Ωm özdirenç değeri ile yine yüksek bir direnç gösterir; bu katmanın zemin profilinin temelini oluşturan ana kaya ya da daha sert bir zemin birimi olduğu düşünülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, bu dört katmandan oluşan zemin yapısı, yüksek özdirenç değerleri nedeniyle kuru, düşük nem içeriğine sahip ve su geçirgenliği sınırlı bir ortamı yansıtmaktadır. Bu özellikler, mühendislik açısından zeminin stabil olduğunu gösterse de, hidrojeolojik açıdan düşük yeraltı suyu potansiyeline işaret etmektedir.

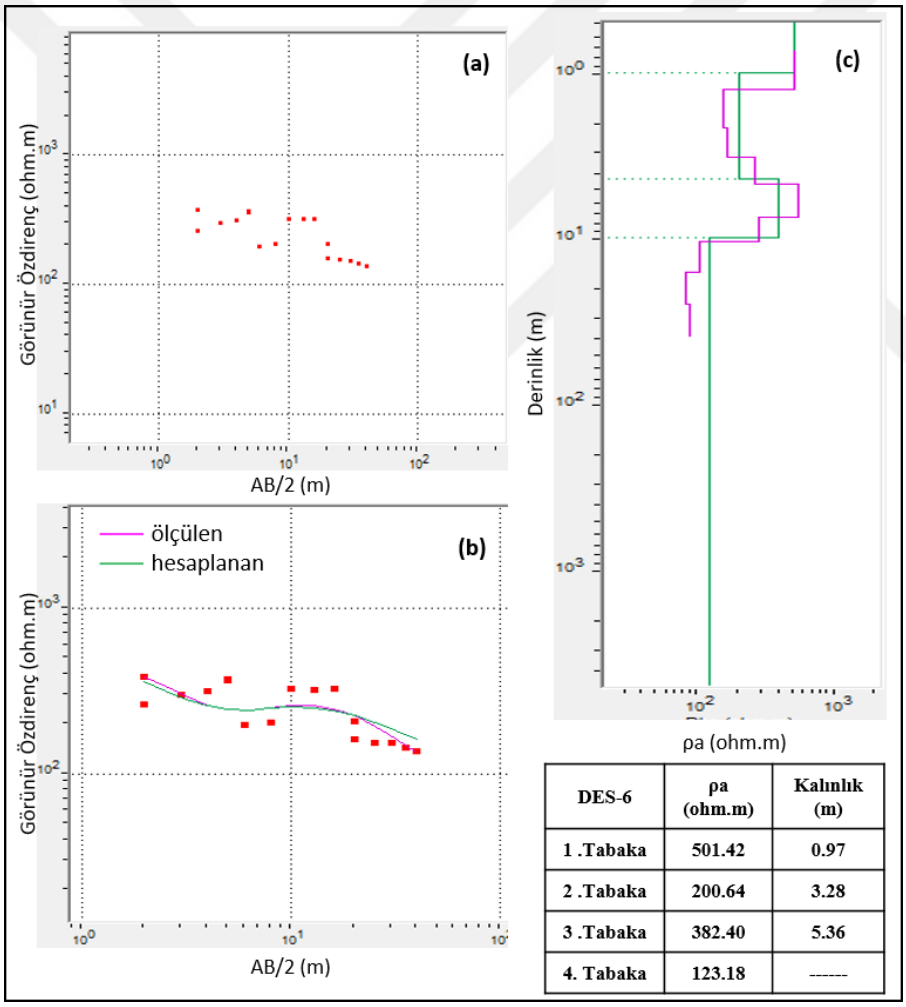


DES-5	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	209.60	3.36
2 .Tabaka	306.07	0.76
3 .Tabaka	438.37	21.65
4. Tabaka	386.82	------

Şekil 24. DES-5 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-6 ölçüm noktası verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, dört katmandan oluşan bir zemin modeli ortaya çıkarılmıştır (Şekil 25). En üstte yer alan tabaka, yaklaşık 0.97 metre kalınlığında olup 501.42 Ωm gibi oldukça yüksek bir özdirenç değerine sahiptir. Bu durum, yüzey tabakasının kuru ve gevşek yapılı ya da iyi drene olmuş bir

malzeme içerdiğini göstermektedir. Bu örtü biriminin hemen altında, yaklaşık 3.28 metre kalınlığında ve 200.64 Ωm özdirenç değerine sahip ikinci bir katman bulunmaktadır. Bu katman, daha düşük bir özdirence sahip olmakla birlikte, nispeten nemli ya da daha ince taneli bir zemin yapısını işaret edebilir. Üçüncü katman ise yaklaşık 5.36 metre kalınlığında olup 382.40 Ωm özdirenciyle yüksek iletkenlik göstermemekle birlikte önceki katmana göre daha kuru ve sıkı bir yapıda olabilir. En alt katman ise 123.18 Ωm özdirenç değeriyle zemin profilinin en düşük özdirence sahip bölümünü oluşturur. Bu, daha nemli, killi veya suya doygun bir ortamı temsil ediyor olabilir. Genel olarak değerlendirildiğinde, DES-6 noktasında yüzeyden derine doğru özdirençte dalgalanmalar gözlemlenmekte olup bu durum, farklı nem oranlarına ve malzeme özelliklerine sahip zemin birimlerinin varlığına işaret etmektedir.

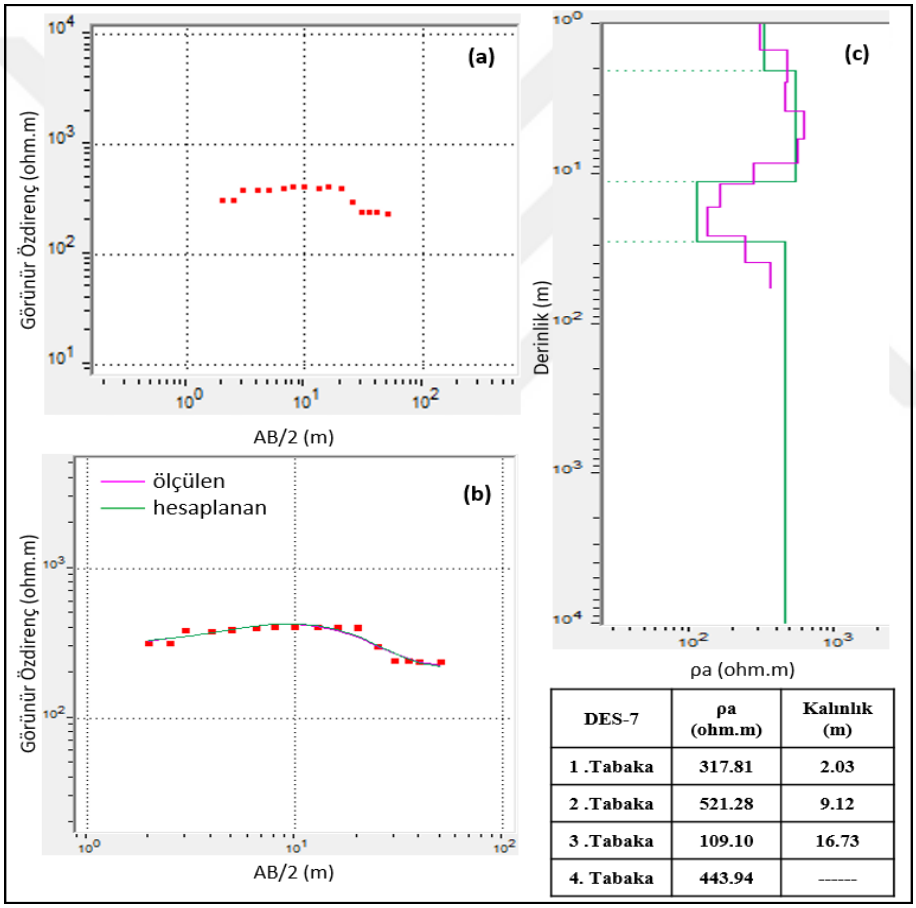


DES-6	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	501.42	0.97
2 .Tabaka	200.64	3.28
3 .Tabaka	382.40	5.36
4. Tabaka	123.18	------

Şekil 25. DES-6 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-7 ölçüm noktasında yüzeyde, yaklaşık 2.03 metre kalınlığında ve 317.81 Ωm gibi yüksek bir özdirenç değerine sahip bir örtü birimi bulunmaktadır (Şekil 26). Bu tabaka, kuru, gevşek yapılı ya da iyi drene olmuş yüzey malzemelerini temsil ediyor olabilir. Hemen altında, yaklaşık 9.12 metre kalınlığında ve 521.28 Ωm özdirençle ikinci

tabaka yer almaktadır. Bu katman, modeldeki en yüksek özdirence sahip birim olup oldukça kuru, sıkı yapılı ya da geçirimsiz nitelikte bir zemin özelliği göstermektedir. Üçüncü tabaka ise yaklaşık 16.73 metre kalınlığındadır ve 109.10 Ωm gibi düşük bir özdirenç değerine sahiptir. Bu durum, katmanın daha iletken özellikte olduğunu ve suya doygun, killi ya da ince taneli bir yapıya sahip olabileceğini düşündürmektedir. Zemin profilinin en alt bölümünde ise 443.94 Ωm özdirençle dördüncü katman yer almaktadır. Bu birim, önceki iletken tabakaya kıyasla daha yüksek özdirenç göstermekte olup daha kuru, sıkı yapılı veya kaya birimi karakterinde olabilir. Genel olarak değerlendirildiğinde, DES-7 noktasındaki zemin yapısı, farklı geçirgenlik ve su içeriği düzeylerine sahip birimlerin ardışık olarak dizildiği heterojen bir yapı sergilemektedir.

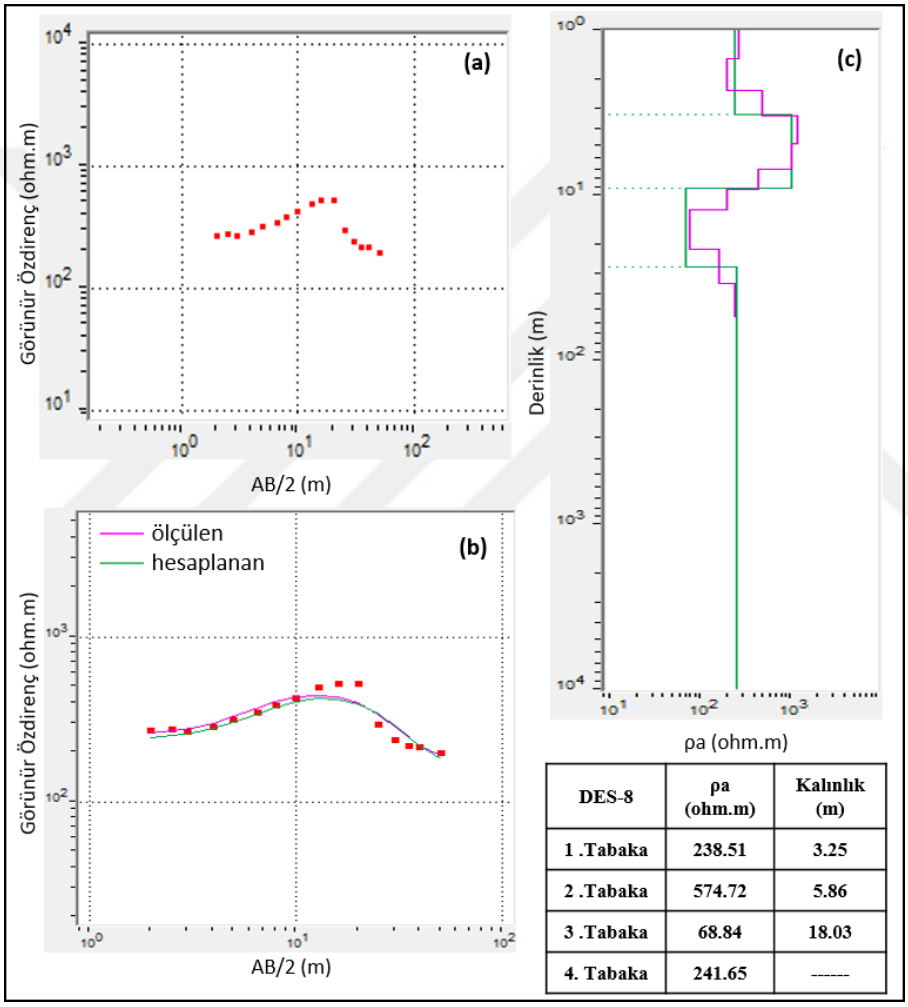


DES-7	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	317.81	2.03
2 .Tabaka	521.28	9.12
3 .Tabaka	109.10	16.73
4. Tabaka	443.94	------

Şekil 26. DES-7 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-8 ölçüm noktasında yapılan özdirenç analizleri sonucunda, en üstte yaklaşık 3.25 metre kalınlığında ve 238.51 Ωm özdirenç değerine sahip bir örtü tabaka yer almaktadır (Şekil 27). Bu tabaka, yüksek özdirenciyle kuru ve gevşek yapılı bir yüzey malzemesini işaret etmektedir. Hemen altında, yaklaşık 5.86 metre kalınlığında ve 574.72 Ωm özdirenç değerine sahip ikinci bir tabaka bulunmaktadır. Bu katman, oldukça yüksek özdirenciyle dikkat çekmekte olup kuru, sıkı yapılı veya geçirimsiz bir zemin özelliği

taşıyor olabilir. Üçüncü katman ise yaklaşık 18.03 metre kalınlığında olup, 68.84 Ωm gibi düşük bir özdirenç göstermektedir. Bu durum, katmanın iletken özellikte olduğunu ve muhtemelen suya doygun, killi ya da ince taneli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. En altta yer alan dördüncü katman ise 241.65 Ωm özdirenç değeriyle yeniden daha yüksek bir direnç ortaya koymakta ve daha kuru ya da sert bir zemin yapısına işaret etmektedir. Genel olarak DES-8 noktasındaki zemin modeli, farklı fiziksel özelliklere ve nem içeriklerine sahip katmanların ardışık olarak dizildiği heterojen bir yapıyı yansıtmaktadır.

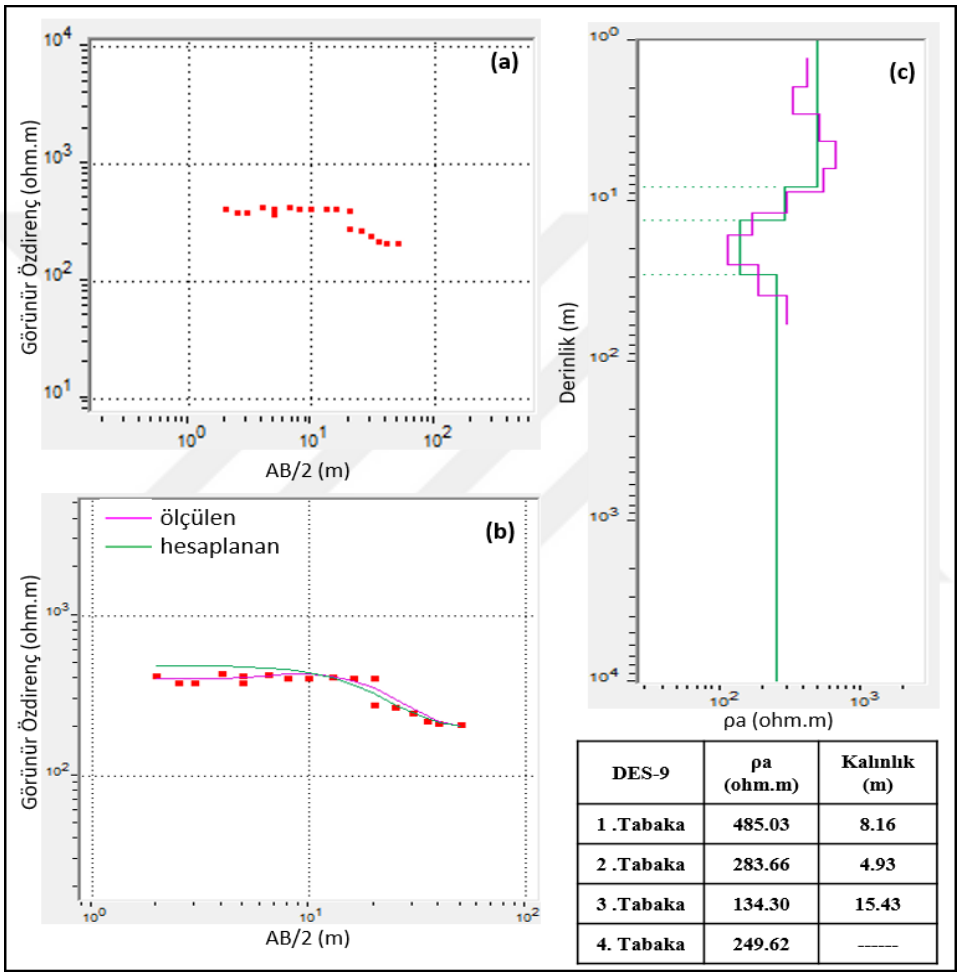


DES-8	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	238.51	3.25
2 .Tabaka	574.72	5.86
3 .Tabaka	68.84	18.03
4. Tabaka	241.65	------

Şekil 27. DES-8 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-9 ölçüm noktası için oluşturulan modelin en üstünde, yaklaşık 8.16 metre kalınlığında ve 485.03 Ωm gibi oldukça yüksek bir özdirenç değerine sahip bir örtü tabakası bulunmaktadır (Şekil 28). Bu değer, yüzeyde kuru, gevşek yapılı ya da iyi drene olmuş bir malzemenin varlığına işaret etmektedir. Bu tabakanın hemen altında yer alan ikinci katman, yaklaşık 4.93 metre kalınlığa sahip olup, 283.66 Ωm özdirenç değeri ile yine yüksek dirençli bir yapı göstermektedir; bu katman nispeten daha az kuru veya daha sıkı yapılı bir zemin olabilir. Üçüncü katman ise yaklaşık 15.43 metre kalınlığında olup,

143.30 Ωm özdirenciyle daha iletken özellikler taşımaktadır. Bu, suya doygunluk oranının arttığı, killi veya ince taneli zeminlerin varlığını düşündürmektedir. En alt katmanda ise, 249.62 Ωm özdirenç değerine sahip daha dirençli bir birim yer almakta olup, bu birim daha sert, kuru veya kaya karakterli bir malzemeye karşılık geliyor olabilir. Genel olarak bakıldığında, DES-9 noktasındaki zemin yapısı, özdirenç değerlerindeki değişimlere bağlı olarak farklı fiziksel özelliklere sahip tabakaların ardışık şekilde sıralandığı heterojen bir yer yapısını ortaya koymaktadır.

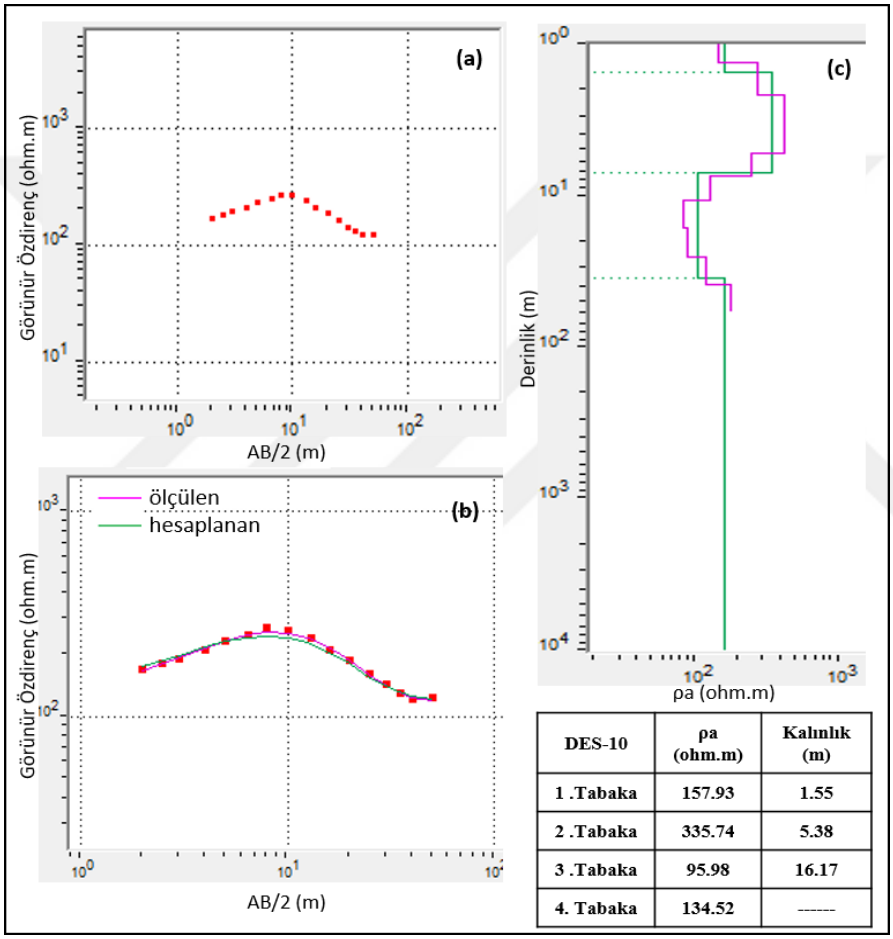


DES-9	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	485.03	8.16
2 .Tabaka	283.66	4.93
3 .Tabaka	134.30	15.43
4. Tabaka	249.62	------

Şekil 28. DES-9 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

DES-10 ölçüm noktasından elde edilen özdirenç verilerinin değerlendirilmesi neticesinde, dört tabakadan meydana gelen bir yer modeli ortaya çıkarılmıştır (Şekil 29). En üst katmanda, yaklaşık 1.55 metre kalınlığında ve 157.93 Ωm özdirenç değeri ile nispeten yüksek direnç gösteren bir örtü tabakası yer almaktadır. Bu tabaka, yüzeysel seviyede kuru ve geçirgen yapıya sahip malzemelerden oluştuğunu düşündürmektedir. Onu takiben, yaklaşık 5.38 metre kalınlığında ve 335.74 Ωm özdirenç değeri ile daha yüksek bir direnç sergileyen ikinci tabaka bulunmaktadır; bu katman sıkı yapılı, düşük

nem içeriğine sahip veya geçirimsiz özellikte olabilir. Üçüncü tabaka ise yaklaşık 16.17 metre kalınlığında olup, 95.98 Ωm özdirenç değeri ile nispeten düşük direnç sergilemekte, bu da suya doygun, killi veya ince taneli zemin bileşenlerinin varlığına işaret etmektedir. En altta yer alan dördüncü tabaka ise 134.52 Ωm özdirenç değeri ile orta düzeyde bir direnç sunmakta ve bu tabakanın daha sıkı, daha kuru ya da sert zemin özellikleri taşıyan bir birim olduğunu düşündürmektedir. Bu bağlamda, DES-10 noktasındaki zemin profili, farklı fiziksel ve hidrolik özelliklere sahip tabakaların ardışık diziliminden oluşan heterojen bir yapıyı yansıtmaktadır.

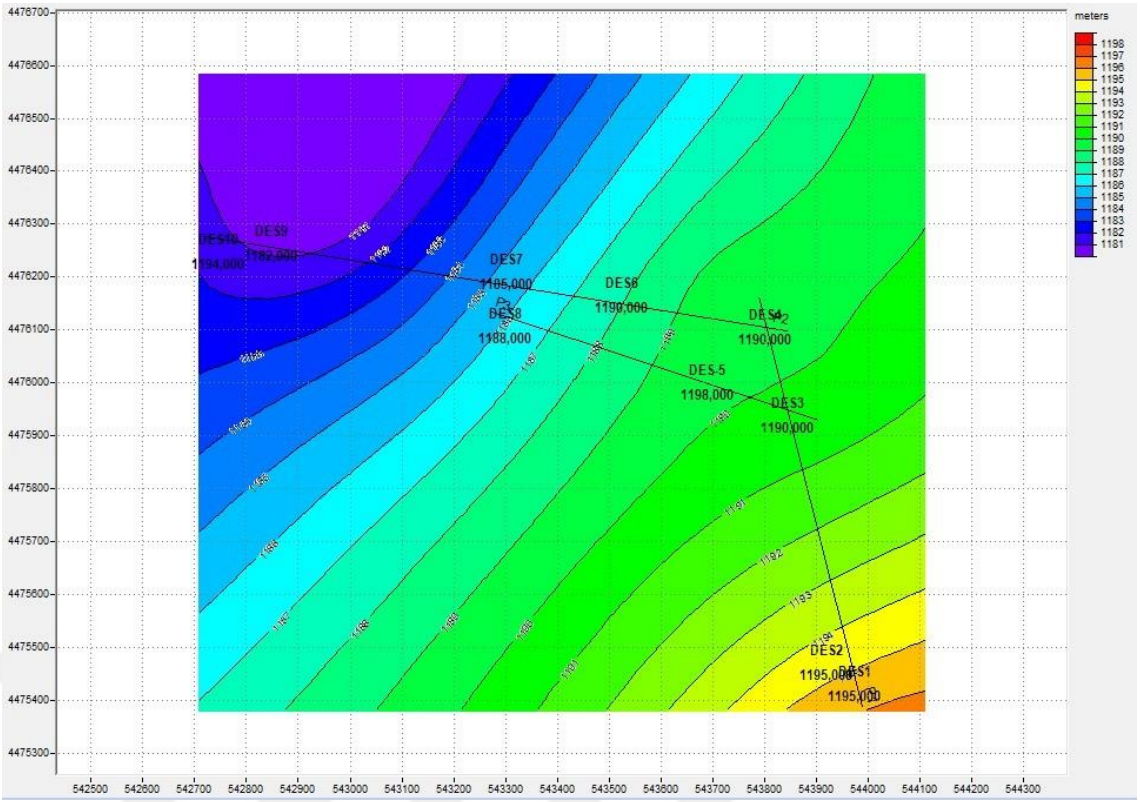


DES-10	ρa (ohm.m)	Kalınlık (m)
1 .Tabaka	157.93	1.55
2 .Tabaka	335.74	5.38
3 .Tabaka	95.98	16.17
4. Tabaka	134.52	------

Şekil 29. DES-10 Verisinin 1B'lu Ters Çözümü

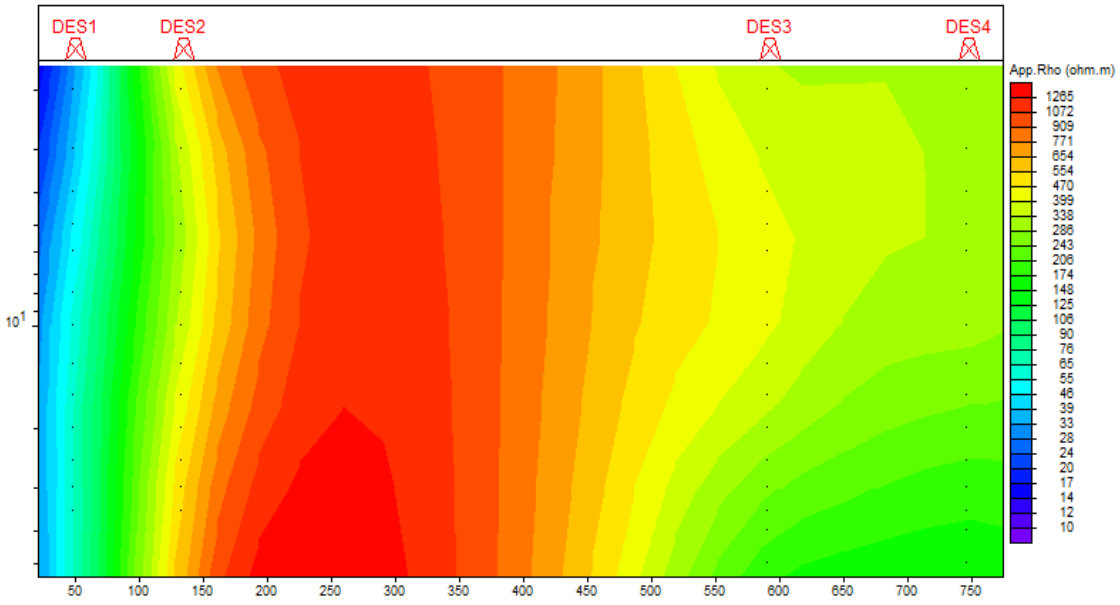
4.3.2. DES Profilleri ve Yapma Kesitleri

İnceleme alanında gerçekleştirilen Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümlerinden elde edilen bir boyutlu ters çözüm model kesitleri, *WinGLink* programı kullanılarak profil alma yöntemiyle görselleştirilmiştir. Bu amaçla, durum haritası üzerinde iki adet profil hattı (P1 ve P2) oluşturulmuş (Şekil 30) ve bu hatlar boyunca hem yapma kesitler hem de ters çözüm sonucu elde edilen model kesitleri iki boyutlu olarak sunulmuştur.

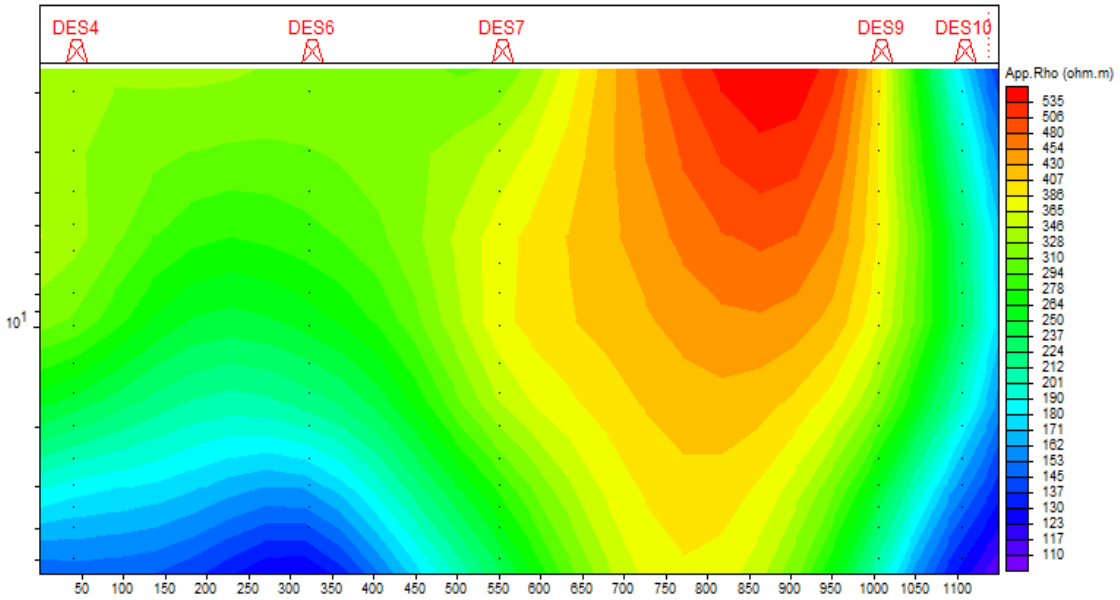


Şekil 30. P1 ve P2 nolu profillerin konumunu gösteren harita

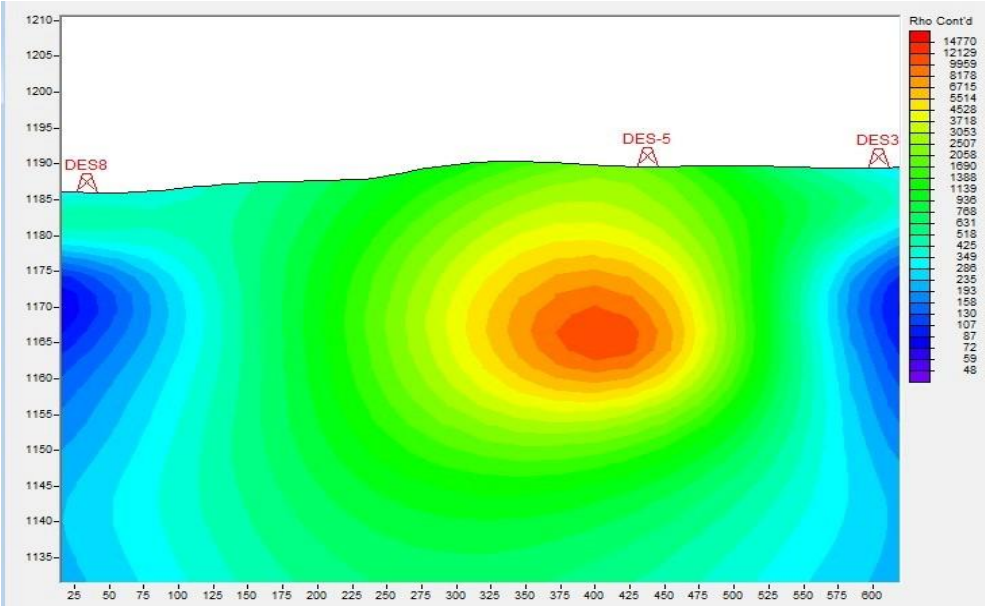
Düşey yönde, tek bir ölçüm noktasından elde edilen jeoelektrik verilerin aynı hat üzerine gelecek şekilde birleştirilerek modellenmesiyle oluşturulan yeraltı profili, "Düşey Elektrik Sondajı (DES) kesiti" olarak adlandırılır (Şekil 31 ve 32). Bu kesitlerde, yüzeyden derinliğe doğru uzanan zemin katmanlarının elektrik özdirenci ve kalınlıkları gösterilir. Jeolojik açıdan, her bir katman sahip olduğu özdirenç değerine göre yorumlanabilir. Örneğin, düşük özdirençli birimler genellikle suya doygun, geçirgen ortamlara-örneğin kum, çakıl ve silt gibi malzemelere işaret ederken; yüksek özdirençli birimler kuru, ayrışmış kayaçları, ana kayayı veya kompakt zemin yapılarını temsil eder. Bu nedenle DES kesitleri, toprak sınıflandırması, yeraltı su seviyesi belirlenmesi ve mühendislik yapıları için uygun saha seçiminde ilk değerlendirme aracı olarak büyük önem taşır. Tipik olarak bu kesitler, her biri belirli bir derinlik aralığında homojen özelliklere sahip üç ya da dört katmandan oluşan modeller şeklinde sunulur. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve jeolojik-elektriksel anlam kazanması, ters çözümleme (inversiyon) teknikleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Sonuç olarak, DES kesitleri yeraltının yüksek çözünürlüklü, 2 B'lu yapısını ortaya koyan değerli bilgiler sağlar.



Şekil 31. P1 nolu profilin yer elektrik yapma kesiti



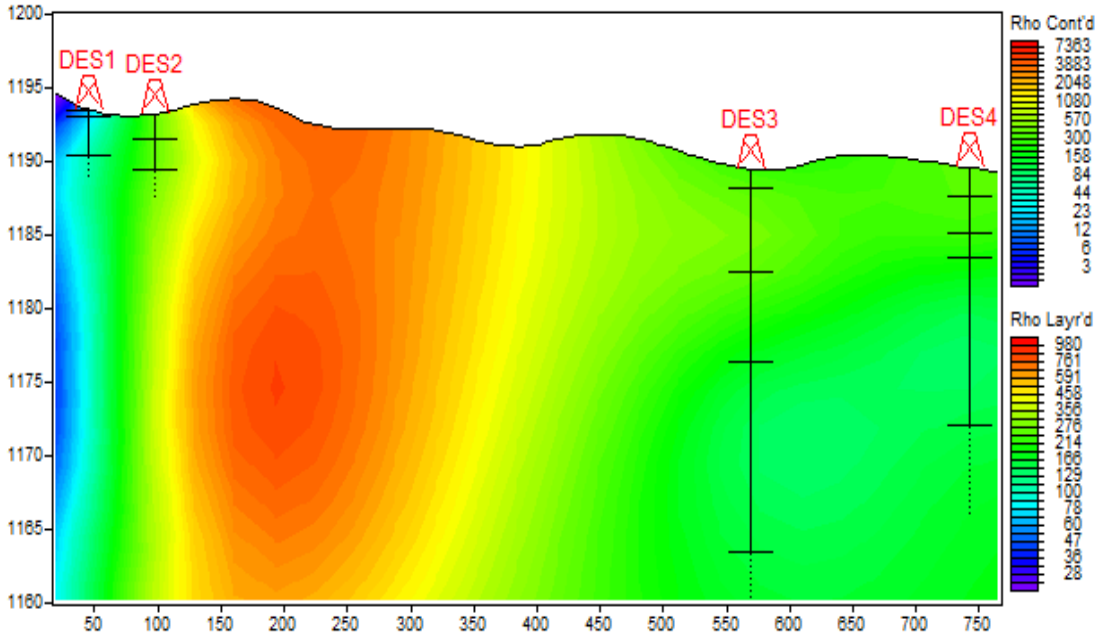
Şekil 32. P2 nolu profilin yer elektrik yapma kesiti



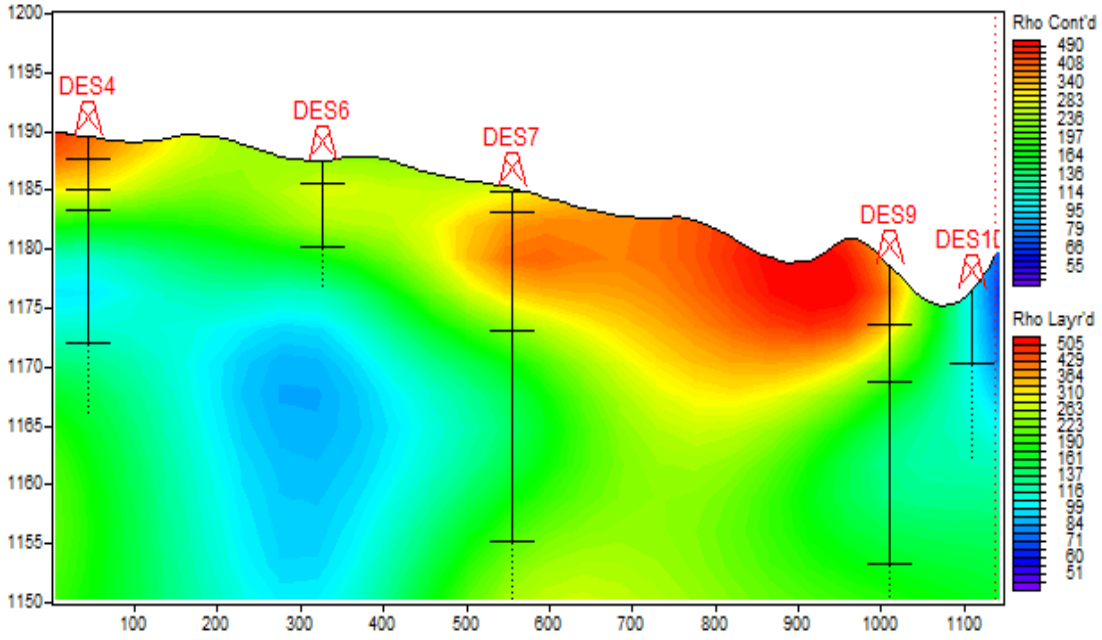
Şekil 33. P3 nolu profilin yer elektrik yapma kesiti

4.3.3. DES Verilerinin 2B Model Gösterimi

DES verilerinin 2D model gösterimi, bir alan boyunca yapılan düşey elektrik sondaj ölçümlerinden elde edilen yer altı yapıların yatay ve düşey doğrultuda görselleştirilmiş halidir. Bu model, jeoelektrik verilerin yatay kesit üzerinde özdirenç değerlerine göre renklendirilmesiyle oluşturulur ve yer altındaki farklı jeolojik tabakaların konumunu ve özelliklerini belirlemede kullanılmaktadır. DES 2B gösterimi sayesinde, hem tabakaların derinliği hem de yataydaki sürekliliği değerlendirilerek alanın hidrojeolojik yapısı hakkında net bir öngörü elde edilir (Şekil 33 ve 34).



Şekil 33. P1 nolu yer elektrik kesitinin 2B'lu model gösterimi



Şekil 34. P2 nolu yer elektrik kesitinin 2B'lu model gösterimi

4.3.3. DES Kesitleri Olası Yer Altı Jeolojik Model ve YASS

Çalışma alanında gerçekleştirilen Düşey Elektrik Sondajı (DES) ve Elektrik Rezistivite Tomografisi (ERT) ölçümlerine dayanarak, yer altı jeolojik yapının modellenmesi ve yer altı suyu seviyesinin belirlenmesi amacıyla kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu doğrultuda, WingLink yazılımı kullanılarak profil alma yöntemiyle durum haritası üzerinden seçilen kesitler boyunca hem yapma kesitler hem de model kesitleri hazırlanmış ve görsel olarak sunulmuştur (Şekil 35). Yapılan bu analizler sonucunda, çalışma alanının hidrojeolojik yapısı detaylı bir şekilde tanımlanmış ve potansiyel su taşıyan zonlar belirlenmiştir. Bu zonlar, yer altı suyu hareketi ve depolanması açısından önem arz eden geçirgen birimlerin tespiti açısından kritik veriler sağlamıştır. Elde edilen modellemeler, bölgedeki yer altı suyu dağılımı ve rezervuar niteliği taşıyan birimlerin sınırlarının ortaya konulmasına olanak tanımıştır. Tüm DES ölçüm noktalarına ait zemin ve özdirenç verileri yer altı suyu potansiyeli açısından bütüncül olarak değerlendirildiğinde;

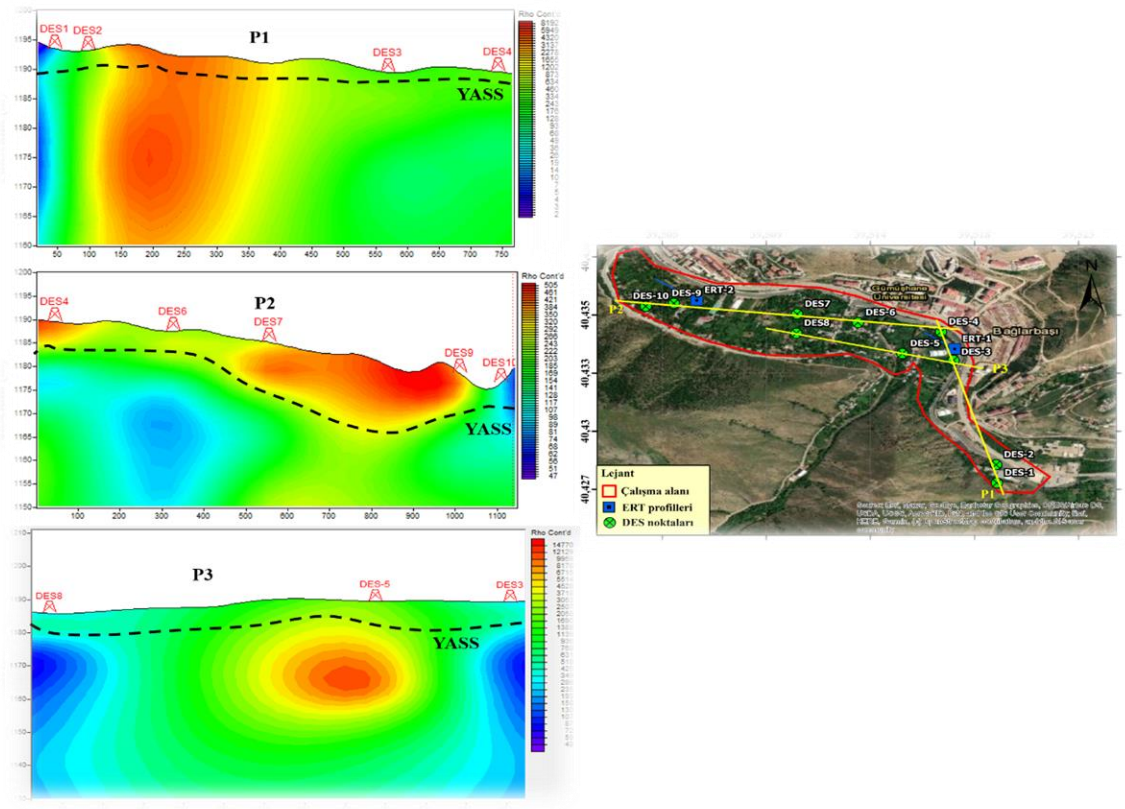
DES-1: En üstte düşük özdirençli (22.06 Ωm) örtü tabakası, su içeriğinin yüksek olabileceğine işaret eder. Alt tabakalarda özdirenç artışı (25.01 ve 187.56 Ωm) zemin geçirgenliğinin azaldığını, suyun tutulma kapasitesinin değişken olduğunu gösterir. En alt katmandaki düşük özdirenç (42.43 Ωm) ise yüksek su doygunluğu ve suyun hareketi için uygun bir zemin yapısına işaret eder. Bu modelde, yeraltı suyu potansiyeli özellikle en alt tabakada yüksektir.

DES-2: Yüksek özdirençli üst tabaka (451.42 Ωm), su içeriğinin sınırlı olduğunu gösterirken, ikinci tabakanın daha düşük (167.80 Ωm) ve üçüncü tabakanın tekrar yükselen (264.70 Ωm) özdirenç değerleri hidrojeolojik heterojenliği yansıtır. En altta ise 302.75 Ωm özdirenç ile nispeten geçirgen bir tabaka bulunmakla birlikte, bu değer yüksek olduğu için suyun varlığı sınırlı olabilir. Genel olarak, yeraltı suyu potansiyeli orta ve alt tabakalarda sınırlı veya bölgesel olabilir.

DES-3: Üst ve ikinci tabakalardaki yüksek özdirenç değerleri (326.69 ve 627.99 Ωm) suyun sınırlı olduğunu, geçirimsiz veya sıkı yapıları gösterir. Üçüncü katmanda düşen özdirenç (263.43 Ωm) suyun artan varlığına işaret ederken, en alt katmandaki düşük özdirenç (102.14 Ωm) yüksek su doygunluğunun varlığına işaret etmektedir. Bu noktada yeraltı suyu potansiyeli derin katmanlarda daha yüksektir.

DES-4: Üst ve ikinci tabakalarda yüksek özdirenç değerleri (310.24 ve 610.71 Ωm) sınırlı su içeriğine işaret eder. Üçüncü tabaka orta düzeyde (324.50 Ωm) direnç gösterirken, en alt tabaka (126.39 Ωm) düşük özdirençle suya doygun geçirgen birimlere işaret eder. Bu yapı, yeraltı suyu potansiyelinin alt tabakalarda yoğunlaştığını göstermektedir.

DES-5, DES-6, DES-7, DES-8, DES-9, DES-10 ölçüm noktalarında da benzer eğilimler gözlemlenmektedir; üst tabakalardaki yüksek özdirenç değerleri yüzeyin nispeten kuru olduğunu, suyun sınırlı olduğunu belirtirken, daha derin katmanlarda özdirencin düşmesi yeraltı suyunun bulunduğu geçirgen ve doygun birimleri göstermektedir.



Şekil 35. P1 ve P2 nolu profillerin 2B'lu yer elektrik kesiti ve olası YASS

4.4. ERT Ölçümleri

İnceleme alanı içerisinde 3m ve 4m elektrot aralıklarında değişen, 141m ve 188m'lik profil uzunluklarına sahip iki adet ERT (ERT-1 ve ERT-2) 48 elektrotlu Wenner-Schlumberger dizisi kullanılarak uygulanan Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT), yeraltı suyu araştırmalarında yüzey altı yapıları hakkında ayrıntılı ve yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem, yeraltı suyu kaynaklarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanırken, akiferlerin konumlarının belirlenmesi, su kalitesinin tahmin edilmesi ve kuyu yerleşiminin optimize edilmesi gibi kritik hedeflere ulaşılmasına yardımcı olur. Wenner-Schlumberger dizisinin hibrit konfigürasyonu, hem sığ hem de derin penetrasyon sağlayarak, yeraltı suyu araştırmalarında yüksek çözünürlük elde edilmesini mümkün kılar ve yeraltı suyu izleme ile yönetiminde gerçekleştirilmiştir (Şekil 19).

4.4.1. İki Boyutlu Ters Çözüm

Özdirenç kontrastı, dizi tipi, yapı boyutları, sönümleme faktörü ve kullanılan farklı algoritmalar gibi değişkenlere bağlı olarak elektrik özdirenç yönteminde ters-çözüm

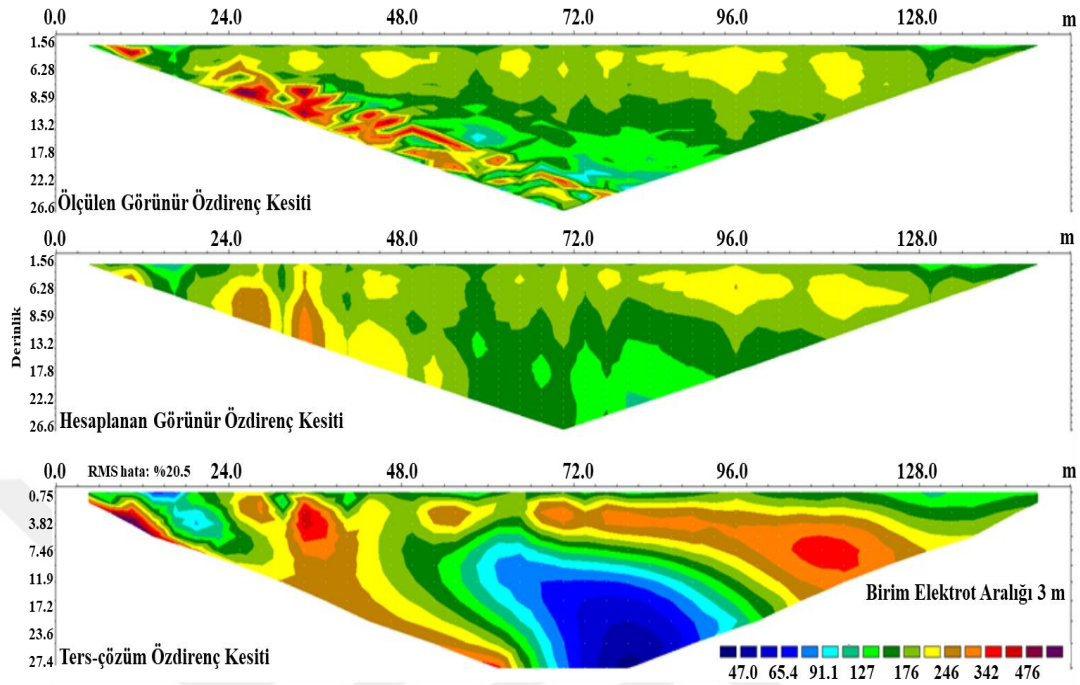
uygulamasını test eden çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Sasaki, 1992; Olayinka ve Yaramancı, 2000a, 2000b; Candansayar ve Baflokur, 2001; Loke vd., 2003; Dahlin ve Zhou, 2004). Bu çalışmalar arasında çakışmazlık (misfit) çözümlemeleri, ters-çözüm modellemesinin başarısının irdelenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çözümleme, seçilen bir yeraltı modeli için düz çözüm modellemesi kullanılarak yapay görünür özdirenç verisi üretmeyle başlar. Bu veri, ters çözüm işleminde girdi olarak kullanılır ve hesaplanmış model elde edilir. Bu model, seçilen model ile karşılaştırılarak, yöntemin problem çözmedeki başarısı belirlenmeye çalışır. Bu çözümleme sırasında iki ayrı sınama kullanılır. Bunlardan biri, yapay görünür özdirenç ile hesaplanan görünür özdirenç arasındaki farkı tanımlayan veri rms (Kök Ortalama Kare) hatası çakışmazlık değeridir ve bunun en aza indirgenmesi gerekir. İkincisi ise, ters çözüm sonucunda elde edilen hesaplanmış özdirenç modeli ile seçilen modelin karşılaştırıldığı model rms hatası çakışmazlık değeridir. Modelleme çalışmalarında veri rms hatası çakışmazlık değerinde yinelemelere bağlı olarak ortaya çıkan azalma, doğru yeraltı modeline yaklaşıyor anlamına gelmemektedir. Bazı çalışmalar ortam özelliklerine bağlı olarak çözümün ıraksayabildiğini göstermiştir (Olayinka ve Yaramancı, 2000a ve 2002).

ERT ölçümlerinin değerlendirilmesinde kullanılan Res2Dinv programı En Küçük Kareler Ters Çözüm yöntemini esas alarak ters çözüm işlemi yapmaktadır. En küçük kareler ters çözüm yöntemi (Least Squares Inversion), jeofizik uygulamalarda gözlemlerden yer altı model parametrelerini kestirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan temel matematiksel yaklaşımlardan biridir. Bu yöntem, gözlenen veri ile modelden hesaplanan veri arasındaki farkların karelerinin toplamını en aza indirerek en uygun modelin elde edilmesini amaçlar. Matematiksel olarak, $Gm \approx d$ şeklinde ifade edilen doğrusal sistemde, d gözlenen veri vektörünü, G ileri modelleme matrisini ve m ise çözülmesi hedeflenen model parametreleri vektörünü temsil eder. Bu sistemin çözümü, normal denklemler yöntemiyle $m=(G^TG)^{-1}G^Td$ formülü kullanılarak elde edilir. Bu yaklaşım, özellikle verilerde gürültü bulunduğu durumlarda kararlı ve güvenilir sonuçlar üretmesi açısından avantajlıdır. En küçük kareler yöntemi; elektrik özdirenç tomografisi (ERT), gravite, manyetik ve sismik veri gibi çeşitli jeofizik yöntemlerin yorumlanmasında etkin biçimde kullanılmaktadır (Menke, 2012).

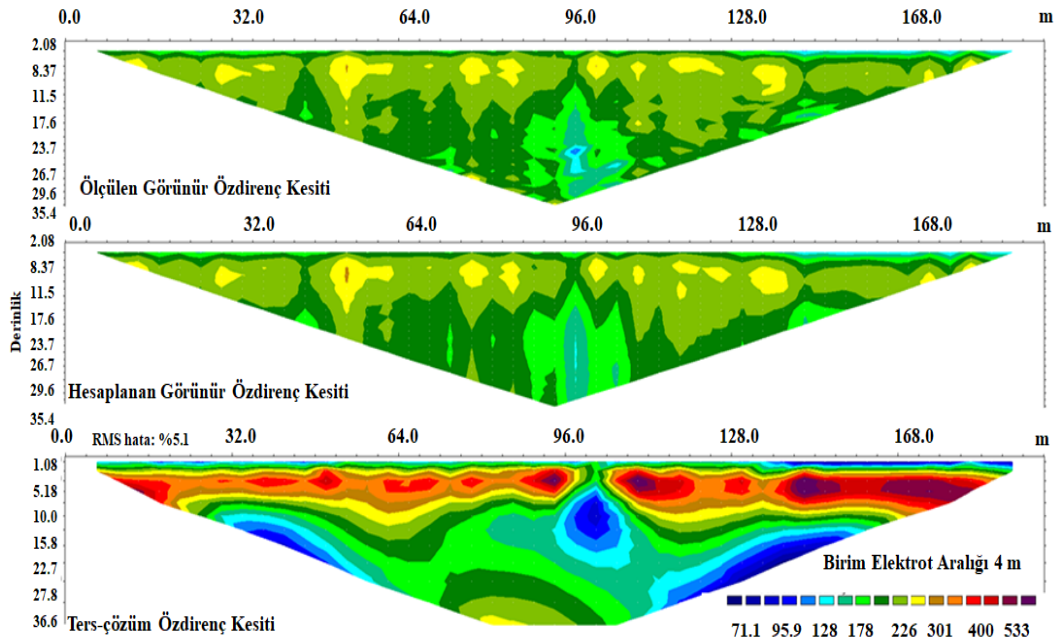
4.4.2. ERT1 ve ERT 2 Nolu Rezistivite Profilleri İki Boyutlu Ters Çözüm Kesitleri

İnceleme alanından yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler Res2dinv iki boyutlu ters çözümleme programı ile ters çözüme tabii tutularak olası yer elektrik kesiti

oluşturulmuştur. Bu işlem hem ERT-1 ham verisi hem de ERT-2 ham verisi için uygulanmıştır (Şekil 36 ve 37).



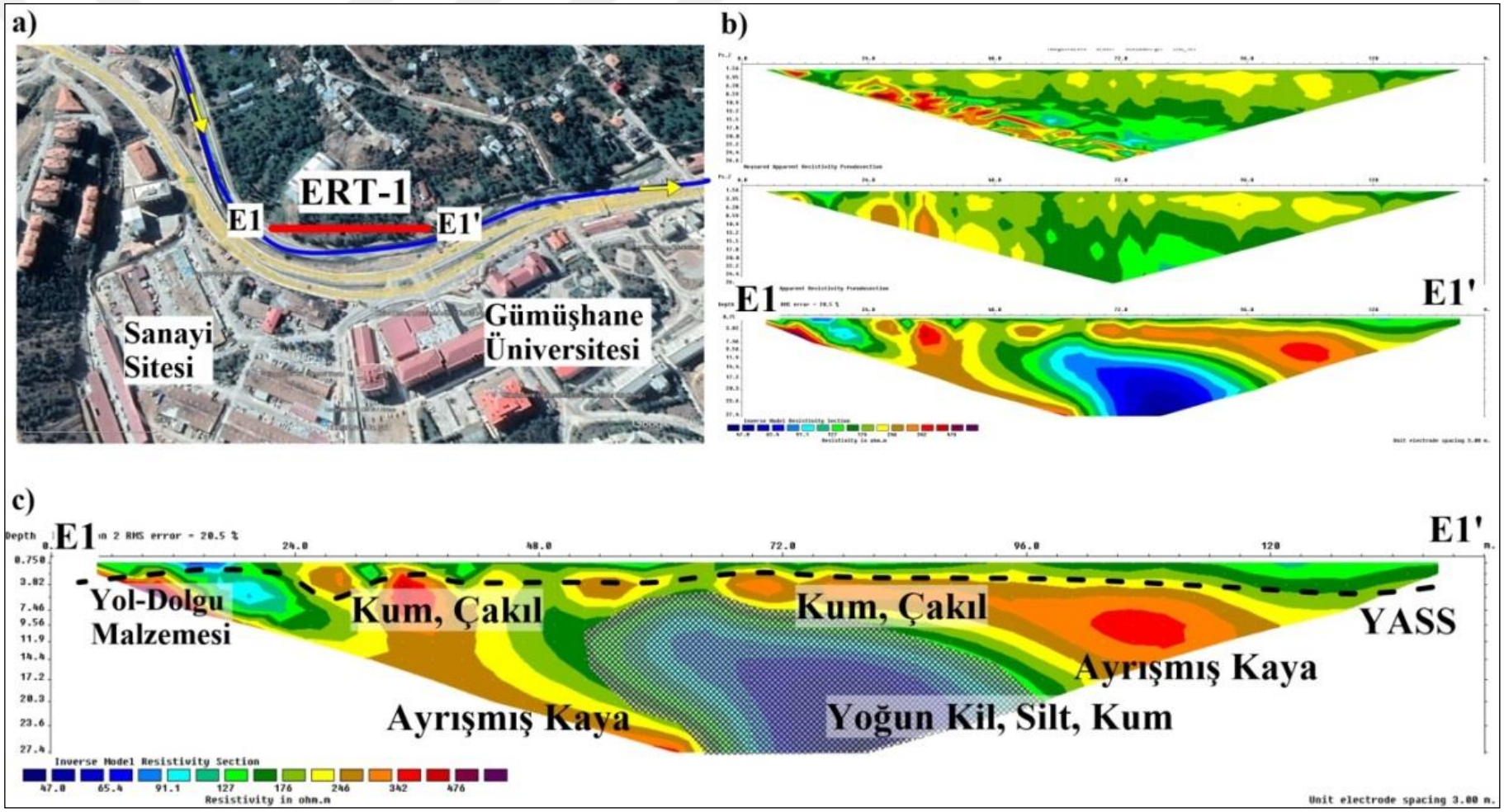
Şekil 36. İterasyon saysı 4 ERT-1 nolu profilin 2B'lu Özdirenç ters çözüm modeli



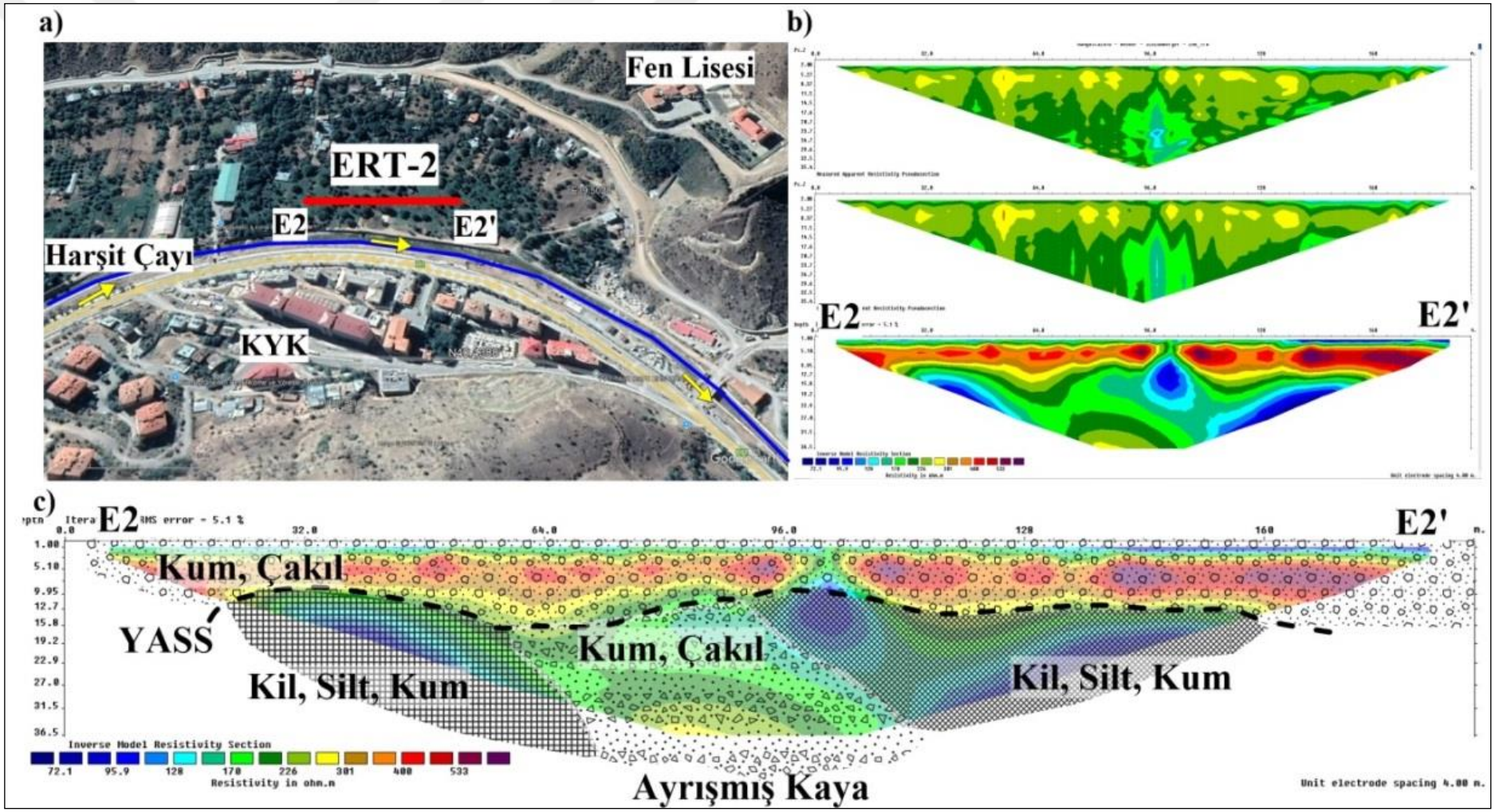
Şekil 37. ERT-2 nolu profilin 2B'lu Özdirenç ters çözüm modeli

4.4.3. ERT 1 ve ERT 2 Nolu Rezistivite Profilleri Ters Çözüm Model Kesitlerine Bağlı Geliştirilen Olası Jeolojik Yer Elektrik Model Gösterimi

İnceleme alanı içerisinde ölçülen ERT kesitleri sonucu elde edilen iki boyutlu ters çözüm özdirenç kesitleri litolojik olarak olası yeraltı jeolojik modeline benzetilmeye çalışılmış ve özdirenç ile Gümüşhane Merkez'de daha önceden yapılmış olan sondaj verilerine dayanarak litolojik birimler arasında ilişki kurulmuştur ve iterasyon sayısı 4 belinlenmiştir . Buradan hareketle; ERT 1 ve ERT 2 no'lu kesitlerde düşük özdirenç değerleri kesitler üzerinde Koyu mavi renk ile gösterilen ve 5 ile 50 ohm metre arasında değişen alanlar yoğun killi, 50 ile 90 ohm metre arası değerler kil, silt, kum ve 90 ile 150 ohm metre arası değerler ise kum ve çakıllı birimler olarak değerlendirilmiştir. 150 ile 300 ohm metre arasıda büyük değerlere sahip olan alanlar için ise yüzeye yakın olan kotlar için olası iri çakıllı ve 300 ohm. metre'den bloklu malzeme daha derin kotlar için ise ayrışmış kayaç birimlerini karakterize edeceği düşünülmüştür. Böylelikle 80 ohm metre'den daha düşük özdirenç alanları için ERT 1 ve ERT 2 kesitlerinde olası yoğun killi ortamları karakterize edebileceği ve bir geçirimsiz ortam yaratacakları düşünülerek bu değerlerin daha üst kotlarında kumlu ve çakıllı alanlar direkt olarak olası yeraltı su seviyesi olarak işaretlenmiştir (Şekil 38-39).

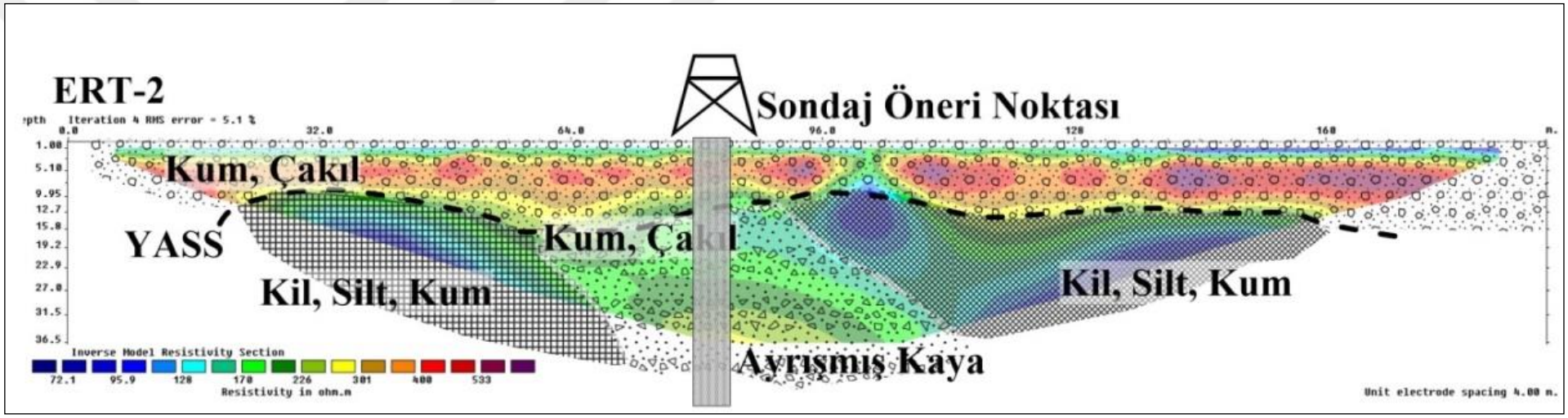


Şekil 38. a) ERT 1 nolu kesit yer bulduru, b) ERT 1 nolu kesit ters çözüm modeli ve c) ERT 1 nolu kesit 2b ters çözüm kesiti, olası jeolojik ve YASS seviye modeli



Şekil 39. a) ERT 2 nolu kesit yer bulduru, b) ERT 2 nolu kesit ters çözüm modeli ve c) ERT 2 nolu kesit 2b ters çözüm kesiti, olası jeolojik ve YASS seviye modeli

Sonuç olarak ERT kesitlerinden yola çıkıldığında düşük özdirençli soğuk renklerin hakim olduğu alanlara sondaj kuyusu açılması öngörülmektedir. Dere kotunda keson kuyu açılmak istenilirse ERT 1 ve ERT 2 no'lu ölçüm kesitlerinin 50 ile 150 ohm metre arasında kalan bölgelerinde açılacak kuyulardan çok daha verimli su alınabilecektir. Ayrıca derin bir sondaj kuyusu açılmak istenirse ise bu sondaj noktasının kesitlerin 50 ile 300 ohm metre arasında değişen ve derine doğru da devamlılığı olan bölgeler seçilmelidir. Bu alanlarda açılacak olan en az 100 m'lik sondaj kuyularından mevsimsel olarak YASS'nin alçaldığı zamanlarda bile verimli su alınabilmesi muhtemeldir (Şekil 40).



Şekil 40.ERT 2 sondaj öneri noktası

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanı genel olarak granitoyid, tortul ve volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Sahanın tabanında, Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi yer almakta olup çalışma alanında yaklaşık 3 km²'lik bir alan kaplamaktadır. Volkano-sedimanter özellikli Şenköy Formasyonu bu granitoyidler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Berdiga kireçtaşları ise uyumlu olarak Şenköy Formasyonu birimlerini örtmektedir.

Gümüşhane Granitoyidi'nde yaygın olarak çatlak ve kırık yapıları görülmektedir. Petrografik bileşim açısından bu kayaçlar granit ve granodiyorit türlerinde olup, koyu renkli mineraller bakımından zengindirler. Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve biyotit mineralleri makroskopik olarak ayırt edilebilmektedir. Çalışma alanındaki Liyas yaşlı Şenköy Formasyonu'nun volkanik kayaçları, camsı mikrolitik porfiritik dokulu andezit olup plajiyoklaz ve hornblend minerallerinden ibarettir. Berdiga Kireçtaşları kalsit mineralinden oluşmaktadır. Tüm bu birimlerin üzerinde ise, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar uyumsuz olarak bulunmakta ve güncel jeomorfolojik süreçlerin bir ürününü temsil etmektedir.

İnceleme alanında, 100 m AB/2 mesafesiyle Schlumberger dizilimi kullanılarak 10 noktada DES ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, 3 m ve 4 m elektrot aralıklarıyla sırasıyla 141 m ve 188 m uzunluğunda iki ERT profili elde edilmiştir. Veriler, Res2Dinv ile iki boyutlu ters çözüme tabi tutulmuş; DES modelleri ise WingLink programıyla P1 ve P2 profilleri boyunca oluşturulmuştur. Bu sayede, inceleme alanının yeraltı yapısına ilişkin detaylı ve kapsamlı bir mekânsal analiz imkânı sağlanmıştır. Sonuç itibari ile hem 2 boyutlu ERT hem de 1 boyutlu DES kesitlerinde yer altının olası jeo-elektrik kesit elde edilmeye çalışılmış ve olası litolojik birimler ve YASS seviyeleri işaretlenmiştir. Buradan hareketle inceleme alanı DES ölçümleri sonucu P1 ve P2 no'lu profillerinden elde edilen 2 boyutlu model gösterimler sonucunda ERT kesitlerine benzer şekilde yüzeyin üst kotlarında kil-kum-çakıl birimleri, ayrışmış ve masif kaya birimleri ve muhtemel YASS sevileri benzerdir. Ayrıca ERT kesitleri sonucu elde edilen iki boyutlu ters çözüm özdirenç kesitleri litolojik olarak olası yeraltı jeolojik modeline benzetilmeye çalışılmış ve özdirenç ile litolojik birimler arasında ilişki kurulmuştur. Buradan hareketle; ERT 1, ERT 2 ve DES kesitlerinde 5–50 ohm.metre aralığındaki düşük özdirençli alanlar yoğun killi, 50–90 ohm.metre arası karışık ince taneli zeminler, 90–150 ohm.metre arası ise kumlu-çakıllı birimler olarak yorumlanmıştır. 150 ohm.metre üzeri değerler, yüzeye yakın seviyelerde iri çakıl/bloklu zeminleri, derinlerde ise ayrışmış kayaçları işaret etmektedir.

80 ohm.metre altı geçirimsiz killi tabakaların üzerinde yer alan kumlu ve çakıllı alanlar, olası yeraltı su seviyesini göstermektedir.

Tüm DES ölçüm noktaları analiz edildiğinde, üst tabakalarda genellikle yüksek özdirenç değerleri nedeniyle su içeriğinin düşük veya sınırlı olduğu, geçirgenlik ve su tutma kapasitesinin sınırlı olduğu, daha çok kuru veya sıkı zemin/şist/kaya yapısına işaret eden bir örtü birimi bulunduğu görülmektedir. Ancak, alt tabakalara doğru özdirenç değerlerinin düşmesi, yeraltı suyunun varlığına ve suyun hareketine olanak sağlayan geçirgen zeminlerin mevcudiyetine işaret etmektedir. Bu alt katmanlar, yüksek su doygunluğuna sahip ve yeraltı suyu potansiyelinin en yoğun olduğu bölgeleri temsil etmektedir. Sonuç olarak, verilen DES noktalarında yeraltı suyu potansiyeli üst tabakalara kıyasla genellikle daha derin seviyelerde, özellikle özdirencin düşük olduğu tabakalarda yoğunlaşmaktadır. Bu bilgiler, bölgedeki yeraltı suyu araştırmaları, hidrojeolojik modelleme ve su yönetimi için önemli ipuçları sağlamaktadır.

Sonuç olarak jeofizik ölçüm kesitlerinden yola çıkıldığında düşük özdirençli soğuk renklerin hakim olduğu alanlara su amaçlı sondaj kuyusu Dere kotunda keson kuyu açılmak istenilirse ERT 1 ve ERT 2 no'lu ölçüm kesitlerinin 50 ile 150 ohm metre arasında kalan bölgelerinde açılacak kuyulardan çok daha verimli su alınabilecektir. Ayrıca derin bir sondaj kuyusu açılmak istenirse ise bu sondaj noktasının kesitlerin 50 ile 300 ohm metre arasında değişen ve derine doğru devamlılığı olan bölgeleri seçilmelidir. Bu alanlarda gerek önceki sondaj verilerine gerekse yapılan jeofizik çalışmalara göre en az 60 m'lik açılacak sondaj kuyularından mevsimsel olarak YASS'nin alçaldığı zamanlarda bile verimli su alınabilmesi muhtemel olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

ABEM (2006). ABEM Terrameter SAS 1000/4000 Instructions Manual.

Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi*. Doktora Tezi, Trabzon.

Akaryalı, E. (2010). *Arzular (Gümüşhane Kuzeydoğu-Türkiye) Altın Yatağı'nın jeolojik, mineralojik, jeokimyasal ve kökensel incelenmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, KTÜ, Trabzon.

Akbar, H., Nilsalab, P., Silalertruksa, T. ve Gheewala, S.H. (2022). Comprehensive review of groundwater scarcity, stress and sustainability index-based assessment. *Groundw. Sustain. Dev*. 18, 100782.

Akın, H. (1978). *Geologie, magmatismus und lagerstaetten-bildung im ostpontischen Gebirge-Türkei aus der Sicht der Plattentektonik*, Geologische Rundschau. 68, 253-283.

Al-Garni, M. A. (2009). Geophysical Investigations for Groundwater in a Complex Subsurface Terrain, Wadi Fatima, KSA: A Case History. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 3(2).

Arslan, M., Yılmaz, İ. ve Öztürk, M. (1996). Trabzon-Giresun bölgesinin jeolojisi ve mineralizasyonu. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20(1), 15–30.

Aşcı, M., Yılmazer, M. ve Yalçın, H. (2004). Düşey elektrik sondaj yönteminin uygulanması ve yorumu. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 17(2), 111–118.

Ateş, A. ve Yeşil, B. (2014). Küçük Melen Çayı yatağı civarında yeraltı suyu akiferlerinin tespitinde düşey elektrik sondaj verilerinin kullanılması: Düzce örneği. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 4(1), 1-12.

Aydın, R. K. (1995). *Dörtyol-Erzin Kıyı Şeridinin Jeofizik Rezistivite Etüdü DSİ Raporu*, No:JF-61, Adana.

Aziman M., Hazreek Z. A. M., Azhar A. T. S., Fahmy K. A., Faizal T. B. M., Sabariah M. ve Ismail M. A. M. (2018). Electrical resistivity technique for groundwater exploration in quaternary deposit. *Journal of Physics:Conference Series*, 995(1), 1–8.

Başokur, A. T. (1994). *Düşey elektrik sondajı verilerinin yorumu*. Ankara Üniversitesi

Baykal, A. F. (1952). *Kelkit-Şiran Bölgesinde jeolojik araştırmalar*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 2205.

Bektaş, O. (1984). Pontidlerde Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi. *KTÜ Yerbilimleri Dergisi*.

Bektaş, O. (1986). Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc-Backarc of Eastern Pontides. *M.T.A. Bulletin*.

Candansayar, M. E. ve Basokur, A. T. (2001). Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49, 13 - 25.

Constable, S. C., Parker, R. L.ve Constable, C. G. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52(3), 289–300. https://doi.org/10.1190/1.1442303

Çağlar, İ. (2009). *Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT)*. İstanbul Teknik Üniversitesi. Erişim adresi: https://web.itu.edu.tr/~caglari/jeotermal/jeoelek.html#3

Çoğulu, E. (1975). Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştımalar. *İTÜ Yayını*.

Dahlin, T. ve Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52(5), 379–398.

Daniels F. ve Alberty R.A. (1966). *Physical Chemistry*. John Wiley and Sons, Inc.

Dokuz, A., Karslı, O., Chen, B. ve Uysal, İ. (2010). Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusufeli area, Northeastern Turkey: Implications for pre- and post collisional lithospheric thinning of the eastern Pontides. *Tectonophysics*.

Dokuz, A. ve Tanyolu, E. (2006). Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weatheringof Lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks from the eastren pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*.

Doll, P., Hoffmann-Dobrev, H., Portmann, F.T., Siebert, S., Eicker, A., Rodell, M., Strassberg, G. ve Scanlon, B.R. (2012). Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics*, 59-60, 143-156

Eren, M. (1983). *Gümüşhane-Kale arasının jeolojisi ve mikrofasiyes incelemesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Eyüboğlu, Y., Santosh, M. ve Chung, S.L. (2011). Crystal fractionation of adakitic magmas in the crustmantle transition zone: petrology, geochemistry and U-Pb zircon chronology of the Seme adakites, eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 121, 151- 166.

Famiglietti, J. S. (2014). The global groundwater crisis. *Nature Climate Change*, 4(11), 945–948.

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

Gattinger, T. E. (1962). *Türkiye Jeoloji Haritası Trabzon paftası açıklaması.* (MTA Yayını No: 16344). *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara.

Gedikoğlu, A. (1978). *Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları*. Doçentlik tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.

Gedikoğlu, A., Özsaray, T. ve Pelin, S. (1979). The main lines of the geotectonic evulition of the Eastern Pontids in the Mesozoic era. *Proceedings of the 1st Geological Congress of the Middle East (GEOCOME)*, 555-580.

Gelişli, K., Babacan, A. E., (2021). Yeraltı suyu aramalarında jeofizik özdirenç uygulamaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 535-543.

Gordon Groundwater Consultancy (Gordon Report) (2011). *Sustainable Groundwater Management: Preliminary Approach for Assessingthe Sustainability of Groundwater*. Submitted to CCME Water Management Development Committee

Görür, N., Şengör A. M. C, Akkök, R. ve Yılmaz, Y. (1983). Pontidlerde Neo-Tetis'in kuzey kolunun açılmasına ilişkin sedimantolojik veriler. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*.

Griffith D. H. ve Barker R. D. (1993). Two dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.

Güven, İ. H. (1993). *Doğu Pontidler'in 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu.* MTA Gen. Müd., Ankara.

Izzaty, A., Ahmad, N., Mohd, A. ve Ahmad, N. A. (2022). Mapping of potential groundwater using electrical resistivity ımaging (ERI) at low land area of Parit Raja Johor. *International Journal of Integrated Engineering*. 14, 15-23. 10.30880/ijie.2022.14.09.003.

Kandemir, R. (2004). *Gümüşhane ve yakın yöresindeki erken-orta jura yaşlı Şenköy Formasyonunun çökel özellikleri ve birikim koşulları*. Yayımlanmamış doktora tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Karslı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, R. 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, 109-120

Kaygusuz, A. (2000). *Torul ve Çevresinde Yüzeylenen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N. (2012). Geochronological Evidence and Tectonic Significance of Carboniferous Magmatism in the Southwest Trabzon Area, Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 54(15), 1776-1800.

Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ. (2016). U-Pb zircon Chronology and Petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327-346, DOI: 10.1016/j.gr.2016.01.011

Keller G. V. ve Frischknecht F. C.1(966). *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford.

Kesgin, Y. (1983). Bayburt, Akşar Köyü ve Güneybatısının Jeolojik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Ketin, İ. ve Canıtez, N. (l972). *Yapısal jeoloji*. İ.T.Ü. Kütüphanesi, No: 869, İstanbul.

Ketin, İ. (1966). *Türkiye'nin Tektonik Birlikleri*. MTA Yayını, 66s, Ankara.

Kirsch, R. (2006). *Groundwater Geophysics: A Tool for Hidrogeology*. Springer, Germany.

Kopaçlı, A. (2009). *Hatay İli Yayladağ ilçesinde özdirenç yöntemiyle yeraltı suyu aramaları*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Loke, M. H. (2001). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2D and 3D surveys*. Penang, Malaysia: Geotomo Software.

Loke, M. H., Acworth, I. ve Dahlin, T. (2003). A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34(3), 182–187.

Menke, W. (2012). *Geophysical Data Analysis: Discrete inverse theory*. (3rd ed.). Academic Press.

Mohammed Nazıfı, H. (2015). *Gana bölgesinde yeraltı suyu araştırmaları için entegre jeofizik yöntemlerin kullanılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Sakarya.

Okay, A. ve Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. in A.G. Robinson ed., Regionalend Petroleumgeology of the Black Sea and Surrounding Region, *American Association of Petroleum Geologist (AAPG) Memoir*, 68, 291-311.

Olayinka, A. I. ve Yaramanci, U. (2000). Assessment of the reliability of 2D inversion of apparent resistivity data. *Geophysical Prospecting*, 48(2), 293–316.

Olayinka, A. I., ve Yaramanci, U. (2000). Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 45(2), 63–81.

Özdoğan, K. (1992). *Karadağ (Torul- Gümüşhane) ve yakın çevresinin jeolojisi- mineralojisi- petrografisi ve maden zuhurlarının jenetik incelenmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A. (1981). Doğu Pontidler'de Kretase. *KTÜ Yerbilimleri Dergisi*, 1, 65-114.

Palacky, G. J. (1987). Resistivity Characteristics of Geologic Targets. In: Nabighian, M. N., Editor, *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Investigations in Geophysics*,. 3, Geological Survey of Canada, 601 Booth Street, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0E8. Contribution No. 32686.

Patra, H.P., Adhikari, S. K. ve Kunar, S. (2016). *Groundwater prospecting and management*. Springer Hydrogeology.

Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından incelenmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.

Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley ve Sons.

Robinson, A. G., Banks, C. J., Rutherford, M. M. ve Hirst, J. P. P. (1995). Stratigraphic and structural development of the eastern Pontides, Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 152, 861-872.

Sasaki, Y. (1992). Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40(4), 453–464.

Saydam Eker, C., Sipahi, F. ve Kaygusuz, A. (2012). Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias cherts in Gumushane, NE Turkey. *Chemie der Erde/Geochemistry*, 72(2), 167–177.

Schultz-Wetsrum, H. H. (1961). Kuzeydoğu Anadolu Doğu Pontid mineral bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları ile ilgili mütaalalar. *MTA Dergisi*, 57, 63-71.

Semiz, Ü., Gücer, M. A., ve Alemdağ,S. (2021). Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi Su Kaynaklarının Kalitesi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 59-74.

Seymen, İ. (1975). *Kelkit Vadisi kesiminde Kuzey Anadolu fay zonunun tektonik özelliği*. Yayımlanmamış doktora tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

Sipahi, F. ve Sadıklar, M. B. (2014). Geochemistry of dacitic volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geochemistry International*, 52(4), 296–315.

Sipahi, F. ve Uslu, S. (2016). Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. *Arabian J. Geosci.*, 9:600. DOI 10.1007/s12517-016-2620-6

Sipahi, F., ve Sadıklar, M. B. (2010). Zigana (Gümüşhane, KD Türkiye) volkanitlerinin alterasyon mineralojisi ve kütle değişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53(2-3), 97-128.

Sipahi, F. (2005). *Zigana Dağı (Tortul-Gümüşhane) volkanitlerdeki hidrotermal ayrışmalarının mineraloji ve jeokimyası*. Yayımlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Sipahi, F., Akpınar, İ., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A. ve Yılmaz, M. (2017). Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, lithogeochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O–H–C–S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 181, 197–219.

Sipahi, F., Güçer, M. A. ve Sadıklar, M. B. (2019). Zigana Dağı (Gümüşhane, KD Türkiye) dayklarının jeokimyası ve jeolojik anlamı. *Yerbilimleri / Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 293-325.

Sipahi, F., Güçer, M. A. ve Saydam Eker, Ç. (2020). Hydrothermal alteration and mass changes of Eocene volcanic rocks in the Zigana region (NE Turkey): Implications for geochemical behavior during alteration. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12), 1–16.

Sipahi, F., Sadiklar, M. B., Gücer, M. A., Aydin, A. ve Kara, R. T. (2023). A study on the magnetite skarn mineralization (Gümüşhane, Türkiye): A magnetic survey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(7), 915–930.

Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Güçer, M. A., Vural, A., Kaygusuz, A. ve Aydurmuş, T. (2022). Eocene magmatism and associated Fe–Cu mineralization in northeastern Turkey: A case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review*, 64(9), 1129–1156.

Şahin, K. ve Kaygusuz, A. (2016). Mescitli (Torul/Gümüşhane) ve çevresindeki eosen yaşlı volkanik kayaçların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 89-116.

Şarman, M. (1975). Tirebolu'nun güneydoğusunun jeolojisi ve tektoniği (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethhyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.

Taslı, K. (1990). *Gümüşhane ve Bayburt yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase karbonat istiflerinin stratigrafik, paleocoğrafik ve mikropaleontolojik ıncelenmesi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Telford, W. M., Geldart, L. P. ve Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Second edition, Cambridge University Press.

Tokel, S. (1972). *Stratgraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region, N.E. Turkey*. Universty Colloge, London.

Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W. H., Zack, T., Hasozbek, A., Barth, M., Satir, M. ve Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gumushane pluton (NE Turkey**).** *Lithos*, 116, 92-110.

Topuz, G., Alther, R., Schwarz, W. H., Siebel, W., Satır, M. ve Dokuz, A. (2005). Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık Granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 441-455.

Turan, M. (1978). *Şiran doğu yöresinin jeolojisi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, KTÜ, Trabzon.

Uslu, S. (2014). *Gümüşhane il merkezi içme sularının fiziksel ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

U.S. Geological Survey (2022). *How much water is there on, in, and above the Earth?* Retrieved from https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth

UNESCO (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022*: Groundwater – Making the invisible visible. Paris: UNESCO Publishing.

Vural, A., Akpınar, İ. ve Sipahi, F. (2021). Mineralogical and chemical characteristics of clay areas, Gümüşhane region (NE Turkey), and their detection using the Crósta

Technique with Landsat 7 and 8 images. *Natural Resources Research*, 30, 3955-3985.

Wiederhold, H., Kallesøe, A.J., Kirsch, R. et al. (2021). Geophysical methods help to assess potential groundwater extraction sites. *Grundwasser-Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, 26, 367–378.

Wikipedia (2020). *Water*. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Water. Erişim Tarihi: 3 Aralık 2020.

Wikipedia, (2024). *Yeraltı suyu*. Wikipedia, (Nisan), Available at:https://tr.wikipedia.org/wiki/Yer_alt%C4%B1_suyu

Yıldırım, E. (2021). *Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç) yeraltı suyu potansiyelinin elektrik özdirenç tomografi yöntemi ile araştırılması*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yılmaz, C. (1992). Kelkit (Gümüşhane) yöresinin stratigrafisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40, 50–62.

Yılmaz, C. ve Kandemir, R. (2003). Şenköy Formasyonu: Yeni bir formasyon adlaması. *3. Stratigrafi çalıştayı bildiri özleri*, Ankara, 14.

Yılmaz, C. (1997). The Sedimantological records of Cretaceous platform-basin transitionin the Gümüşhane region (NE Turkey). *Geologie Mediterran*, 24(1-2), 125-135.

Yılmaz, C. (2002). Gümüşhane-Bayburt yöresindeki Mesozoyik havzalarının tektono sedimantolojik kayıtları ve kontrol etkenleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45, 141-164.

Yılmaz, Y. (1972). *Gümüşhane graniti ve çevre kayaçlarının petrografisi ile yapısal özellikleri*. Yayımlanmamış doktora tezi, Londra Üniversitesi, Birleşik Krallık.

Zankl, H. (1962a). Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofildes Harsit-Tales, NE Anatolien, *Geol. Rdsch.*, 51, 218-239.

Zankl, H. (1962b). Magmatismus und bauplan des ostpontischen gebirges im ouerprofil des Harşit-Tales. *Abhandlungen von Bayerische Akademie der Wissenschaften, Mathematische-Naturwissenschaftliche Klasse*, 109, 59-91.

EKLER

Ek 1. Çalışma alanına ait DES ölçümleri

Tarih : 11/11/2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-1	**(Y) : 543709**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4475992**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1198 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*	*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0.5	966.22	100	11.8	113.7	70	4	27.23	100	1918,7	522.0
2,5	0.5	451.82	100	18.9	85.1	80	4	26.47	100	2508,0	663.0
3	0.5	248.1	100	27.5	68.1	200	20			3111,4	
4	0.5	118.15	100	49.5	58.4	250	20			4879,3	
5	0.5	66.08	100	77.8	51.36	300	20			7040,0	
5	1	174.49	100	37.7	65.7	250	50			1885,7	
6,5	1	104.43	100	64.8	67.6	300	50			2750,0	
8	1	78.55	100	99.0	77.7	350	50			3771,4	
10	1	65.25	100	155.6	102.1						
13	1	52.01	100	264.0	137.2	400	50			4950,0	
16	1	75.27	100	400.7	301.3						
20	1	55.42	100	627.0	347.2	500	50			778,6	
20	4	144.58	100	150.9	217.9						

25	4	99.98	100	239.3	238.9		500	100			11235,7	
30	4	88.56	100	347.3	307.2							
35	4	85.68	100	475.0	406.5		600	100			3771,4	
40	4	63.60	100	622.3	395.4							
50	4	53.63	100	975.9	522.8		700	100			5500,0	
60	4	44.03	100	1408.0	619.4							

Tarih : 11/11/2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-2	**(Y) : 543955**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4475501**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1198 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0.5	349.82	100	11.8	41.1		70	4	24.55	100	1918,7	470.7
2,5	0.5	196.38	100	18.9	36.9		80	4	26.73	100	2508,0	636.0
3	0.5	140.29	100	27.5	38.5		200	20			3111,4	
4	0.5	80.75	100	49.5	39.9		250	20			4879,3	
5	0.5	48.76	100	77.8	37.8		300	20			7040,0	
5	1	123.77	100	37.7	46.6		250	50			1885,7	
6,5	1	100.15	100	64.8	64.8		300	50			2750,0	
8	1	86.9	100	99.0	97.2		350	50			3771,4	
10	1	84.7	100	155.6	131.6							
13	1	72.17	100	264.0	190.4		400	50			4950,0	

16	1	59.41	100	400.7	237.8							
20	1	51	100	627.0	386.8		500	50			778,6	
20	4	181.31	100	150.9	333							
25	4	160.73	100	239.3	384.2		500	100			11235,7	
30	4	123.89	100	347.3	429.8							
35	4	91.8	100	475.0	435.6		600	100			3771,4	
40	4	87.32	100	622.3	542.9							
50	4	61.76	100	975.9	602.2		700	100			5500,0	
60	4	40.96	100	1408.0	615.4							

Tarih : 11/11/2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-3	**(Y) : 543865**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4476023**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1190 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	***MN/2***	***V(m.V)***	***I(m.A)***	***K***	***R_{oa}***		***AB/2***	***MN/2***	***V(m.V)***	***I(m.A)***	***K***	***R_{oa}***
2	0.5	355.83	100	11.8	42		70	4			1918,7	
2,5	0.5	427	100	18.9	80		80	4			2508,0	
3	0.5	165	100	27.5	45		200	20			3111,4	
4	0.5	628	100	49.5	310		250	20			4879,3	
5	0.5	116.4	100	77.8	90		300	20			7040,0	
5	1	609	200	37.7	114		250	50			1885,7	
6,5	1	777	200	64.8	252		300	50			2750,0	

8	1	909	200	99.0	469		350	50			3771,4	
10	1	1013	200	155.6	788							
13	1	832	200	264.0	1098		400	50			4950,0	
16	1	1243	200	400.7	2490							
20	1	253	200	627.0	793		500	50			778,6	
20	4	83	300	150.9	42							
25	4	589	300	239.3	469		500	100			11235,7	
30	4	638	300	347.3	738							
35	4	686	300	475.0	1086		600	100			3771,4	
40	4	183	300	622.3	379							
50	4	740	300	975.9	2407		700	100			5500,0	
60	4	1021	400	1408.0	3593							

Tarih : 11/11/2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-4	**(Y) : 543817**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4476068**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1180 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0.5	213	50	11.8	50		70	4			1918,7	
2,5	0.5	431	50	18.9	167		80	4			2508,0	
3	0.5	435	50	27.5	339		200	20			3111,4	
4	0.5	540	50	49.5	534		250	20			4879,3	
5	0.5	451	50	77.8	701		300	20			7040,0	
5	1	309	50	37.7	333		250	50			1885,7	
6,5	1	251	50	64.8	335		300	50			2750,0	
8	1	333	50	99.0	669		350	50			3771,4	
10	1	336	50	155.6	1045							
13	1	309	50	264.0	1634		400	50			4950,0	
16	1	747	100	400.7	2993							
20	1	512.2	200	627.0	1605		500	50			778,6	
20	4	296	200	150.9	223							
25	4	348	200	239.3	416		500	100			11235,7	
30	4	381	200	347.3	662							
35	4	406	200	475.0	962		600	100			3771,4	
40	4	639	300	622.3	1375							
50	4	678	300	975.9	2205		700	100			5500,0	
60	4	707	300	1408.0	3317							

Tarih : 11/11/2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-5	**(Y) : 543709**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4475992**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1198 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0,5	2097,66	100	11,775	247		70	4			1918,7	
2,5	0,5	1275,48	100	18,84	240,3		80	4			2508,0	
3	0,5	706,10	100	27,475	194		200	20			3111,4	
4	0,5	388,23	100	49,455	192		250	20			4879,3	
5	0,5	230,71	100	77,715	179,3		300	20			7040,0	
5	1	737,26	100	37,68	277,8		250	50			1885,7	
6,5	1	451,19	100	64,7625	292,2		300	50			2750,0	
8	1	309,07	100	98,91	305,7		350	50			3771,4	
10	1	195,72	100	155,43	304,2							
13	1	134,78	100	263,76	355,5		400	50			4950,0	
16	1	91,35	100	400,35	365,7							
20	1	62,91	100	626,43	394,1		500	50			778,6	
20	4	205,81	100	150,72	310,2							
25	4	155,25	100	239,032	371,1		500	100			11235,7	
30	4	110,82	100	346,97	384,5							
35	4	80,71	100	474,532	383		600	100			3771,4	
40	4	54,70	100	621,72	340,1							
50	4	44,11	100	974,97	430,1		700	100			5500,0	
60	4		100	1408,0								

Tarih :11 /11 2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-6	**(Y) : 543792**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4475937**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1192 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0,5	2097,66	78	11,775	383.3		70	4			1918,7	
2,5	0,5	1275,48	78	18,84	264.9		80	4			2508,0	
3	0,5	706,10	78	27,475	301		200	20			3111,4	
4	0,5	388,23	78	49,455	316		250	20			4879,3	
5	0,5	230,71	78	77,715	364.7		300	20			7040,0	
5	1	737,26	78	37,68	371.2		250	50			1885,7	
6,5	1	451,19	78	64,7625	199.2		300	50			2750,0	
8	1	309,07	78	98,91	205.2		350	50			3771,4	
10	1	195,72	78	155,43	326							
13	1	134,78	78	263,76	319		400	50			4950,0	
16	1	91,35	78	400,35	326.8							
20	1	62,91	78	626,43	270.9		500	50			778,6	
20	4	205,81	78	150,72	162.6							
25	4	155,25	78	239,032	166.4		500	100			11235,7	
30	4	110,82	78	346,97	154.3							
35	4	80,71	78	474,532	146.5		600	100			3771,4	
40	4	54,70	78	621,72	138.2							
50	4	44,11	78	974,97	135.6		700	100			5500,0	
60	4			1408,0								

Tarih : 06/04/2025

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-7	**(Y) : 5437568**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4476040**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1196 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0,5	2097,66	100	11,775	314.2		70	4			1918,7	
2,5	0,5	1275,48		18,84	315.5		80	4			2508,0	
3	0,5	706,10		27,475	38.2		200	20			3111,4	
4	0,5	388,23		49,455	379.3		250	20			4879,3	
5	0,5	230,71		77,715	384.9		300	20			7040,0	
5	1	737,26		37,68	390		250	50			1885,7	
6,5	1	451,19		64,7625	401		300	50			2750,0	
8	1	309,07		98,91	406.9		350	50			3771,4	
10	1	195,72		155,43	407.7							
13	1	134,78		263,76	405.1		400	50			4950,0	
16	1	91,35		400,35	406.3							
20	1	62,91		626,43	402.3		500	50			778,6	
20	4	205,81		150,72	401.17							
25	4	155,25		239,032	298.01		500	100			11235,7	
30	4	110,82		346,97	241.3							
35	4	80,71		474,532	242.1		600	100			3771,4	
40	4	54,70		621,72	238.2							
50	4	44,11		974,97	236.3		700	100			5500,0	
60	4			1408,0								

Tarih : 06/04/2025

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-8	**(Y) : 542866**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4476338**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1180 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0,5	2097,66	100	11,775	269.3		70	4			1918,7	
2,5	0,5	1275,48		18,84	274.2		80	4			2508,0	
3	0,5	706,10		27,475	274.4		200	20			3111,4	
4	0,5	388,23		49,455	286		250	20			4879,3	
5	0,5	230,71		77,715	314.8		300	20			7040,0	
5	1	737,26		37,68	316.3		250	50			1885,7	
6,5	1	451,19		64,7625	349.7		300	50			2750,0	
8	1	309,07		98,91	384.6		350	50			3771,4	
10	1	195,72		155,43	425.2							
13	1	134,78		263,76	496.2		400	50			4950,0	
16	1	91,35		400,35	523.5							
20	1	62,91		626,43	520		500	50			778,6	
20	4	205,81		150,72	520.25							
25	4	155,25		239,032	295.3		500	100			11235,7	
30	4	110,82		346,97	236.8							
35	4	80,71		474,532	218.3		600	100			3771,4	
40	4	54,70		621,72	215.2							
50	4	44,11		974,97	196		700	100			5500,0	
60	4			1408,0								

Tarih : 06/04/2025

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-9	**(Y) : 543333**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4476054**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1195 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	***MN/2***	***V(m.V)***	***I(m.A)***	***K***	***R_{oa}***		***AB/2***	***MN/2***	***V(m.V)***	***I(m.A)***	***K***	***R_{oa}***
2	0,5	2097,66	100	11,775	415		70	4			1918,7	
2,5	0,5	1275,48		18,84	376.5		80	4			2508,0	
3	0,5	706,10		27,475	376.4		200	20			3111,4	
4	0,5	388,23		49,455	427.9		250	20			4879,3	
5	0,5	230,71		77,715	415.8		300	20			7040,0	
5	1	737,26		37,68	375.5		250	50			1885,7	
6,5	1	451,19		64,7625	421		300	50			2750,0	
8	1	309,07		98,91	405.5		350	50			3771,4	
10	1	195,72		155,43	404.1							
13	1	134,78	78	263,76	407		400	50			4950,0	
16	1	91,35	78	400,35	406.4							
20	1	62,91	78	626,43	401.2		500	50			778,6	
20	4	205,81	78	150,72	275.2							
25	4	155,25	78	239,032	275.5		500	100			11235,7	
30	4	110,82	78	346,97	254							

35	4	80,71	78	474,532	217.6		600	100			3771,4	
40	4	54,70	78	621,72	210.5							
50	4	44,11	78	974,97	208.3		700	100			5500,0	
60	4			1408,0								

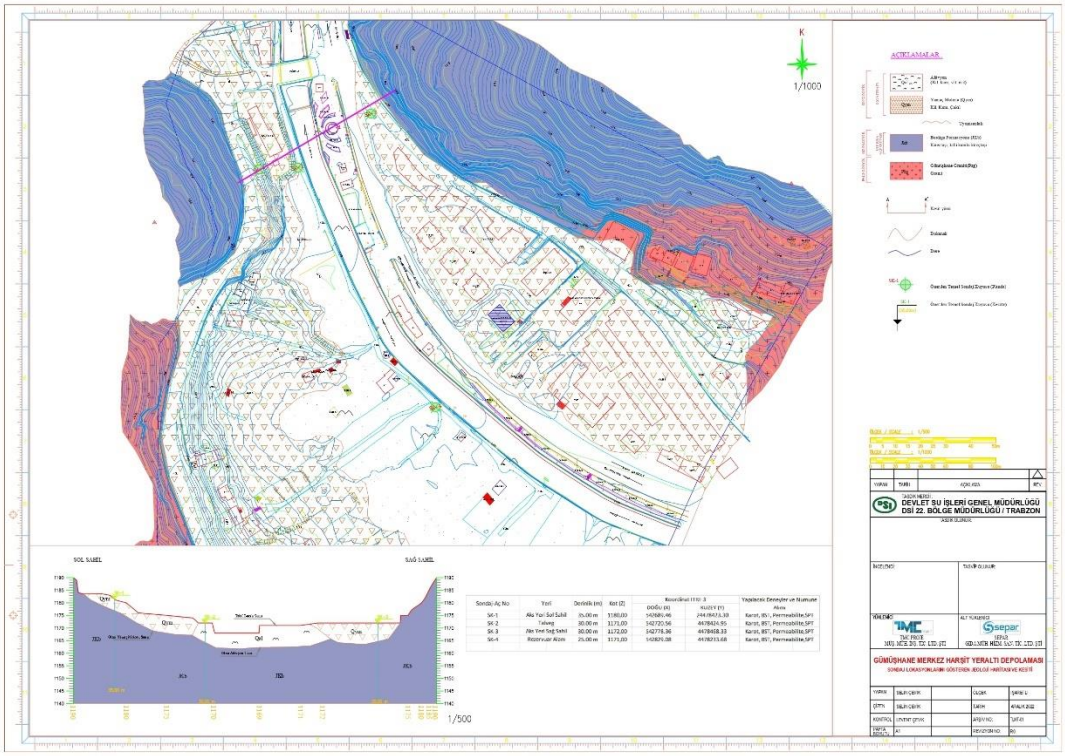
Tarih : 11/11/2024

SCHLUMBERGER ÖLÇÜ KARNESİ

Nokta Adı : DES-10	**(Y) : 542776**	**İL-İLÇE : Gümüşhane/Merkez**
Profil Adı :	**(X) : 4476219**	**MEVKİ :**
Açılım Yönü :	**KOT (Z) : 1198 metre**	**OBZERVER :**

AB/2	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*		*AB/2*	*MN/2*	*V(m.V)*	*I(m.A)*	*K*	*R_{oa}*
2	0,5		100	11,775	170.8		70	4			1918,7	
2,5	0,5		100	18,84	183.4		80	4			2508,0	
3	0,5		100	27,475	192.5		200	20			3111,4	
4	0,5		100	49,455	211.5		250	20			4879,3	
5	0,5		100	77,715	225.9		300	20			7040,0	
5	1		100	37,68	235.1		250	50			1885,7	
6,5	1		100	64,7625	250.8		300	50			2750,0	
8	1		100	98,91	273.6		350	50			3771,4	
10	1		100	155,43	264.8							
13	1		100	263,76	241.2		400	50			4950,0	
16	1		100	400,35	213.6							
20	1		100	626,43	180.5		500	50			778,6	
20	4		100	150,72	201.6							
25	4		100	239,032	161.7		500	100			11235,7	
30	4		100	346,97	143.6							
35	4		100	474,532	130.2		600	100			3771,4	
40	4		100	621,72	121.4							
50	4		100	974,97	123.4		700	100			5500,0	
60	4			1408,0								

Ek 2. Özel bir firma tarafından yapılan sondajlara ait bilgiler.



Sondaj Aç No	Yeri	Derinlik (m)	Kot (Z)	Koordinat ITRF-3		Yapılacak Deneyler ve Numune Alınan
				DOĞU (X)	KUZEY (Y)	
SK-1	Ala Yol Sol Sahil	25.00 m	1180.00	542684.46	4478472.30	Karot, BSY, Permeabilite,SPT
SK-2	Talweg	30.00 m	1171.00	542720.56	4478424.95	Karot, BSY, Permeabilite,SPT
SK-3	Ala Yol Sağ Sahil	30.00 m	1172.00	542776.36	4478458.33	Karot, BSY, Permeabilite,SPT
SK-4	Rezervuar Alanı	25.00 m	1171.00	542829.08	4478253.68	Karot, BSY, Permeabilite,SPT

GÜMÜŞHANE HARSİT YERALTI DEPOLAMASI SONDAJ LOGU

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON				PROJE : HARSİT YERALTI DEPOLAMASI				İL: GÜMÜŞHANE	
YERİ	:	SOL SAHİL KRET	BAŞLANGIÇ	:	11/18/2022	Sondaj No : SK-1		Sayfa No: 1	
KONUMU	:	Düşey	BİTİŞ TARİHİ	:	11/20/2022				
DERİNLİĞİ	:	25	MAKİNE Tipi		Paletli TSM-750			Tarih	Derinlik
KOTU	:	1180.00	SONDÖR	:	Hayrettin OCAKLI	YASS Durumu:		11/28/2022	8.00
KOORDİN	X	: 542689.46	LOGU HAZIRLAYANLAR (İsim, Unvan, İmza)			İmza			
AT LARI	Y	4478433.2	SONDAJ MÜH.						
			PROJE MÜH.	:	Jeo. Müh. Levent Çevik				

Derinlik m.	YASS	Kuyu çapı ve uç	Muhafaza Borusu	Sondaj suyu renk	Basınçlı Su Deneyi: Bar	1. 5 dk	2. 5 dk	Toplam kayıp	Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı lt		SPT Darbe Sayısı: 1. 15 cm için	2. 15 cm için	3. 15 cm için	50 darbedeki ilerleme (cm)		RQD %		Ayrışma	Jeolojik	Tanımlama
SPT-1	YASS : 8.00 m	Wire-Line Sistem NQ (76 mm. Emprenye Elmas ve İçTüplü Karotiyer)		Gri renkli su devirdaim %100						17	3,39x10-3	50/5									
2																					
SPT-2										250	2,4x10-2	50/4									0,00-7,00 m. Yamaç Molozu Köşeli ve boyutları 1-10 cm. arasında değişen kireçtaşı çakılları içeren,killi ve yer yer silt ve kum içeren Yamaç Molozu.
SPT-3										365	2,43x10-2	50/10									
5																					
SPT-4										398	1,98x10-2	50/5							W1-W3		
																			W1		
					2	18	24	42	7.01										W1-W2		
					4	35	33	68													
					2	26	20	46													
					2	14	21	35	6.28										W1		
					4	28	32	60													
					6	44	42	86													
					4	35	30	65													
					2	17	23	40	5.77										W1-W3		7,00-35,00 m. Kumlu Kireçtaş ı Koyu gri renkli,kırıklı,yer yer az kırıklı.Dayanımı orta- yüksek Kumlu kireçtaşı.
					4	27	32	59													
					6	41	38	79													
					4	32	28	60													
					2	5	7	12	1.67										W1-W2		
					4	9	12	21													
					6	18	16	34													
					4	12	9	21													

Geçirimlilik (Lugeon)	Kaya Niteliği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 İyi	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok İyi	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON						İL: GÜMÜŞHANE	
YERİ	:	SOL SAHİL KRET	BAŞLANGIÇ	:	11/18/2022		
KONUMU	:	Düşey	BİTİŞ TARİHİ	:	11/20/2022	Sondaj No : SK-1	Sayfa No: 2
	:				Paletli TSM-750		Tarih / Derinlik
KOTU	:	1180.00	SONDÖR	:	Hayrettin OCAKLI	YASS Durumu:	11/28/2022 / 8.00
KOORDİNAT LARI	X :	542689.46	LOGU HAZIRLAYANLAR (İsim, Unvan, İmza)			İmza	
	Y :						
			PROJE MÜH.	:	Jeo. Müh. Levent Ceyik		

Derinlik m.	YASS	Kuyu çapı ve kesici cinsi	Muhafaza	Sondaj suyu rengi %	Basınçlı Su Deneyi				Toplam kayıp	Lugeon	Basınçsız Su Deneyi		SPT Darbe Sayısı			50 darbedeki ilerleme (cm)			RQD %	Ayrışma		Tanımlama
	YASS : 8.00 m	Wire-Line Sistem NQ /76 mm. Elmas ve İç Tünelli Karotiyer)		Koyu gri yer yer gri renkli Su devirdaim %100	2	4	4	8		1.39												
					4	6	5	11														
					6	11	8															
					4	6	3	19														
					2	2	1													W1		
					2	5	5	10		1.61												
					4	7	6	13														
					6	13	9															
					4	6	3	22														
					2	1	1													W1		
					2	4	6	10		1.81												
					4	8	8	16														
					6	11	13															
					8	17	15	24														
					6	12	9													W1		
					2	2	3	5		1.19												
					4	3	4	7														
					6	6	5															
					8	12	9	11														
					6	5	3													W1		
					2	12	14	26		3.45												
					4	17	21	38												W1-W2		
					6	24	25															
					8	31	30	49														
					6	26	24															
					2	12	14	26		3.67												
					4	17	18	35												W1		
					6	22	25															
					8	34	31	47														
					6	26	23															
					2	7	12	19		3.56												
					4	15	19	34												W1-W3		
					6	24	25															
					8	33	30	49														
					6	27	23															
					2	9	11	20		2.44												
					4	13	13	26														
					6	15	17															
					8	21	23	32														
					10	28	25	44														7,00-35,00 m.
					2	4	5	9		1.52												Kumlu
					4	6	6	12														Kireçtaşı
					6	8	7															
					8	12	11	15												W1		Koyu gri renkli,kırıklı,yer yer az kırıklı.Dayanımı orta-yüksek Kumlu kireçtaşı.
					10	18	15	23														

KUYU TABANI:35,00 m.

Geçirimlilik (Lugeon)	Kaya Niteliği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 İyi	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜGÜ/TRABZON					PROJE : HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI			IL: GÜMÜŞHANE	
YERİ	:	TALVEG	BAŞLANGIÇ TARİHİ	:	11/20/2022	Sondaj No : SK-2		Sayfa No: 1	
KONUMU	:	Düşey	BİTİŞ TARİHİ	:	11/22/2022				
DERİNLİĞİ	:	30		:	Paletli TSM-750			Tarih	Derinlik
KOTU	:	1171.00	SONDÖR	:	Hayrettin OCAKLI	YASS Durumu:		11/28/2022	5.00
KOORDİNA	X	: 542720.56				İmza			
TL ARI	Y	: 4478424.95		:					
			PROJE MÜH.	:	Inş. Müh. Levent Çevik				

Derinlik	Kuyu çapı ve kestiği iş cinsi	Sondaj suyu ve %	Basınçlı Su Deneyi	Basınçsız Su	SPT Darbe Sayısı	Tanımlama
SPT-1	Wiley Line Rotary NQ/5C ram, Fluorescent Flush as Lubricating Conditioner	Axial rock mass permeability versus hydraulic conductivity as a function of depth in % 60	2 97	5,18x10-2	50/5	0,00-7,00 m. Alüvyon
2						
SPT-2				4,34x10-2	50/3	
				2,18x10-2		
				8,2x10-3		
			2 4 6	4,86x10-3		
		Core rock mass permeability as a function of depth in % 100	2 13 15 28 4 17 19 36 6 25 23 48			W1 W2
			2 7 9 16 4 11 13 24 6 17 15 32			W1
			2 5 7 12 4 9 12 21 6 17 15 32			W1 7,00-30,00 m.

Geçirimlilik (Lugeon)	Kaya Niteliği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 Iyi	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok Iyi	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

GÜMÜŞHANE HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI SONDAJ LOGU

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON					PROJE : HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI		İL: GÜMÜŞHANE	
YERİ	:	TALVEG	BAŞLANGIÇ TARİHİ	:	11/20/2022	Sondaj No : SK-2	Sayfa No: 2	
KONUMU	:	Düşey	BİTİŞ TARIHI	:	11/22/2022			
DERİNLİĞİ	:	30	MAKİNE TİPİ	:	Paletli TSM-750	YASS Durumu:	Tarih	Derinlik
KOTU	:	1171.00	SONDÖR	:	Hayrettin OCAKLI		11/28/2022	5.00

KOORDİNATLARI	X	:	542720.56	LOGU HAZIRLAYANLAR (Isim, Unvan, Imza)			İmza
	Y	:	4478424.95	SONDAJ MÜH.	:	Jeo. Müh. Levent Çevik	
				PROJE MÜH.	:		

Derinlik m.	YASS	Kuyu çapı ve kesici uç	Muhafaza	Sondaj suyu	Basınçlı Su Deneyi: Bar	1. 5 dk	2. 5 dk	Toplam	Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kayıbı lt		SPT Darbe Sayısı: 1. 15 cm için	2. 15 cm için	3. 15 cm için	50		RQD %			Jeoloji	Tanımlama
17	YASS : 5.00 m	Wire-Line Sistem NQ (76 mm. Emprenye Elmas ve İçTüplü Karotiyer)		Koyu gri renkli,yer yer gri renkli su devirdaim %100	2 4 6 4 2	4 9 17 14 9	6 11 16 12 6	**10** **20** **33** **26** **15**	**2.94**							100	80	10-50	W1		**7,00-30,00 m.** **Kumlu** **Kireçtaşı** Koyu gri renkli,kırıklı,yer yer az kırıklı.Dayanımı orta- yüksek Kumlu kireçtaşı.
18																					
19					2 4 6 4 2	33 38 49 36 26	36 41 51 31 25	**69** **79** **100** **67** **51**	**7.63**							100	60	10-50	W1		
20																					
21					2 4 6	24 31 37	26 33 41	**50** **64** **78**	**6.08**										W1		

					8	49	55	**104**													
					6	44	42	**86**													
					4	27	26	**53**							100	58	10-50				
					2	21	22	**43**													
22																					
23					2	22	25	**47**													
					4	27	31	**58**													
					6	33	38	**71**													
					8	51	54	**105**	**6.14**									W1			
					6	41	40	**81**													
					4	37	31	**68**							100	55	10-50				
					2	30	25	**55**													
24																					
25					2	17	19	**36**													
					4	21	22	**43**													
					6	26	29	**55**													
					8	31	33	**64**	**3.74**									W1			
					6	26	22	**48**													
					4	21	20	**41**							100	47	10-50				
					2	18	15	**33**													
26																					
27					2	3	4	**7**													
					4	5	7	**12**													
					6	9	12	**21**													
					8	25	19	**44**	**2.57**									W1-W2			
					6	12	17	**29**													
					4	11	10	**21**							100	50	> 50				
					2	6	4	**10**													
28																					
29					2	3	3	**6**													
					4	4	6	**10**													
					6	7	7	**14**													
					8	9	11	**20**	**1.17**									W1-W2			
					6	12	10	**22**													
					4	7	5	**12**							100	55	> 50				
					2	3	2	**5**													
30																					

KUYU TABANI:30,00 m.			
Geçirimlilik (Lugeon)	**Kaya Niteliği % RQD**	**Çatlak Sıklığı**	**Ayrışma Derecesi (W)**
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 İyi	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok İyi	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

GÜMÜŞHANE HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI SONDAJ LOGU

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON			PROJE : HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI		İL: GÜMÜŞHANE
İŞİN	:	SAĞ SAHİL KREŞ	BAŞLANGIÇ TARİHİ	: 11/26/2022	Sondaj No : SK-3 / Sayfa No: 1
KONUMU	:	Duşny	BİTİŞ TARİHİ	: 11/26/2022	
DERİNLİĞİ	:	30	MAKİNE TİPİ	: Paletli TSM-750	YASS Durumu: / Tarih: 11/28/2022 / Derinlik: 4.00
KOTU	:	1172.00	SONDÖR	: Hayrettin OCAKLI	
KOORDİNAT LARI	X :	642739.26	LOGU HAZIRLAYANLAR (İsim, Ünvan, İmza)		İmza
	Y :	4479468.33	SONDAJ MÜH.	: Jeo. Müh. Levent Çevik	
			PROJE MÜH.	:	

Derinlik m.	YASS	Boşluk çap ve kesici uç cinsi	Muhafaza Borusu	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Bar	1. 5 dk.	2. 5 dk.	Toplam kayıp	Lugeon	Basınçsız Su: Su kaybı l	K cm/s	SPT Darbe Sayısı: 1. 15 cm'lik	2. 15 cm'lik	3. 15 cm'lik	Ilerleme İstikrarı	RQD %	Çatlak Sıklığı	Ayrışma	İnfiltrasyon Kesiti	Tanımlama
1	YASS : 4.00 m	Wire-Line Sistem NQ (76 mm. Empresiye Elmas ve İçTüplü Karotiyer)		Gri renkli su devirdaim %100						44	8,77x10-3									0,00-7,00 m. Yamaç Molozu Köşeli ve boyutları 1-10 cm. arasında değişen kireçtaşı çakılları içeren,killi ve yer yer silt ve kum içeren Yamaç Molozu.
2																25	0			
3										145	1,45x10-2									
4																25	0			
5										255	1,69x10-2									
6																20	0			
7										285	1,42x10-2									
8																30	0			7,00-30,00 m. Kumlu Kireçtaşı Koyu gri renkli,kırıklı,yer yer az kırıklı.Dayanımı orta-yüksek Kumlu kireçtaşı.
9					2 4 2	25 37 22	28 35 18	53 72 40	84											
10																100	55	10-50	W1	
11					2 4 6 4 2	9 14 25 18 12	11 17 23 15 8	20 31 48 33 20	172											
12																100	45	> 50	W1	
13					2 4 6 4 2	6 12 18 13 8	9 14 16 10 5	15 26 34 23 13	164											
14																100	90	10-50	W1	
15					2 4 6 4 2	8 13 18 14 9	11 15 16 13 7	19 28 34 27 16	244											
16																100	20	> 50	W1 -W3	

Geçirimlilik (Lugeon)	Kaya Niteliği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 İyi	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok İyi	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

GÜMÜŞHANE HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI SONDAJ LOGU

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON				**PROJE : HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI**				**İL: GÜMÜŞHANE**	
YERİ	:	SAG SAHİL KRET	**BAŞLANGIÇ TARİHİ**	:	11/25/2022	**Sondaj No : SK-3**		**Sayfa No: 2**	
KONUMU	:	Düşey	**BİTİŞ TARIHI**	:	11/26/2022				
DERİNLİĞİ	:	30	**MAKİNE TİPİ**	:	Paletli TSM-750	**YASS Durumu:**		**Tarih**	**Derinlik**
KOTU	:	1172.00	**SONDÖR**	:	Hayrettin OCAKLI			11/28/2022	4.00
KOORDİNATLARI	**X** :	542778.36	**LOGU HAZIRLAYANLAR (İsim, Unvan, İmza)**			İmza			
	Y :	4478468.33	**SONDAJ MÜH.**	:	Jeo. Müh. Levent Çevik				
			PROJE MÜH.	:					

Derinlik	YASS	Kuyu çapı uç ve kesici	Muhafaza Borusu	Sondaj suyu ren	Basınçlı Su Deneyi: Basınç	1. Kademe	2. Kademe	Toplam kayıp	Lugeon	Basınçsız Su: Su		SPT Darbe Sayısı: 1. 15	2. 15	3. 15	50		RQD %	Çatlak Sıklığı		Jeolojik Kesit	Tanımlama
17	YASS : 4.00 m	Wire-Line Sistem NQ (76 mm. Empreneye Elmas ve İçTüplü Karotiyer)		Koyu gri renkli,yer yer gri renkli su devirdaim %100	2	9	12	21								100	82	10-50	W1		
					4	14	15	29													
					6	19	21	40													
18					4	17	14	31								50	10	> 50	W1-W5		
					2	10	7	17													
19					2	3	5	8													
					4	7	7	14													
					6	11	9	20													
20					4	6	4	10								100	82	10-50	W1		
					2	2	2	4													
21					2	2	2	4													
					4	3	4	7													
					6	5	5	1													
22					8	9	6	0													
					6	4	3	1													
					4	2	1	5													
					2	1	0	7													
								3													
								1													
23					2	1	1	2								100	95	3-10	W1		
					4	2	1	3													
					6	2	2	4													**7,00-30,00 m.**
24					8	3	1	4													**Kumlu**
					6	1	0	1													**Kireçtaşı**
					4	1	0	1													Koyu gri renkli,kırıklı,yer yer az kırıklı.Dayanımı orta- yüksek Kumlu kireçtaşı.
					2	1	0	1													
25					2	2	1	3								100	95	3-10	W1		
					4	1	1	2													
					6	2	2	4													
26					8	4	3	7													
					6	2	1	3													
					4	1	0	1													
					2	0	1	1													

27					2	2	1	3							100	96	3-10	W1			
					4	1	2	3													
					6	3	2	5													
					8	3	3	6													
28					6	2	2	4													
					4	1	1	2													
					2	1	1	2													
29					2	3	3	6													
					4	2	2	4													
					6	3	3	6													
30					8	3	4	7													
					6	5	4	9													
					4	3	2	5													
					2	1	1	2							100	98	1-3	W1			

KUYU TABANI:30,00 m.

Geçirimlilik (Lugeon)	Kaya Niteliği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 Iyi	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok Iyi	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON					İL: GÜMÜŞHANE
YERİ	: REZARVUAR ALANI	BAŞLANGIÇ TARİHİ	: 11/23/2022		
KONU	: Düşey	BİTİŞ TARİHİ	: 11/24/2022	Sondaj No : SK-4	Sayfa No: 1
DERİN	: 22		Paletli TSM-		
KÖTÜ	: 1171.00	SONDÖR	: Hayrettin	YASS Durumu:	Tarih 11/28/202 / Derinlik 3.00
KOOR X	: 542287.841			İmza	
DİNAT Y	: 4478233.68				
			Jeo. Müh. Levent		

Derinlik	YASS	Kuyu çapı ve Muhafaza Borusu	Sondaj sıvısı	Basınçlı Su Deneyi Ped.	1. Çevrim	2. Çevrim	Toplam	Lugeon	Basınçsız Su Kayıbı	SPT Darbe Sayısı 1. 15	2. 15	3. 15	50		RQD %			Tanımlama
	YASS -3.00 m								192 3,83x10-2									
									285 2,84x10-2									
									327 2,14x10-2									
6		Wire-Line Sistem HQ (89 mm. Emprenye Elmas ve İçTüplü Karotiyer)	Açık gri renkli su devirdaim %100						365 1,82x10-2									
									265 1,05x10-2									
									188 6,25x10-3									
									122 3,47x10-3								W3-W4	**0,00-14,00 m.** **Alüvyon** Kumlu çakıllı az oranda bloklu Alüvyon.
																	W2-W4	**14,00-22,00 m.**

Geçirimlilik	Kaya Nitelği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 Iyı	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok Iyı	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

GÜMÜŞHANE HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI SONDAJ LOGU

DSİ 22. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ/TRABZON				**PROJE : HARŞİT YERALTI DEPOLAMASI**				**İL: GÜMÜŞHANE**	
YERİ	:	REZARVUAR ALANI	**BAŞLANGIÇ TARİHİ**	:	11/23/2022	**Sondaj No : SK-4**		**Sayfa No: 2**	
KONUMU	:	Düşey	**BİTİŞ TARİHİ**	:	11/24/2022				
DERİNLİĞİ	:	22	**MAKİNE TİPİ**	:	Paletli TSM-750	**YASS Durumu:**		**Tarih**	**Derinlik**
KOTU	:	1171.00	**SONDOR**	:	Hayrettin OCAKLI			11/28/2022	3.00
KOORDİNATLARI	**X** :	542287.841	**LOGU HAZIRLAYANLAR (İsim, Unvan, İmza)**			İmza			
	Y :	4478233.68	**SONDAJ MÜH.**	:	Jeo. Müh. Levent Çevik				
			PROJE MÜH.	:					

Derinlik m.	YASS	Kuyu çapı ve kesici cinsi	Muhafaza	Sondaj suyu	Basınçlı Su Deneyi: Bar	1. 5 dk	2. 5 dk	Toplam kayıp	Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı lt	SPT Darbe Sayısı: 1. 15 cm	2. 15 cm	3. 15 cm	50 darbedeki		RQD %			Jeoloji	Tanımlama
17	YASS : 3.00 m	Wire-Line Sistem HQ (89 mm. Emprenye Elmas ve İçTüplü Kar		Gri yer yer kirli beyaz renkli Su devirdaim %100																
18															50	15	> 50	W1-W3		
19																				**14,00-22,00 m.** **Granit** Gri renkli,ayrışma derecesi orta,kırıklı ve kırık yüzeyleri kumlu Granit.
20															50	15	> 50	W1-W3		
21																				
22															50	22	> 50	W1-W3		

KUYU TABANI:22,00 m.

Geçirimlilik (Lugeon)	Kaya Niteliği % RQD	Çatlak Sıklığı	Ayrışma Derecesi (W)
< 1 Geçirimsiz	0-25 Çok Zayıf	< 1 Masif	W1 Taze (Ayrışmamış)
1-5 Az Geçirimli	25-50 Zayıf	1-3 Az Çatlaklı-Kırıklı	W2 Az Ayrışmış
5-25 Geçirimli	50-75 Orta	3-10 Kırıklı	W3 Orta Derecede Ayrışmış
> 25 Çok Geçirimli	75-90 Iyı	10-50 Çok Çatlaklı Kırıklı	W4 Çok Ayrışmış
	90-100 Çok Iyı	> 50 Parçalanmış	W5 Tamamen Ayrışmış

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul ve lise eğitimini tamamladıktan sonra 2015 yılında Banadir Üniversitesi Mühendislik Jeoloji ve Çevre Mühendisliği lisans eğitimine başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2021 yılı itibariyle Gümüşhane Üniversitesi Türkçe ve Yabancı Dil Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TÖMER) Türkçe eğitimine başladı. 2022 yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir.