T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI SUYU ARAŞTIRMALARINDA JEOFİZİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI: SULTAN SAZLIĞI-DEVELİ BÖLGESİ ÖRNEĞİ

ZOHREH GHARAKHANİ

DOKTORA TEZİ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA

EDİRNE-2024

Zohreh Gharakhani'nin hazırladığı "**Yeraltı Suyu Araştırmalarında Jeofizik Özdirenç Yönteminin Uygulanması: Sultan Sazlığı-Develi Bölgesi Örneği**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı Anabilim Dalında bir **Doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):	İmza
Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA	……
Prof.Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ	……
Prof. Dr. Fikret IŞIK	……
Doç. Dr. Nimet NAZIM	……
Dr. Öğr. Üyesi OZAN DENİZ	……

Tez Savunma Tarihi: 08 / 01 / 2024

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA
Tez Danışmanı …….

Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA
İkinci Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Özlem ÇETİN ERDOĞAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI DOKTORA PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

08 / 01 / 2024

Zohreh Gharakhani

İmza

Doktora Tezi

Yeraltı Suyu Araştırmalarında Jeofizik Özdirenç Yönteminin Uygulanması: Sultan Sazlığı-Develi Bölgesi Örneği

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Yeraltı suyu çalışmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılmasının ana nedeni, yeraltı suyunu taşıyan jeolojik yapının (akifer) derinliği ve kalınlığı belirleyerek gereksiz su sondajını engellemek ve yeraltı suyu üretimiyle ilişkili sondaj maliyetini düşürmektir. Jeofizik yöntemler, genellikle zamandan ve maliyetten tasarruf sağladıkları için yeraltı suyu araştırmalarında başarıyla kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında Develi Kapalı Havzası (Kayseri)'nda yer alan Sultan Sazlığı Sulak Alanı'nda yeraltı suların jeofizik özdirenç yöntemi ile araştırılmış ve bu bağlamda Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 2009 yılında düşey elektrik sondajı (DES) tekniğiyle 98 noktada ölçü alınmıştır. Bu tez çalışmasında ilk önce DSİ tarafından ölçülen veriler bir boyutlu yer (1-B) varsayılarak IPI2win programı kullanarak ters çözümü yapılmıştır. Daha sonra 1-B profiller üzerine denk gelen DES verilerine iki boyutlu (2-B) ters çözümü yapılmıştır. Bu tez çalışmasında Uchida ve Murakami (1990) ve Ulugergerli (2017) şeklinde iki algoritma kullanılarak ters çözüm sonuçları elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, su içeren yeraltı yapılarının haritalanmasının yanı sıra, bölgedeki örtülü fayların izlerini ve yeraltındaki biçimlerini görüntülemeye de yardımcı olmuştur. Sultan Sazlığı sulak alanındaki bu uygulama ile araştırma alanın hem jeoloji hem de hidrojeolojik yapısına katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Yıl : 2024

Sayfa Sayısı :173

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Suyu, Jeofizik, Elektrik Özdirenç Yöntemi, DES, 2-B Ters Çözüm, Develi Kapalı Havzası, Sultan Sazlığı Sulak Alanı.

PhD Thesis

Implementation of Geophysical Resistivity Method in Groundwater Investigations: Case of Sultan Sazlığı-Develi Region

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Applied Science and Technology

ABSTRACT

Main reason for using geophysical methods in groundwater studies is to prevent unnecessary water drilling by determining depth and thickness of geological structure (aquifer) which holds groundwater, and to reduce the drilling cost related to groundwater production. Geophysical methods have been used successfully in groundwater investigations since they economized from time and cost, in general. In this context, also in our country, geophysical investigations for ground water exploration purpose which started with DSI (State Hydraulic Works) have lately accelerated by contributions of universities and private institutions, as well.

In this thesis study, ground water in wetland area of Sultan Sazlığı where is located in Develi Closed Basin was investigated through geophysical resistivity method and in this context, measurements were made at 98 points by DSI via technique of vertical electrical sounding (drilling) in 2009. In the study, firstly, we evaluated inversion of data measured by DSI, as 1-D through IPI2win programme, on seven profiles. Later, same profiles were applied to 1-D DES data via 2-D inversion technique, 2-D inversion of each profile was obtained. In this study, Uchida and Murakami (1990) and Ulugergerli (2017) two algorithm was used and 2-D inversion technique datas were obtained.

In inversion, 2-D inversion algorithm based on least squares method was used. With this application/implementation, we tried to make 2-D contribution to both geological and hydrogeological structure of research (investigation) field in wetland area of Sultan Sazlığı.

Year : 2024

Number of Page(s): 173

Key Words: Ground water, Geophysics, Electrical Resistivity Method, DES Data, 2-B Inversion, Develi Closed Basin, Wetland Area of Sultan Sazlığı.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitim süresince çalışmalarımda her zaman yanımda olan, tecrübe ve bilgisiyle beni aydınlatan, her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen, danışmanım, hürmetli hocam Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA'ya minnettarlığımı arz ederim.

Doktora eğitimim sırasında benimle konusuyla ilgili bilgisini paylaşan, bana zaman ayıran ve emeğini üzerimden eksik etmeyen danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Görüşlerini benimle paylaşan, desteklerini esirgemeyen, analitik bakış açısının önemine dikkat çekerek yol gösteren, bilgi ve birikimiyle yanımda olan, yaptığı katkılarla tezimi farklı boyutlara taşıyan, jeofizik yöntemlerin ters çözüm uygulanmasında bilgisi ve tecrübesini aktaran Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ yardımlarından dolayı çok minnettarım.

Tez çalışması kapsamında gerekli bilgi ve önerilerini sunan tez izleme komitesi üyeleri hocalarım Prof. Dr. Fikret IŞIK ve Doç. Dr. Nimet NAZIM'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışması kapsamında saha verisi sağlama aşamasında büyük katkısı olan T.C. DSİ 12. Bölge Müdürlüğü'nden Sondaj Şube müdürü jeofizik müh. Özgür YALÇINDAĞ'a iş ahlakı, yardımseverliği ve tevazusu sebebiyle şükranlarımı bildiririm.

Çalışmamın okunması ve gerekli düzeltmelerin yapılması noktasında yardımcı olan Nevşehir Hacı Bektaşı Veli Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Erdem AKIN ve Dr. Ebru KILIÇ'a müteşekkirim.

Eğitim hayatım süresince desteğini gördüğüm, akademik hayatımın her aşamasında varlığından yakından hissettiğim babama en içten kalbimle teşekkür ederim.

Ayrıca doktora yapmamda en büyük katkı sahibi olan her zaman yanımda olan sevgili eşim Doç. Dr. İlgar BAHARLU'ya minnettarlığımı sunarım.

Aynı zamanda bu süreçte zaman zaman vaktinden çaldığım ve ihmal ettiğim biricik oğlum ARAZ'dan özür dileyerek bu vesileyle kendisini çok sevdiğimi belirtmek isterim. Güzellikten yana her şey senin için…

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vii
İÇİNDEKİLER viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xv
BÖLÜM 1 1
1.1. Araştırmanın Arka Planı ve Gerekçesi 1
1.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi 2
1.3. Yöntem Özeti 3
1.4. Tezin Yapısı 4
1.5. Kavramlar ve Tanımlar 5
1.5.1. Yeraltı Suyu ve Akifer 5
1.5.2. Akifer Türleri 8
1.5.3. Akiferlerin Basınç Sınıflandırılması 9
1.5.4. Türkiye'nin Yeraltı Su Potansiyeli 9
BÖLÜM 2 12
2.1. Sultan Sazlığı 12
2.2. Sultan Sazlığı Havzasının Özellikleri 14
2.3. Sultan Sazlığı Alanı'nın Jeolojisi 16
2.4. Develi Kapalı Havzası'nın Hidrojeolojisi 17
BÖLÜM 3 19
3.1. Jeofizik Uygulamalarla Yeraltı Suyu Araştırmaları 19
BÖLÜM 4 28
4.1. Kayaçların Elektrik Özellikleri 28
4.1.1. Kayaç Özdirencini Etkileyen Koşullar 29
4.1.2. Kayaçların Elektrik Özdirenç Değerleri 29
4.1.3. Su Taşıyan Kayaçlarda İletkenlik Özellikleri 30
4.2. Doğru Akım Elektrik Özdirenç Yöntemi 32

4.2.1. Yarı Sonsuz ve Homojen Bir Ortamın Potansiyel Dağılımı 33
4.3. Görünür Özdirenç Kavramı 35
4.4. Elektrot Dizilimleri 35
4.4.1. Schlumberger Elektrot Dizilimi 37
4.5. DES Ölçümleri Veri Hazırlama ve Veri Sunumu 37
4.5.1. Düşey Elektrik Sondaj (DES) Ölçüsü 37
4.5.2. Düşey Elektrik Sondaj (DES) Alan Çalışmalarında 39
4.5.3. Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve Görünür Özdirenç (GÖ) Eğrisi 40
4.6. Jeofizik Verileri ve Yorumun İlkeleri 41
4.6.1. Düz-Çözüm (Forward Modeling) 42
4.6.2. Ters Çözüm (Inverse Modeling) 43
4.6.3. Profil boyunca Ölçümler 45
4.7. Düşey Elektrik Verilerinin Sunum Şekilleri 46
4.8. DES Verilerinin Ters Çözümü Teorisi 49
4.8.1. Uchida ve Murakami (1990) İki Boyutlu Ters Çözümü 49
4.8.2. Hesaplama Ağı, Model Ağı ve Özdirenç Blokları 53
4.8.3. Program Akışı 56
4.8.4. Ulugergerli (2017) İki Boyutlu Ters Çözümü 58
BÖLÜM 5 61
5.1. Jeofizik Araştırma 61
5.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar 62
5.3. Jeofizik Ölçü Noktalarının Planlanması 63
5.4. DES Verilerinin İncelenmesi 63
5.4.1. Profil 6'nın Değerlendirilmesi 64
5.6. 2-B Ters Çözümüyle Elde Edilen Profiller ve Yorumları 73
5.6.1. Profil 1 için 2-B Ters Çözüm Yorumu 73
5.6.2. Profil 2 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu 75
5.6.3. Profil 3 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu 80
5.6.4. Profil 4 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu 84
5.6.5. Profil 5 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu 87
5.6.6. Profil 6 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu 89
5.6.7. Profil 7 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu 91
5.7. Yatay Kesit Haritası (Contour Map) 94
5.8. Profiller Üzerinde Bulunan Sondajların Litolojisi 96

5.8.1. Profil 2 Üzerinde Bulunan Sondajlar 96
5.8.2. Profil 3 üzerinde bulunan Sondajlar 100
TARTIŞMA VE SONUÇ 107
KAYNAKLAR 109
EKLER 118
EK-1: Türkiye'nin Yeraltı Suyu ve Toprak Nemi (Nasa'ya Göre) 118
EK-2: Çalışma Alanı 119
EK-3: Çalışma Alanın Topoğrafyası 120
EK-4: Develi Kapalı Havzasının Haritası (Yıldız, 2007). 121
EK-5: Kayseri İlinin Genel Jeolojik Haritası (MTA ,2022) 122
EK-6: Develi Kapalı Havzası'nın Jeoloji Haritası (MTA, URL-5) 123
EK-7: Türkiye'nin Genel Akifer Gösterimi (Apaydın, 2011). 124
EK-8: Sultan Sazlığı Hidrojeoloji Haritası (DSİ, 1970) 125
EK-9: Modelleme ve Maxwell Denklemleri 126
EK-10: Çalışma Alanın Harita Üzerinde Ölçü Noktaları 130
EK-11: Tüm DES'lerin Arazi Ölçüleri 131
EK-12: Profil 1'in 2-B Ters Çözüm Sonuçları 145
EK-13: Profil 2'nin 2-B Ters Çözüm Sonuçları 146
EK-14: Profil 3'ün 2-B Ters Çözüm Sonuçları 149
EK-15: Profil 4'ün 2-B Ters Çözüm Sonuçları 152
EK-16: Profil 5'in 2-B Ters Çözüm Sonuçları 154
EK-17: Profil 6'nın 2-B Ters Çözüm Sonuçları 155
EK-18: Profil 7'nin 2-B Ters Çözüm Sonuçları 156
EK-19: DSİ İzin Belgesi 157
ÖZGEÇMİŞ 158

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
A	Akımın Geçtiği Alan
I	Akım
V	Gerilim
R	Direnç
J	Elektrik Akım Yoğunluğu
ΔV	Gerilim Elektrotları Arasındaki Gerilim Farkı
ρ	Elektrik Özdirenç
ρ_a	Görünür Özdirenç
σ	Elektrik İletkenlik
ε	Geçirgenlik
ε^*	Di-elektrik Sabiti
E	Elektrik Alan
D	Elektrik Yer Değişimi
L	Akım Doğrultusunda Uzaklık
K	Geometrik Faktör
AB/2	Akım Elektrotları Arası Uzaklık
MN	Potansiyel Elektrotları Arası Uzaklık
k_y	Fourier Değişkeni
P_i	2-B Bir Modelin Parametreleri
x_i	Parametrelerin Logaritması
ρ_{aj}	Ölçülen Görünür Özdirenç Verileri

y_j^0	Ölçülen Veri
y_j^c	Hesaplanan Veri
E	Hata Enerjisi
λ	Sönümlü Faktörü
α_i	Yuvarlama veya Yumuşatma Faktörü

Kısatmalar	**Açıklamalar**
1-B	Bir Boyutlu
2-B	İki Boyutlu
3-B	Üç Boyutlu
DAÖ	Doğru Akım Özdirenç
DES	Düşey Elektrik Sondaj
DKH	Develi Kapalı Havzası
DSİ	Devlet Su İşleri Genel müdürlüğü
ERT	Elektriksel Özdirenç Tomografisi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SSSA	Sultan Sazlık Sulak Alanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Hidrolojik çevrimdeki su dağılımı 2
Şekil 1. 2. Çalışma alanı ve ölçüm noktaları 5
Şekil 1. 3. Yeraltı suyunun düşey yönde dağılımı 6
Şekil 1. 4. Yeraltı ve yüzey suyun şematik gösterimi 7
Şekil 1. 5. Yeraltı sularını şematik serbest ve basınçlı akiferini göstermesi..... 8
Şekil 2. 1. Sultan Sazlığı'nın coğrafi konumu 12
Şekil 2. 2. Çalışma alanı ve yakın çevresinin fiziksel haritası 13
Şekil 2. 3. Sultan Sazlığı Sulak Alanı 14
Şekil 2. 4. Sazlıklar ve Göller arasında su akış gösterimi 16
Şekil 4. 1. Yeraltı materyallerin özdirenç gösterimi 32
Şekil 4. 2. Homojen yer içinde elektrik ve voltaj hatlarının düşey yönde dağılımı..... 33
Şekil 4. 3. Akım ve gerilim arasındaki uzaklık 35
Şekil 4. 4. Elektrotların sinyal genliğine göre dizilimi 36
Şekil 4. 5. Schlumberger elektrot dizilim gösterimi 37
Şekil 4. 6. Yeryüzünde Schlumberger diziliminin şematik gösterimi. 38
Şekil 4. 7. Düşey elektrik sondaj eğrisi..... 39
Şekil 4. 8. DES 1 noktası için farklı MN değerleri ile elde edilen eğriler (işaretler) ve ilk MN eğrisine kaydırma sonrası görünümü (sürekli çizgiler) 40
Şekil 4. 9. Schlumberger elektrot dizilimi için DES eğrisi..... 41
Şekil 4. 10. Jeofizik çalışmaları için akış şeması 42
Şekil 4. 11. 1-B iletkenlik modeli, 2-B iletkenlik modeli, 3-B iletkenlik modeli 43
Şekil 4. 12. Nicel yorumlamanın akış şeması 44
Şekil 4. 13. IPI2win ters çözümü sonucu, bir sondaj eğrisinin değerlendirmesi..... 45
Şekil 4. 14. Profil boyunca alınan DES verilerinin 2-B ters çözümünden elde edilen kesit 46
Şekil 4. 15. Profil 1 için yapma kesit ((Pseudo- section) haritası ve yer elektrik kesiti (cross section)..... 47
Şekil 4. 16. AB/2 seviyeleri için görünür özdirenç haritaları (contour map) 48
Şekil 4. 17. Yer elektrik kesiti 48
Şekil 4. 18. Model ve hesaplama ağı 53
Şekil 4. 19. 2-B Schlumberger ters çözüm programının akış diyagramı..... 57
Şekil 5. 1. Develi Kapalı Havzasının haritası 62
Şekil 5. 2. Çalışma alanının harita üzerinde konumu 63
Şekil 5. 3. DES-85 için düşey elektrik sondaj eğrisi..... 67
Şekil 5. 4. DES-86 için düşey elektrik sondaj eğrisi..... 68
Şekil 5. 5. DES-87 için düşey elektrik sondaj eğrisi..... 69
Şekil 5. 6. DES-87 için düşey elektrik sondaj eğrisi..... 70
Şekil 5. 7. DES-89 için düşey elektrik sondaj eğrisi..... 71

Şekil 5. 8. DES-90 için düşey elektrik sondaj eğrisi....72
Şekil 5. 9. Profil 6 için elde edilen yer elektrik kesiti....72
Şekil 5. 10. Profil 1 üzerinde bulunan ölçüm noktaları....73
Şekil 5. 11. a) Profil 1'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....74
Şekil 5. 12. Profil 1 üzeninde bulunan faylar....75
Şekil 5. 13. a) Profil 2'nin harita üzerinde konumu, b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonucu....76
Şekil 5. 14. Profil 2-a üzerinde bulunan ölçü noktaları....77
Şekil 5. 15. Profil 2-b üzerinde bulunan ölçü noktaları....78
Şekil 5. 16. a) Profil 2-a için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları b) Profil 2-b için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....79
Şekil 5. 17. Profil 2 üzeninde gösterilen faylar....79
Şekil 5. 18. a) Profil 3'nin harita üzerinde konumu, b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonucu....81
Şekil 5. 19. Profil 3-a üzerinde bulunan ölçü noktaları....81
Şekil 5. 20. Profil 3-b üzerinde bulunan ölçü noktaları....82
Şekil 5. 21. a) Profil 2-a için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları b) Profil 2-b için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....83
Şekil 5. 22. Profil 3 üzeninde gösterilen faylar....84
Şekil 5. 23. Profil 4 üzerinde bulunan ölçü noktaları....85
Şekil 5. 24. a) Profil 4'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....86
Şekil 5. 25. Profil 4 üzerinde gösterilen ölçü noktaları....87
Şekil 5. 26. Profil 5 üzerinde bulunan ölçü noktaları....87
Şekil 5. 27. a) Profil 5'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....88
Şekil 5. 28. Profil 6 üzerinde bulunan ölçü noktaları....89
Şekil 5. 29. a) Profil 6'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....90
Şekil 5. 30. Profil 6 üzerinde gösterilen faylar....91
Şekil 5. 31. Profil 6 üzerinde bulunan ölçü noktaları....92
Şekil 5. 32. a) Profil 7'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları....93
Şekil 5. 33. Profil 6 üzerinde gösterilen faylar....94
Şekil 5. 34. Üç farklı AB/2 seviyeler için yatay kesit haritası....95
Şekil 5. 35. Harita üzerinde çalışma alanının 3-B özdirenç dağılımı....95
Şekil 5. 36. Profil 2 Üzerinde Bulunan SK-1 ile SK-2....98
Şekil 5. 37. Profil 2 üzerinde (1-B olarak) bulunan sondajlar....99
Şekil 5. 38. Profil 2 (2-B olarak) üzerinde bulunan sondajların litolijisi....99
Şekil 5. 39. Profil 3 üzerinde bulun sondajların litolijisi....104
Şekil 5. 40. Profil 3 üzerinde bulunan sondajlar....105
Şekil 5. 41. Profil 3 üzerinde bulunan sondajlar....105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4. 1. Kaya ve zeminlerin iletkenlik ve di-elektrik sabit değerleri.....31
Çizelge 4. 2. DES verilerin 2-B modellemede kullanılan veri dosyası 54
Çizelge 4. 3. 2-B model ağı belirlenmesi için örnek veri 55
Çizelge 5. 1. Zeminlerin elektrik özdirençleri. 65
Çizelge 5. 2. Sultan Sazlığı Schlumberger DES istasyonlarındaki ham elektriksel özdirenç verilerinin değerleri (görünen özdirenç ve AB/2); DES-85 ve DES-86. 66
Çizelge 5. 3. SK-1 litolojik birimi 96
Çizelge 5. 4. SK-2 sondaj kuyusunun litolojik birimleri 97
Çizelge 5. 5. SK-3 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....100
Çizelge 5. 6. SK-4 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....100
Çizelge 5. 7. SK-5 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....101
Çizelge 5. 8. SK-6 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....101
Çizelge 5. 9. SK-7 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....101
Çizelge 5. 10. SK-8 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....102
Çizelge 5. 11. SK-9 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....103
Çizelge 5. 12. SK-10 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri.....103

BÖLÜM 1

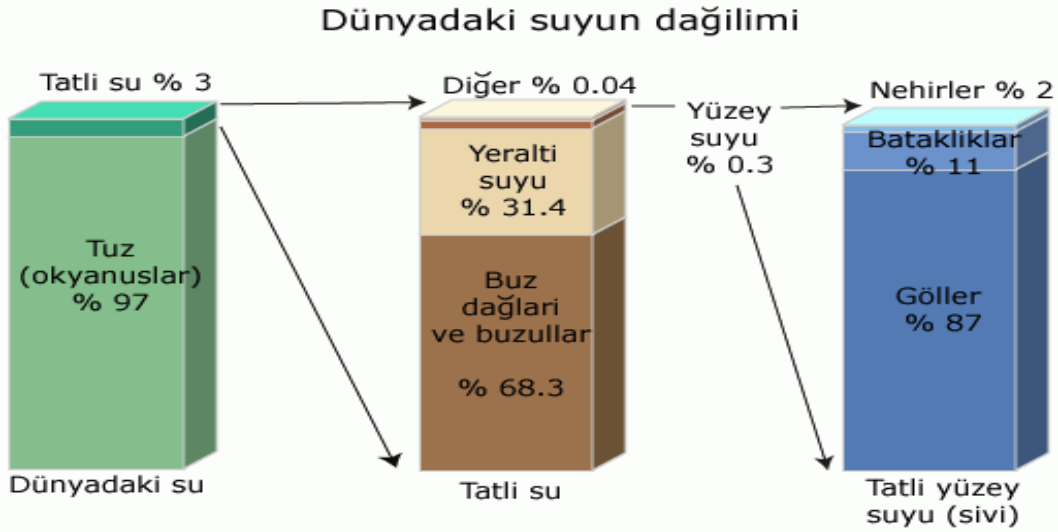
GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Arka Planı ve Gerekçesi

Dünyanın %71'i sularla kaplı ve yaklaşık 1,4 milyar km³ olduğu tahmin edilmekte, okyanuslar, denizler, yeraltı suyu ve yüzey suyu (göller ve akarsular gibi) olarak sıvı ve buzullarda donmuş halde bulunmaktadır. Bunların %97'si tuzlu su ve %3 ise tatlı sudur (Şekil 1.1). Tatlı suyun %68,3'nun Antarktika ve Grönland'da buzul ve kar şeklinde bulunması sebebiyle insan yaşamsal faaliyetlerinde kullanılması mümkün değildir. Toplam tatlı suyun yalnızca %0,04'ü nehirler, göller gibi yüzey suyu şeklinde bulunmakta olup %31,4'ü ise yeraltı suyunu teşkil eder (White, 1993; Yolcubal, 2008 (URL-1)).

Su yaşamın temel öğelerinden biridir. Temiz suya erişim yaşamın temel hakkıdır. Ancak iklimsel olarak yüzey suyunun Dünya'daki dağılımı düzenli olmadığından her yerde göl ve akarsu bulunmamaktadır. Ayrıca yüzey suları insan faaliyetlerine bağlı olarak kirliliğe maruz kalabilmekte ve bu nedenle bazen güvenilir bir su kaynağı olarak kullanılması mümkün olamamaktadır. Dolayısı ile insan faaliyetlerinde kullanmak amacı ile en temiz ve en yaygın kullanılan su kaynağı yeraltı sularıdır.

Dünyada yeraltı sularının %65'i tarımsal amaçlar için kullanılırken %25'i içme ve kullanma suyu ve %10'u ise endüstriyel ihtiyacı karşılama amaçlı kullanılmaktadır (Gökkür, 2016). Türkiye'de ise 2007 yılı itibarıyla yeraltı sularının %55'i tarımsal amaçlarla kullanılmakta olup bu oran gittikçe artış göstermektedir. Yeraltı suları özellikle yüzey suları kullanımının mümkün veya elverişli olmadığı yerlerde tercih edilmektedir.



Şekil 1. 1. Hidrolojik çevrimdeki su dağılımı (Gleick, 1993'ten değiştirilerek)

Ülkemizde yaşanan hızlı sosyoekonomik gelişimler, toplum yapısında oluşan farklılıklar, nüfus artışı etmenleri ve küresel iklim değişikliği gibi doğal faktörlerin sebeplerinden dolayı da yeraltı su kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır (Apaydın, 2011). Bu durum ise yeraltı sularını konu edinen bilimsel araştırmaları gerekli kılmaktadır.

Bu nedenle söz konusu bu tez çalışması, örnek alınan araştırma sahası başta olmak üzere benzer sahalara da jeofizik mühendisliğinin yeraltı suyu aramalarında uygulaması olarak, örnek olabilmesi üzerine kurgulanmıştır.

1.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Yeraltı suyunun tespiti ve kullanımı, geçmiş dönemlerden bu yana özellikle kurak bölgelerde yaşayan toplumlar için en temel gereksinimlerden biri olmuştur. Toplam yeraltı suyunun %62'si 800 m derinliğin altında olduğundan uygulamada erişilebilir değildir (Fitterman ve Stewart, 1986). Yeraltı suyu araştırılması ile ilgili veri sağlayan en doğru yöntem gözlem ve su ürerim kuyuları açmaktır. Fakat söz konusu bu işlemler, rastgele yapıldığında, doğru yerden ve doğru derinliğe kadar kuyu açma bilgi eksikliğinden, verimsiz ve pahalıdır. Jeofizik yöntemler ise doğru yerden doğru derinliğe kadar sondaj yapılmasını sağladığı için sondaj sayısını azaltması nedeniyle yeraltı suyu araştırmalarının (sondaj kuyusu) maliyetini büyük ölçüde azaltmaktadır. Jeofizik araştırmalar; düşük maliyetli, verimli ve daha kullanılışlı olmaları sebebi ile günümüzde yeraltı sularının nerede, hangi derinlikte ve hatta ne kalitede (tuzlu/tuzsuz) olduğu gibi

bazı temel soruların cevabının bulunması açısından gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında modern jeofizik yöntemlerin, ekonomik ve doğrudan sonuç odaklı olması gibi nedenlerle daha sık kullanılması zorunluluk gibi görünmektedir. Tez çalışmasının amacını ve özgün değerini de oluşturan söz konusu etken, su kaynaklarının başarılı bir şekilde yönetiminde esastır.

1.3. Yöntem Özeti

Jeofizik, jeolojik problemlerin anlaşılmasında ve çözümlenmesinde fizik ilkelerine dayanan yer bilimleri mühendislik dalıdır. Yeraltı suyu araştırmaları temelli jeofizik çalışmaları; genellikle yüzeyden birkaç yüz metrelik derinlik ile sınırlıdır. Jeofizik yöntemler kullanarak akiferlerin derinlik ve kalınlıklarının haritalanması, geçirimsiz tabaka veya sınırlayıcı birimlerin haritalanması, kırıklar ve fay zonları gibi tercihli su akış yollarının konumlandırılması ve tuzlu su girişimi ve yeraltı suyu kirlilik haritalanması gibi araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Bu araştırmalarda jeofizik yöntemlerden elektrik ve elektromanyetik ve sismik kırılma yöntemleri kullanılmaktadır (Kasidi, 2017). Yer elektrik yöntemlerden elektrik özdirenç yöntemi genel olarak yapısal, litolojik, hidrojeolojik ve karstik pek çok problemin çözümünde yaygın ve avantajlıdır (Mohamaden ve Ehab, 2017; Raju ve Reddy, 1998).

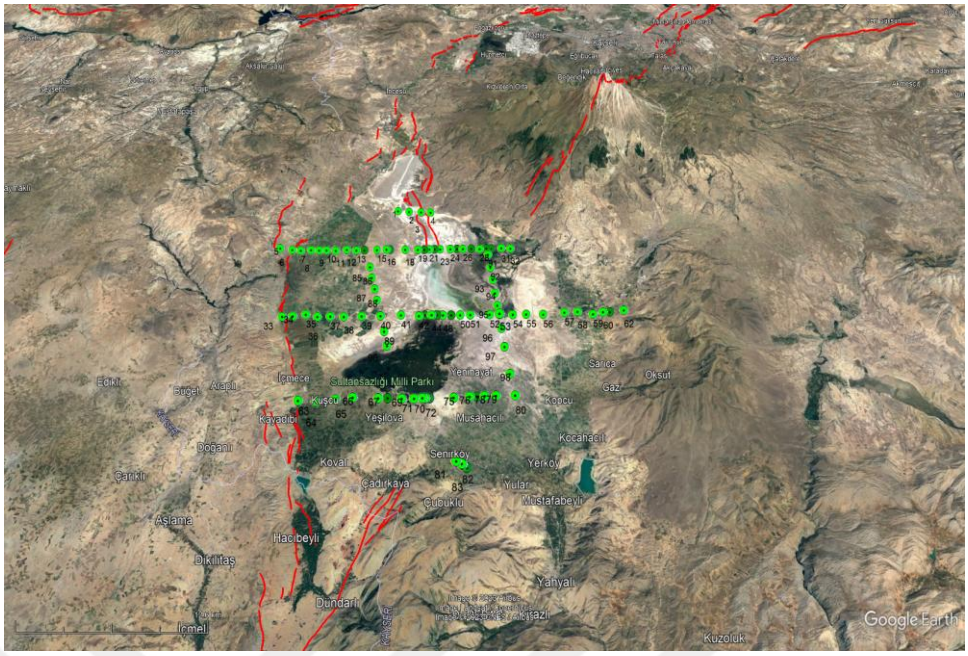
Jeofizik özdirenç yöntemi ile tabaka kalınlığı, gömülü vadiler, faylar, taban kaya derinliği ve topoğrafyası gibi konulara çözüm bulunabilir. Söz konusu jeofizik özdirenç yöntemi ile litolojik problemlerden olan tane çapı dağılımı, yanal geçişler, çatlak, kırık zonlar daha belirgin hale gelir. Aynı şeklide bu yöntemi uygulayarak hidrolojik problemlerde gözenekli tabakalar, su tablasının derinliği, tatlı-tuzlu su sınırının belirlenmesi başarıyla gerçekleştirilmektedir. Özdirenç çalışmaları sonucunda Karstik problemlerin karstifikasyonun tabanı, karstik zonlar, yeraltı mağara ve boşlukları çözülebilmektedir (Gelişli ve Babacan, 2021). Anlaşılacağı üzere, elektrik özdirenç yöntemi verimli ve ucuz olmasının yanı sıra akifer potansiyeli hakkında değerli bilgiler vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Netice itibarıyla yöntem olarak elektrik özdirenç uygulaması, söz konusu pratiklik, ekonomiklik ve işlevsellik olduğunda jeofizik disiplini içerisinde modern bir yaklaşım olarak dikkat çekmektedir.

1.4. Tezin Yapısı

Türkiye, yeraltı ve yüzey suları açısından su potansiyeli düşük - orta seviye ülkeler arasında olduğundan nüfus artışına bağlı olarak sanayi ve kentleşmenin artışı, iklim değişimleri ve onun soncundan çölleşeme gibi nedenler ile hem yüzey ve hem de yeraltı sularının azaldığı ve ciddi bir tehdit altında olduğu aşikârdır. Yüzey sularının hızla kirlenmesi yeraltı sularının araştırılmasını gündeme getirmiştir. Jeofizik doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi uygulanarak yeraltı su seviyesinin doğru tespiti, kazma, delme vb. işlemler gerçekleştirilmeden dolayısıyla doğal çevreye zarar vermeden gerçekleştirilir. Bu sayede gerçekleştirilmesi muhtemel sondaj sayısı azalırken doğru yerden sondaj açılabilir ve doğru derinliğe kadar yürütülerek akiferlerin tespiti başarıyla gerçekleştirilir. Ayıca yeraltı suyu akışının izlenmesi, yeraltı suyu yönetimi ve kirlilik kontrolü gibi konulara katkı sağlar.

Zengin biyolojik çeşitliğe sahip olan Sultan Sazlığı çalışma alanı; bozkır ekosistemiyle tuzlu ve tatlı suyu bir arada barındırır. Türkiye'nin zengin sulak alanlarından birisi olan Sultan Sazlık Sulak Alanı (SSSA), Avrupa ve Afrika arasında göçmen kuşların kullandığı ana göç yolu üzerinde, Develi-Yeşilhisar Ovası'nda geniş bir alanı kapsar. Çöl Gölü, Yay Gölü, Güney Sazlığı ve Kuzey Sazlıkları bu alan içerisindedir. Yay Gölü'nün güney ve kuzeyinde sırasıyla Güney ve Kepir Sazlıkları bulunur. SSSA'nın en kuzeyinde bulunan Çöl Gölü çok tuzlu, orta kısmında bulunan Yay Gölü ise yarı tuzludur.

SSSA'nın yeraltı suyu araştırılması, DSİ tarafından 2009 yılında DAÖ yöntemi ile düşey elektrik sondajı (DES) tekniğiyle 98 noktadan gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.2). Kırmızı çizgiler MTA diri kırık haritasından alınmış kırıkları (fayları) göstermektedir. Anılan yöntemle alınan ölçülerin değerlendirilmesi aşamasında bir boyutlu (1-B) ve iki boyutlu (2-B) yer modelleri ile değerlendirilmişidir. Seçilen yer modelleri ile araştırma sahasının jeolojisinin daha belirgin bir şekilde ortaya koyacağını öngörülmüştür. Bütün bu durum göz önüne alındığında tezin yapısı, DAÖ yöntemi üzerine kurgulanarak incelemeler 2-B ters çözüm üzerinden şekillendirilmiştir.



Şekil 1. 2. Çalışma alanı ve ölçüm noktaları

1.5. Kavramlar ve Tanımlar

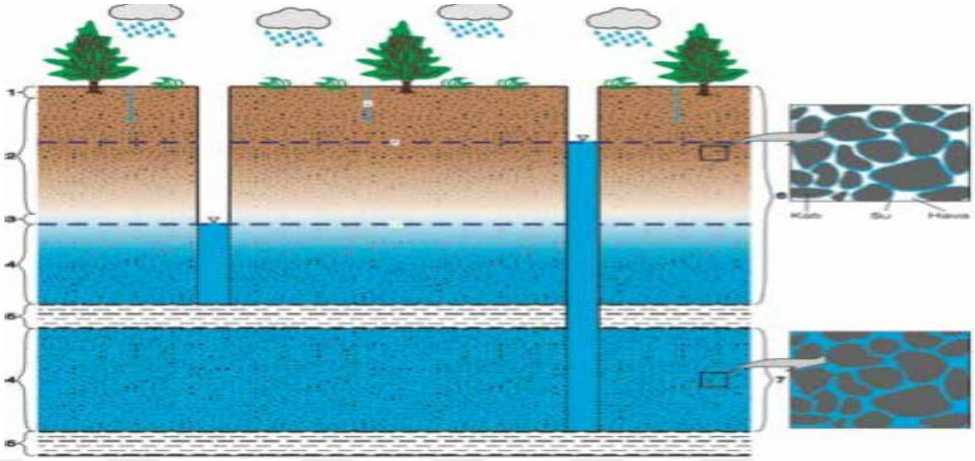
1.5.1. Yeraltı Suyu ve Akifer

Yeraltı suyu yeryüzünden düşen yağışların bir kısmının yeryüzünden yeraltına sızarak kırık çatlaklı (kireçtaşı) veya çeşitli gözeneklerde (kumtaşı, çakıltaşı) depolanarak kayaçların içerisinde boşlukları doldurmasıyla oluşur. Yerçekimi ile yeraltı suyunun aşağıya doğru hareketi sağlanmaktadır. Genel anlamda yeraltı suyu depolayan ve doğal hidrolik eğim altında iletebilen formasyonlara akifer denir (URL-2).

Akiferler, kullanışlı hacimlerde su depolayan ve ileten jeolojik katmanlar olarak tanımlanır iken diğer bir yandan küresel su döngüsü için oldukça önemlidir. Aynı zamanda akiferler hem suyu depolamasını ve hem de suyun hareketini sağlamaktadır. Akiferlerde suyun bulunabilmesi için gözenekli kayaçların yeryüzüyle bağlantısı olması gerekmektedir. Şekil 1.3'te de görüldüğü üzere ilk önce yeraltına sızan su toprak suyu bölgesinde depolanır. Toprak suyu bölgesi, yüzeyden itibaren bitki köklerinin ulaşabildiği derinliktir. Söz konusu sızan su miktarının artmasına bağlı olarak ve yerçekiminin etkisi ile düşey yöndeki vadoz bölgeye (doygun olmayan bölge) doğru hareket eder. Bu bölgede gözenekler ve boşluklar, hava ve su ile dolmaktadır.

Yeraltındaki boşlukları, eğer tamamen su ile dolu ise bu bölgeye doygun bölge denilmektedir. Serbest akiferlerde, su tablası doygun olmayan bölge ile doygun bölge

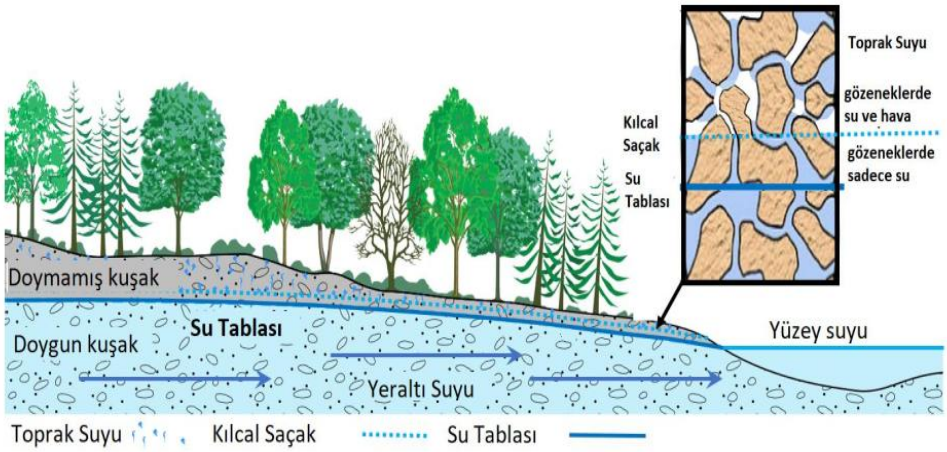
arasına denilir. Doygun bölgesinde bulunan yeraltı suyunun kaynağı doğal hidrolik eğim yönünün aracılığı ile yüzeye çıkabilmekte ve deniz, akarsu, göl vb.su kütlelerini besleyerek hidrolojik çevrime dahil edilmektedir (Mireç ve Çağırankaya, 2013).



Şekil 1. 3. Yeraltı suyunun düşey yönde dağılımı

1) Toprak suyu bölgesi, 2) Vadoz bölgesi, 3) Su tablası, 4) Doygun bölgesi, 5) Geçirilmez birim, 6) Serbest akifer, 7) Sınırlı akifer (Mireç ve Çağırankaya, 2013'ten değiştirerek).

Yeraltı suyunun yeryüzünden kayalara hareketi, boşlukların şekli ve boyutunun hidrolik özelliklerine bağlı olmalıdır. Su genel olarak çatlak, kırık ve diğer jeolojik yapılardan geçer ve belirli kayalardan kolayca yeraltındaki akiferlere akabilir. Jeolojik ortamda yeraltı sularını farklı depolayabilen çeşitli yapılar mevcuttur (Yıldırım, 2021). Yer altı suyu, yağışın yer yüzeyinden sızmasıyla ve yüzeyin altında her yerde belli bir derinlikte kavramsal bir yüzey olarak bulunan su tablasına süzülmesi sonucu meydana geldiği bilinmektedir. Yer altı suyun beslenmesi, kısa bir yağmur yağdığında olan sadece sığ bir derinliğe sızar, ancak uzun, hafif yağmurlar olayında daha derine sızar ve bazen su tablasına ulaşabilir. Bu durum ise su tablasının derinliğinin bölgeden bölgeye değişiklik göstermesine sebep olmaktadır. Bu çerçevede Poeter'e (2020) göre göller ve nehirlerdeki su yüzeyi, kara yüzeyinin göl veya nehrin kıyısıyla buluştuğu yerde su tablası haline gelir (2020). Yeraltı suyunun dağılımı iki farklı doymuş ve doymamış bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1. 4. Yeraltı ve yüzey suyun şematik gösterimi (USGS, 2019'dan değiştirerek).

Su tablasının altında çatlaklar ve gözenekler tamamıyla suyla doludur. Su tablasının üstünde gözenekler ve çatlaklar ise su ve hava karışımı ile doldurulur. Bitkilerin kökten yaprağa ulaşmasını sağlayan kuvvete **kılcal saçak kuvveti** denir. Bu kılcal kuvvetler, yerçekimi kuvvetinin tersine, toprak suyunu yukarı çekmektedir. Kılcal saçak üzerindeki bölge, "doymamış bölge" olarak adlandırılır. Doymamış bölge, topraktaki oksijen varlığından dolayı havalandırma bölgesi olarak da bilinir ve **vadoz bölgesi** olarak da adlandırılır. Kılcal saçak, kum yataklarındaki gibi büyük gözeneklerde su tablasının birkaç milimetre yukarısındadır. Kil yataklarında ise kılcal saçak, küçük gözeneklerde ve kayalardaki küçük çatlaklardan dolayı su tablasının birkaç metre yukarısına kadar uzanmaktadır. Kılcal saçak, yeraltı suyu bölgesi gibi suya doymuş olsa da suyun negatif basıncı nedeniyle doymamış bölgenin bir parçası kabul edilir ve bu sebeple vadoz bölge terimi, kılcal saçakları kapsamaktadır.

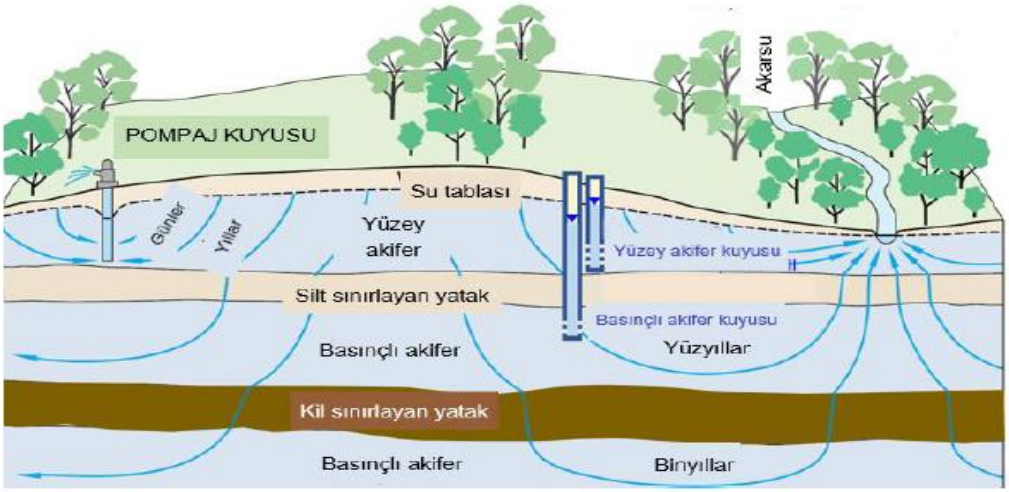
Toprak su haznesi, kılcal kuvvetlerle daha fazla su tutulamayacak kadar dolduğunda, yerçekimi nedeni ile fazla suyu aşağı çekerek su tablasına ulaştırmaktadır. Sızan yağış nedeni ile yeraltı suyu haznesi, takviye edildiği için bu sürece **yeraltı suyu beslenmesi** denir. Takviye edilen su, yavaş yavaş boşalma yerlerine doğru akarken yeraltı suyu sisteminde depolanabilir (Poeter vd., 2020). Su tablasının altında su, tortular arasındaki tüm boşluklar dolduğundan doymuş bölge bulunur. Su tablası seviyesi, bölgeye göre değiştiği gibi mevsimlere ve yıllara göre de değişmektedir. Örneğin yağışlı aylarda veya karın eridiği kış ve ilkbahar mevsimlerinde bu su tablası daha yükselmektedir.

Poeter'e (2020) göre, akifer kendisini çevreleyen jeolojik katmanlardan daha gözenekli ve geçirgendir. Su tablasının altındaki temiz bir kaba kum düzeyi, akifer için iyi bir örnektir. Sınırlayıcı birimler, Akiferler ve akiferlerden yeraltı suyu akışına engel teşkil eder. Kaba kum katmanları arasında düşük geçirgenliğe sahip bir kil katmanı veya çatlak bazalt katmanları arasında kırılmamış bazalt kaya katmanı sınırlayıcı birimlere örnek oluşturur.

1.5.2. Akifer Türleri

Yeraltı suyu kaynakları litolojik davranışa dayanarak genellikle üç farklı hidrolojik sisteme sınıflandırılmaktadır: akifer, akitard ve akiklüd. Jeolojik formasyona bağlı olan akiferlerin suyu depolayabileceği ve aynı suyu yeterli miktarda sağlayabileceği bilinmektedir. Bu sebepten dolayı önemli yeraltı suyu ve oldukça geçirimli ve gözenekli doymuş bir oluşumdur (konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, pekişmemiş kum, çakıllar, çatlaklı kireçtaşı, çatlaklı bazalt vb.).

Genelde silt ve kilden oluşan akitardlar, kısmen doymuş bir oluşumdur ve ayrıca su depolama kapasitesine sahip iken akifere kıyasla yetirince su kullanımı sağlamamaktadır (şeyl gibi). Akiklüd geçirimsiz bir katmandır; iri gözeneklere sahip olmasından dolayı büyük oranda su depolayabilmektedir fakat önemli miktarda su iletimini sağlamamaktadır (kil ve pomza taşı gibi) (Akhtar vd., 2020)



Şekil 1. 5. Yeraltı sularını şematik serbest ve basınçlı akiferini göstermesi

1.5.3. Akiferlerin Basınç Sınıflandırılması

Akiferlerin hidrolojik davranışı ve jeolojik özellikleri üç farklı akifer tipi ile sınıflandırmaktadır; serbest akifer, basınçlı akifer ve yarı basınçlı akiferler. Serbest akiferler, doymamış bölgede yüzeyle su tablası arasındadır, suyun havayla temas ettiği durumlarda atmosfer basıncını altında kalmaktadır. Basınçlı akifer ise serbest akiferin aksine, geçirimsiz kapalı basınçlı malzemelerin olması nedeniyle atmosferle temas halinde değildir. Basınçlı akiferlerde, doymuş bölgede yer alan çatlaklar ve gözenekler tamamen suyla doludur. Bu sebepten dolayı bir kuyu açıldığı zaman su basıncı atmosfer basıncına beraber olana kadar yükselir. Yarı basınçlı akifer ise sınırlı akifer gibi basınçlı akifer türüdür, ancak yüksek geçirgenliğe sahiptir (URL-3).

1.5.4. Türkiye'nin Yeraltı Su Potansiyeli

Yağış miktarı Türkiye'de yıllık ortalama 643 mm dir. Yağış miktarına karşılık gelen yağış tutarı miktarı ise yaklaşık olarak 500 milyar m³ suya gelmektedir. Yağışın 274 milyar m^3'ü çaylar, nehirler, ırmak ve denizler vasıtasıyla bitkilerden atmosfere buharlaşma yoluyla geri dönmektedir. Yağış nedeniyle toprağa düşen suyu miktarı 158 milyar m^3'ü irili ufaklı akarsu yoluyla denizlere ya da göllere taşınmaktadır. Yağışlardan geriye kalan 69 milyar m^3'ü ise yeraltı suyunu oluşturmaktadır. Yeraltı suyunun 28 milyar m^3'ü, kaynak suyu olarak pınarlar halinde yüzey sularına tekrar geri dönmektedir (Akın ve Akın, 2007).

Ülkeler yıllık kullanabileceği kişi başına düşen su miktarına göre sınıflandırmaktadır.

Söz konusu kullanılabilir su miktarı, 1000 m³'ten az ise ülke su fakiri olarak tanımlanır. Kullanılabilen su miktarı, 1000-2000 m³ ise su azlığı çeken ülkeler; kullanım miktarı 2000 m³'ten fazla ise su zengini ülkeler olarak nitelendirilirler. Eğer Türkiye'nin nüfusu 80 milyon kabul edilirse; su kullanım miktarı, kişi başına yaklaşık yıllık 1200 m³'tür. Bu durumda Türkiye su azlığı çeken ülkeler arasına girdiği görünmektedir. Yılmaz (2021)'a göre Türkiye gelecek yıllarda su fakiri ülkeler sınıfında yer almaması için su kaynaklarının yönetimi oldukça önem taşımaktadır.

Tatlı su kaynağı, en büyük orana sahip olan buzullardan sonra görünmeyen yeraltı suyudur ve bu suyun yöntemi gün geçtikçe önemli hale gelmektedir. NASA, 2021 yılında

yayınladığı yeraltı sularıyla ilgili haritalarda, Türkiye'deki yeraltı suları seviyesinin ciddi bir şekilde azaldığını göstermektedir (EK-1). Türkiye'de yağan yağışların yetersiz olması, yeraltı suyunun büyük oranda tarımda kullanılması sebebiyle yeraltı sularının önemi artmakta ve su kaynaklarının iyi yönetilmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2021). Ekonominin ve nüfusun hızla büyümesiyle birlikte yeraltı suyu kaynaklarını kullanma isteği de artmaktadır.

Yeraltı sularının tarımsal amaçlar için yoğun olarak kullanılması, Dünya genelinde ve Türkiye'de sulak alanların azalmasına ve daralmasına neden olmaktadır. Su kaynaklarının en büyük tüketicilerinden biri olduğu bilinen tarımsal sulama, özellikle geleneksel sulama yöntemleri ile gerçekleştirildiğinde suyun verimsiz kullanımını doğurur. Bu sebeple yeraltı su kaynaklarının tarımda kullanıldığında su kaynaklarının hızla tükendiği ve yeraltı su seviyelerinin düştüğü görülür.

Yine benzer şekilde tarımsal amaçlarla kuyuların açılması, yeraltı su seviyelerinin düşmesine sebep olarak su tablasının altına inen ve yenilenmesi zor olan yeraltı su kaynaklarının tükenmesine yol açar. Sulak alanların giderek azalması, yeraltı sularına yönelimi arttırdığından ekosistemlerin zarar görmesine neden olur. Bütün bu sebeplerden dolayı kontrolsüz kullanım ve yönetime dikkat çekilerek yeraltı su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetimi sağlanmalı, su kaynaklarının sürdürülebilirliği hedeflenmelidir. Genel anlamda, verimli sulama tekniklerinin teşviki, su tasarrufu bilincinin artırılması yeraltı su kaynaklarının korunması adına önemli uygulamalar olarak dikkat çeker.

Diğer yandan, yarı kurak bölgelerde sulak alanların durumu, özellikle yaz aylarında, belirgin bir şekilde farklılık gösterir. Bu bölgelerde sulak alanların mevsimsel olarak kurumasının başlıca sebepleri arasında ilk olarak yüksek buharlaşma oranları gelmektedir. Bu çerçevede yarı kurak bölgelerin genellikle yüksek sıcaklıklara ve düşük nem oranlarına sahip olması sebebiyle yüksek buharlaşma oranlarına maruz kaldığı bilinmektedir. Bu sebeple yaz aylarında artan sıcaklıklar, su yüzeylerinden buharlaşmayı hızlandırır. Azalan yağışlar ise sulak alanlarda su seviyelerinin düşmesine hatta tamamen kurumasına neden olurken yüzey akışları da giderek azalır. Tüm bu sebeplerin yanı sıra sulak alanların mevsimlere bağlı olarak kuruması doğal bir süreç olabilir.

Bu bağlamda çalışma alanı olan Sultan Sazlığı, Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olmasına karşın yeraltı su seviyesinin düşmesi konusunda dikkate değer

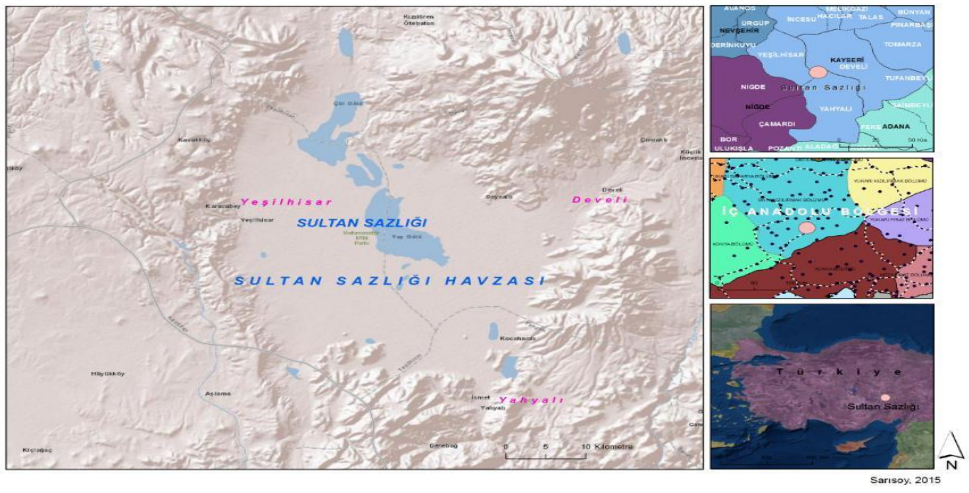
bir örnek olarak özellikle tarımsal kullanımın sebep olduğu hassas ekolojik alanlardandır. Bu tez çalışması, birçok bitki ve hayvan türü için yaşamsal öneme sahip habitatlardan biri olan Sultan Sazlığı'nda ekosistem sağlığının tekrar kurulması için sürdürülebilir su yönetimi, su döngüsü gibi konularda veri sağlanması amacıyla yeraltı suyunun incelenmesini konu edinmektedir.

BÖLÜM 2

ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

2.1. Sultan Sazlığı

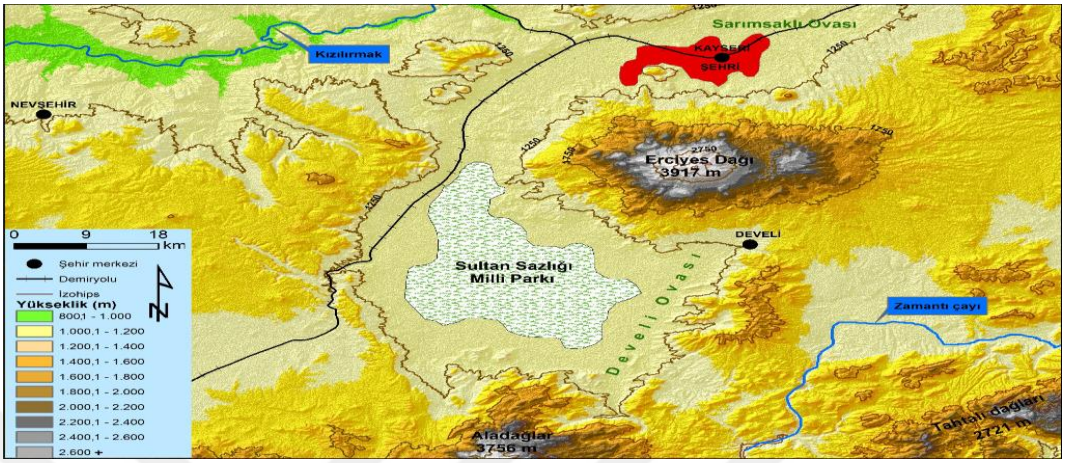
SSSA İç Anadolu Bölgesinde Kızılırmak Havzasının alt havzasından oluşan Develi Kapalı Havzasının (DKH) Kayseri ili sınırları içinde ve Erciyes Dağının güneybatısında yer almaktadır (Şekil 2.1). Develi Ovası tektonik bir çöküntü özelliğine sahiptir. Sultan Sazlığı doğudan Develi, güneyden Yahyalı, batıdan Yeşilhisar ve kuzeyden İncesu ilçeleri ile sınırlıdır. Develi Ovası'nın dört tarafı dağlarla çevrilidir ve düz bir ova ve ortalama ova eğimi %2'dir. Ova 93.726 hektar genişliğindedir (EK-2).



Şekil 2. 1. Sultan Sazlığı'nın coğrafi konumu (Sarısoy, 2015).

Kapalı Havzanın su toplama alanı yaklaşık 3190 km² olup, alüvyon üzerinde ve denizden yüksekliği 1070-1150 m arasında değişmektedir. Genel eğim; güney-kuzey yönünde olup ortadaki göllere doğru da eğim vardır. Sultan Sazlığı'nın alanı kapalı havza karakterinde olma nedeniyle dört tarafı dağlar ve tepelerle çevrelenmiştir. Sultan Sazlığı'nın kuzeyinde Erciyes Dağı (3916 m), doğusunda Develi Dağı (2074 m),

güneyinde Toros Dağları, Aladağlar (3373 m) olup batısında da Karadağ ve Hodul Dağı (1937 m) yer almaktadır (Şekil 2.2). Çalışma alanının topografyası Ek-3'te bulunmaktadır.



Şekil 2. 2. Çalışma alanı ve yakın çevresinin fiziksel haritası (Sönmez ve Somuncu, 2016).

Sultan Sazlığı'nın orta bölümünde Yay Gölü 30-35 km² yüzölçümüne sahiptir. Yay Gölü ve etrafındaki sazlık ve bataklık alanın tümü Sultan Sazlığı olarak isimlendirilmiştir (Özesmi vd., 1993). Sultan Sazlığı Develi-Yeşilhisar-Yahyalı ilçelerinin sınırları içeresinde bir üçgen şeklinde yer almaktadır (DSİ, 1995). SSSA'nın koordinatları yaklaşık 38°.05- 38°.40 kuzey- güney ve 35°.00- 35°.35 doğu-batı yönündedir.

Sultan Sazlığı Türkiye ve Ortadoğu'nun en önemli sulak alanlardan birisi olan; sazlıklar, tatlı ve tuzlu göller, çayırlar ve tuzcul bozkırlardan oluşması nedeniyle çeşitli habitatları bulundurduğu için Avrupa ve Afrika arasında göçmen kuşların kullandığı iki ana göç yolu üzerinde yer aldığından önemli bir alandır. Türkiye'nin en önemli kuş cennetlerinden birisi olan Sultan Sazlığı, 1994 tarihinde Uluslararası RAMSAR Sözleşmesi'nin "A Sınıfı Sulak Alanlar" listesine dâhil edilerek koruma altına alınmış olup 2006 yılında mili park olarak ilan edilmiştir. Söz konusu alan 24. 523 hektardır ve 17.200 hektarlık kısmı RAMSAR alanı olarak ilan edilmiştir (Meriç ve Çağırankaya, 2013).

2.2. Sultan Sazlığı Havzasının Özellikleri

Sulak alanı bilim insanına göre sürekli veya periyodik olarak yüzey suyuna sahip olan alanlardır (Meriç ve Çağırankaya, 2013). Sultan Sazlığı, Develi Ovası'nın en alçak yerinde oluşmuş, tatlı, tuzlu ve hafif tuzlu su yüzeylerine sahip olduğundan dolayı geniş bataklık ve sazlık alanlar ile çevrelemiştir. Sultan Sazlığı'nın tatlı suları 3.300 hektarlıktır. Sultan Sazlığı'nın derinliği 1-2 m civarındadır. Söz konusu alanın su seviyesi yıl içinde 50 cm kadar değişiklik göstermekte iken yüzey suyu genişliği de değişmektedir (Şekil 2.3).

Sultan Sazlığı'nın kuzeyinde olan Çöl gölü oldukça tuzlu olan ve yaklaşık 80 mg/l tuzluluk oranına ulaşmakta ve yılın genelinde kuru çamur tabakası ile kaplı olan sığ bir göldür.

Alanın orta Kısımında bulunan Yay Gölünün tuzluluk oranı 12 mg/l yarı tuzlu bir göl iken bu gölün ortalama derinliği 40-100 cm arasında değişmektedir. Yıldız (2007)' göre sıcak yaz aylarında Yay Gölü'nün tıpkı Çöl Gölü gibi tamamen kuruduğunu gözlenmiştir.



Şekil 2. 3. Sultan Sazlığı Sulak Alanı (URL-4).

Bölgenin Meteoroloji İstasyonlarının (Yahyalı ve Yeşilhisar) verilerine göre Akdeniz ılıman iklimi ve Orta Anadolu karasal iklimi arasında olmuş olan alan karasal iklimine sahiptir.

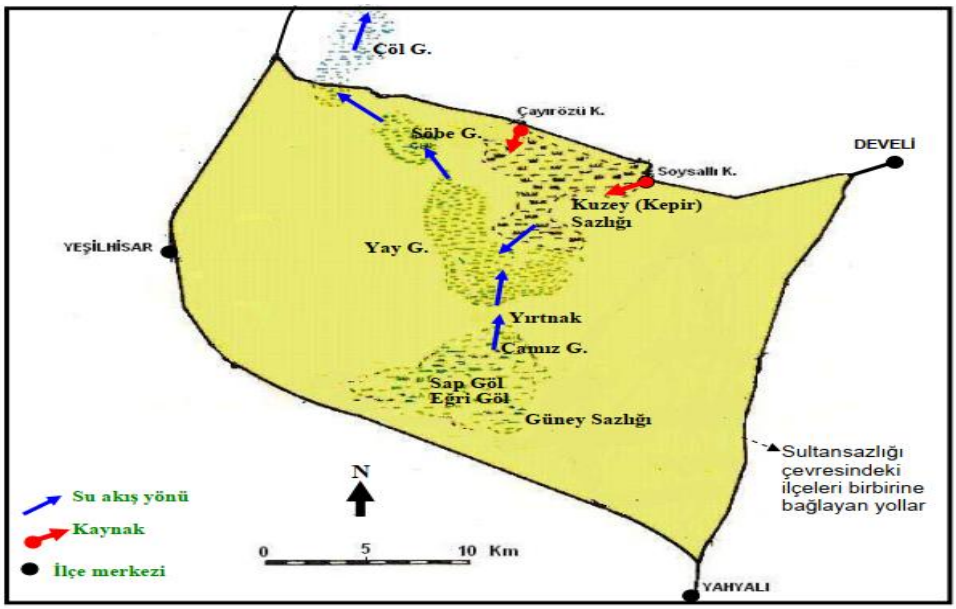
DKH'de kara ikliminin belirgin özelliği olarak gece ile gündüz arasında sıcaklık farkının yüksek olduğu görülmektedir. DKH'nin iklimi yazları sıcak ve kurak iken kışlar soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. En sıcak ay temmuz, en soğuk ay ise Ocak'tır. Bölgede temmuz ve ağustos aylarında minimum seviyelerde iken ilkbahar aylarında ise maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Yeşilhisar Meteoroloji İstasyonu verilerine göre aylık ortalama yağış miktarı, 39,8 mm mayıs ve ağustos ayında ise 4,3 mm minimum seviyelere düşmekte ve yıllık yağış miktarı 265,1 mm seviyesindedir.

Yahyalı Meteoroloji İstasyonunu verilerine göre aylık ortalama yağış miktarı 61,4 mm, mayıs ve ağustos ayında ise 5,1 mm minimum seviyelere düşmekte ve yıllık yağış miktarı 424 mm seviyesinde gerçekleşmektedir. Sultan Sazlığı'nda düşen yağış miktarı metre kareye 398,9 mm ve sıcaklığı yıllık 10,6 °C dir

Yeşilhisar ve Yahyalı Meteoroloji İstasyonlarının aylık ortalama nem ölçümlerine göre yaz ve kış ayları arasında yaklaşık %30 dur. Yeşilhisar ve Yahyalı İstasyonlarında buharlaşma ölçümü yapılmamaktadır. Kayseri Yeşilhisar İstasyonunda yapılan buhar basıncı ölçülerine göre ortalama yıllık buhar basıncı 9,4 hPa dır. En yüksek buhar basıncı ortalama17,3 hPa ağustos ayında kayıt edilmiştir. Yahyalı Meteoroloji İstasyonunda yıllık ortalama buhar basıncı 7,4 hPa, en yüksek ortalama buhar basıncı temmuz ayında 11,2 hPa olarak belirlenmiştir (Sarısoy, 2015).

İlkbahar aylarında yağışların etkisiyle yükselen sular SSSA'nda, Güney sazlığı'ndan Yay Gölü'ne doğru aktarmaktadır. Yay Gölü'nün kuzeyinde olan Kepir Sazlığı çayırözü ve soysallı kaynaklarından beslenir. Bu durumda Kepir Sazlığı'nda birikmiş olan sular, Yay Gölüne doğru akmaktadır. Son yıllarda alanda su sıkıntısı nedeniyle Yay Gölü'nden Çöl Gölü'ne doğru akış yok denecek kadar azdır. Şekil 2.4'te bahsi geçen göller ve sazlıklar ve suyun akış yönü gösterilmiştir.

DKH'nda bulunan Sultan Sazlığı doğal göllerin dışında sulama amaçlı Akköy, Ağcaşar ve Kovalı Barajları mevcuttur. DKH'nın güneyinde akarsu niteliği taşıyan iki adet dere bulunmaktadır. Bunlardan Dündarlı Suyu Kovalı Barajı'nı beslemektedir. Yahyalı Suyu ise Ağcaşar Barajı'na boşalmaktadır (DSİ, 2010) (EK-4).



Şekil 2. 4. Sazlıklar ve Göller arasında su akış gösterimi (Yıldız, 2007).

2.3. Sultan Sazlığı Alanı'nın Jeolojisi

DKH'sında Paleozoyik'den başlamak üzere Kuvaterner'e kadar çok farklı jeolojik zamanlara ait formasyonlar bulundurarak oluşmuştur (Ek-5). Alanın temeli oluşturan metamorfik kayaçlar, şüphesiz denizde teşekkül etmiş ve daha sonra uğradığı metamorfizma sonucu bugünkü karakterini kazanmıştır (DSİ, 2010).

Söz konusu alanın jeolojisi Üst Paleosen'de bölge bir yandan deniz altında kalmış ve denizel kayaçlar oluşurken diğer yandan deniz tabanında volkanik olaylar gelişmesi nedeniyle sedimenter kayaçlar ortaya çıkmıştır. Ancak bu deniz, bölgede uzun zaman kalmamış ve Oligosen sonunda kaybolmuştur. Denizin çekilmesiyle bölge yeniden kara halini almış ve bu karasal dönem bugüne kadar devam etmiştir. Bu uzun karasal dönem süresince bölgede gelişmiş göl ve akarsu ortamına ait karasal kökenli kaya birimleri oluşmuştur. Bunlara paralel olarak da Üst Pliyosen'de başlamış ve Pleistosen başlarında son bulmuş olan art arda meydana gelen volkanizmalar sonucu da çeşitli volkanik kayaçlar teşekkül etmiştir (Ek-6).

Erciyes Dağı volkanik faaliyetleri nedeniyle; bazalt, andezit ve tüflerden oluşmuştur. DKH'nın merkezinde yani sulak alana doğru indikçe dane çapı incelen alüvyonlar mevcuttur. Sultan Sazlığı'nın güney kısmında; gri, masif, kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Paleozik zamanda havzanın güney ve güney doğusunda

Aladağı yaşlı tortul kayaçlar kristalize kireçtaşları mevcut iken ofiyolitik melanj jeolojik yapılar görülmektedir. Batı ve kuzey de Kapadokya volkanik bölgesine ait volkanlar, havzanın batısında yer almakta olup volkanik veya volkano sedimenter birimler yaygındır. Havzanın doğu-batı kısımları tamamıyla Tersiyer yaşlı tortul kayaçlardan oluşmaktadır. Kuzey ve güney yönünde magmatik kayaçlar dar bir şerit halinde fliş formasyonlar yer almakta olup kumtaşı ve marnlarla temsil edilir (DSİ, 2010)

2.3.1. Çalışma Alanın Jeolojisi

Metamorfik kayaçlar ovanın güneydoğusunda Devoniyen'e ait kalkşistlerle temsil edilirler. Kalkşistler oldukça sert ve gri kahve renklidirler. Magmatik kayaçlar ise Develi-Yeşilhisar Ovası'nın kuzeyinde mostra verirler. Bunlar Neojen ve Kuvaternerde meydana gelmiş volkan ve parazit konilerinin çıkardığı bazalt ve andezit gibi kayaçlardır.

DKH güney ve güneydoğusunu kaplayan Paleozoyik yaşlı tortul kayaçlar kristalize kireçtaşlarıdır. Genellikle koyu renkli ve çatlaklıdır. DKH'de Kuvaterner ile Neojeni ayırmak mümkün değildir. Malzemesi irili ufaklı boyutlardadır. Çadırkaya-Dündarlı yolu üzerinde fliş fasiyesinde üst Kretase formasyonları mevcuttur. Sarı renkli kumtaşları ile başlar, bunların üzerinde kırmızı kahve renkli kireçtaşı malzemeli konglomeralar yer almaktadır. Konglomeraların üzerinde kahverengi, gri kil, marn seviyeleri, daha üstte kırmızı gri killer bulunur.

DKH'nin doğu ve batı kısımları tamamen Tersiyer yaşlı kayaçlarla kaplıdır. Dündarlı civarından başlayarak kuzeye doğru devam eden ince bir şerit halinde fliş formasyonları yer alır. Kumtaşı ve marnlarla temsil edilir. DKH'nin doğusunda ve batısında tüfler mostra verirler. Yer yer tabakalı ve sert ile yumuşak tüfler şeklindedir. Aglomeralar, ovanın doğusunda ve batısında tüfler üzerinde görülürler (DSİ, 2010).

2.4. Develi Kapalı Havzası'nın Hidrojeolojisi

Akiferler su döngüsünün sırasında oluşur iken beslenmesi ise yüzey suyuna bağlıdır. Ek-7'te Türkiye'nin genel akifer haritası gösterilmiştir. Yıldız'a göre Develi Kapalı Havza sahasıyla ilgili çalışmış olan tüm jeolojik, jeomorfolojik ve jeofizik araştırmalar sonucunda, Yay Gölü ve saz örtüsüyle kapalı alanlarının altı kil tabakasından oluştuğu ve kil tabakasındaki akiferler serbest akiferler olduğu tespit edilmiştir. Aynı

şekilde Develi İlyaslı köyü bölgesinde bulunan kil tabakaları akiferler ise basınçlı veya yarı basınçlı olduğu tahmin edilmiştir.

DKH'sında yeraltı suyu jeolojik katmanlarında içe doğru akış şekli kuzeydoğuda tüflerden, güney ve güneydoğu da kalkerlerden ve batıda ise alüvyon birimlerden beslenmekte olduğu tespit edilmiştir. DKH'sının Kuzeydoğusunda magmatik kökenli kayaçlar aglomera, bazalt, andezit, çakıl bloklarından meydana geldiği gösterilmişidir. Alanın güneydoğusunda aglomera gözlenmektedir. DKH'sının güneyde bulunan aglomera (volkanik kayaçlar) sert kırıklı çatlaklı bir yapıda olduklarından dolayı akifer niteliğine sahipler (Ek-8).

DKH'sında Yay Gölü'nden orta kesime doğru indikçe; sazlık alanlarda tane çapı incelmekte olup başka bir ifadeyle alanda jeolojik yapısı kumdan kile doğru geçmekte olup ve bu konu akifer kalınlığının azaldığını beyan etmektedir. Alanın güneybatısında 100-150 m kalınlığında bulunan sadece tek akifer mevcuttur. Kovalı köyü vadisinde DSİ verilerine dayanarak Sondaj kuyu logları incelendiğinde 20-25 m kalınlığında olan siltli, çakıllı, kumlu ve killi birimlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Güney sazlığın yakınında olan Ova çiftlik köyü, sazlığın orta kısımlarına yaklaştıkça akiferlerin dane çapı incelenmekte olduğu ve kile dönüştüğü görünmektedir. DKH'sının kuzey kısımlarında oluşan magmatik kayaçlar, sedimenter kireçtaşlarına kıyaslayarak daha az su taşıyabilen bilimlerdir. Alanın batısında; Yeşilhisar ve çevresinde mevcut flişler su taşıyabilen birimlerdir (ENCON'dan aktaran Yıldız, 2007).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÖZETİ

3.1. Jeofizik Uygulamalarla Yeraltı Suyu Araştırmaları

Yeraltı sularının araştırılmasında jeofizik yöntemler doğru kullanılırsa çok faydalı bilgiler sağlar (Reynolds, 2011). Jeofizik yöntemler ile yeraltı suyu kaynaklarını haritalanması ve yeraltı suyu kalitesinin belirlemesi mümkündür. Bu amaçla birçok yöntemin kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılacak yöntem, yer altı ortamının fiziksel özelliklerine olan duyarlılığına bağlı olarak seçilmelidir. Jeofizik yöntemlerin uygulaması geleneksel yöntemlere karşılaştırdığında saha çalışmalarının olumsuzluklarından daha az etkilenmektedir. Ayrıca jeofizik yöntem uygulamaları tahribatsız olup geleneksel sondaj aramalarına göre daha düşük maliyetlidir. Bunun yanı sıra sondaj tek bir noktaya ilişkin bilgi verirken jeofizik uygulamaları daha geniş bir alan hakkında bilgi vermektedir (Benson vd., 1997; Godio ve Naldi, 2003). Yılmaz ve Yıldırım (2021)'a göre yeraltı suyu aramalarında bazı jeofizik yöntem uygulamaları diğerlerine göre daha fazla başarı göstermektedir.

Arkansas Nehri havzasındaki yeraltı suyu kaynaklarına ilişkin, özdirenç araştırmaları 1971 yılında, yeraltı suyu kaynaklarının bulunabileceği alanların tespit edilmesine yardımcı olmak amacıyla yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları, iki özdirenç kesiti şeklinde sunulmuştur. Ölçümler DES ve dipol elektrik sondajları geleneksel Schlumberger elektrot dizileri kullanılarak yapılmıştır (Zohdy vd., 1971).

Kelly (1976), yeraltı suyu kirliliğinin boyutunu belirlemek için buzul akiferindeki çöp sahasının çevresinde özdirenç araştırması yapmıştır. Araştırma, 12 DES ölçümünden oluşmuştur. Sondaj eğrilerinin ve yakındaki deneme sondajlarının

kayıtlarının incelenmesi, su kalitesi değişimlerini incelemek için üç katmanlı bir yer elektrik modeli önerilmiştir.

1988 yılının mart ve nisan aylarında ve 1989 yılının şubat ayında ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu, Las Vegas Vadisi Su Bölgesi ile iş birliği içinde, Las Vegas'ın kuzeybatısında ve Nevada civarında yeraltı suyu potansiyelini araştırmak üzere DAÖ araştırması yapmıştır. Bu çalışma, 79 Schlumberger sondajından oluşmuş ve dört haftalık bir sürede tamamlanmıştır. Söz konusu araştırmanın temel amacı, verilerin yorumlanması, derinliklerin tespit edilmesi ve özdirenç haritaları şeklinde sunulmasıdır (Zohdy vd., 1992).

Bir diğer çalışma (Frohlich vd., 1994), aşırı kalabalık topluluklar tarafından mevsimsel olarak kullanılan kıyı akiferlerinin eski çöp sahaları tarafından kirletilmesi ve düzenli depolama sahasından gelen tatlı su kaynağının kirliliğinin tespiti için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, yer elektrik özdirenç yöntemini kullanılmış, Schlumberger yer elektrik derinlik sondajları ve Wenner dizilimleri kullanan yatay yer elektrik profilleri elde edilmiştir.

Nil Deltası bölgesindeki uygun olmayan kanalizasyon ve sulama drenaj sistemi, eski çökeltilerden sızıntı ve tuzlu su girişinin neden olduğu yeraltı suyu kirliliğini tanımlamak için elektrik özdirenç araştırması yapılmıştır. Su tuzluluğundaki yatay ve dikey değişimleri ölçmek için mevcut olan izleme kuyuları kullanılmıştır. İzleme kuyularının yakınında bulunan sondaj noktaları için düşey elektriksel sondaj verileri, bu kuyuların su tuzluluğu verileriyle birlikte çıkarılan toprak özdirenci ile toplam çözünmüş katı madde miktarı arasındaki ilişki ortaya konulmuştur (Ebraheem vd.,1997).

SEG'in "Geophysics" dergisinin özel sayısında "Geotechnical and Environmental Geophysics" yüzeye yakın jeofizik uygulaması örneklerine yer verilmiştir (Ward, 1990).

Milsom (1966) ve Reynolds (1997), yeraltı suları ve yakın yüzey araştırmaları ayrıntılı olarak ele almışlardır. "Hidrojeofizik" kitabında hidrojeofizik yöntemler ve yaklaşımları hem hidrojeolojik hem de jeofizik bakış açısı temellinde açıklanmıştır (Rubin ve Hubbard, 2005).

Şengül (2004) Çanakkale ilinde düzensiz atık depolama alanın yüzey ve yeraltı sularına etkisini belirlemek için jeofizik ve jeokimyasal yöntemlere başvurmuştur.

Vereecken vd. (2006) hidrojeofizik yöntem uygulamalar vasıtasıyla çözünen maddeler ve kirleticilerin su akışıyla taşınmaları ile ilgili bilgiler vermektedir.

Çanakkale'de DAÖ yöntemi, self potansiyel (SP) ve çok düşük frekanslı elektromanyetik ölçümler (VLF) ile düzensiz atık depolama alanında ve yeraltı suyu sızıntısına bağlı kirlenmesi araştırılmıştır. DAÖ yöntem verilerinin yorumları, özdirenç yöntemin sonuçlarını neticesinde inceleme alanındaki kirlenmiş bir bölge ile ilgili iyi bir ilişkisi tespit edilmiştir (Kaya vd., 2007).

Sultan Sazlığı Sulak Alanı'ndaki mevcut su sıkıntısıyla ilişkin yüzey suyu ile yeraltı suyu arasında durum araştırılmıştır. Bu bağlamda Develi Kapalı Havzasında 2003 yılında Yay Gölü ve civarının jeolojik katmanlılarının özelliklerini belirlenme amacıyla 4 noktada DAÖ yöntemi ve Schlumberger elektrot dizilimi kullanarak ölçüler alınmıştır ve bunula beraber izotop ve su kimyası analizleri de uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. (Yıldız, 2007).

Dursun vd. (2008) Selçuk Üniversitesi yakınındaki atık su havzasını ele alarak kayaçların su içerikleri DAÖ yöntemi ile araştırmıştır.

Yeraltı Suları Jeofiziği (Groundwater Geophysics) adlı kitapta; jeofizik yöntemlerin uygulaması, gözenekli ve yapısal akiferlerin haritalanması, hidrolik özelliklerin değerlendirebilmesi, yeraltı suyu kalitesinin belirlenmesi ve varsa kirlenmiş alanların haritalanması gibi hidrojeolojik uygulamalar için jeofizik yöntemlerin kullanılması açıklanmıştır (Kirsch, 2009).

Yapıların hidrolojik özelliklerini değerlendirmek amaçlı jeofizik metodolojilerin geliştirilmesi ve bu metotların kullanılması ile ilgili Pellerin vd. (2009) tarafından hidrojeofizik alanında temel bilgiler hakkında bilgiler vermektedir.

Türkiye'nin güneybatısında yer alan Burdur şehri, alüvyon akifer üzerinde kurulmuş, sismolojik açıdan oldukça aktif bölgelerin birisinde bulunmaktadır. Burdur ili ve yakın çevresindeki yerleşim özelliklerinin araştırılması amacıyla 2000 yılında 189 DES ölçümünü içeren DAÖ yöntemi ile araştırma gerçekleştirilmiştir. DES profillerinin 2-B ters çözümü sonucunda elde edilen özdirenç dağılımları, çökeltilerin türleri ve genişletilmiş yeraltı suyu seviyesi haritası dikkate alınarak sınıflandırılmıştır (Balkaya vd., 2009).

Yunanistan'ın Girit adasının kuzey-orta kıyısında ve bazı yerlerde Ege Denizi'nden gelen tuzlu suyun, tatlı su kaynakları üzerindeki etkisini araştırma amaçlı akiferin elektromanyetik ve elektrik özdirenci kullanılarak incelenmiştir. Araştırma, 1-B modeller ve yer elektrik yapısının 2-B görüntülenmesi ile sonuçlanmıştır (Kaliaperi vd., 2009).

Kurtuluş ve Bozkurt (2010) tarafından yapılan bir çalışma, yeraltı suyu araştırılması için İzmit-Başiskele ilçesinde DES yöntemiyle beş ölçüm noktasında yapılmıştır. Çalışma alanında tortul yapılardan oluşan kumlu çakıllı katmanların 80 m derinlikten 12 lt/s su elde edildiği aktarılmıştır.

Sömer ve Atasoy (2010) İzmir Devlet Su İşleri (DSİ) Müdürlüğü'nden sağlanan verilerinden beş tanesini seçerek jeofizik DAÖ yöntemini yeraltı su araması için uygulamış ve oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Hatay İli Yayladağı ilçesi ve civarının yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesi ve hidrojeolojisinin tespiti için jeofizik özdirenç yöntemi ile DES çalışması yapılmıştır (Kopaçlı ve Karakılıç, 2012).

Candansayar vd. (2013) tarafından DAÖ ve sismik kırılma yöntemlerini bir arda kullanarak verilerinin 2-B birleşik ters çözümü uygulayarak tuzlu su girişimi problemi araştırılmıştır. Bu çalışmada, bir algoritma geliştirerek DAÖ ve sismik kırılma verileri 2-B birleşik ters çözümünü yapılmıştır. Geliştirilen algoritma neticesinde tuzlu su girişiminin tespiti incelenmiştir.

Düzce ili sınırları içerisinde yeraltı suyu araştırmak için DES yöntemi uygulayarak Küçük Melen Çayı etrafında ölçüler alınmıştır. DES ölçü noktaları verilerine göre kumlu, siltli ve çakıllı formasyonlar tespit edilmiştir (Ateş ve Yeşil, 2014).

Kaya vd. (2015) tarafından yürütülen bir çalışmada, Çanakkale ilinde kıyılarda deniz suyu girişimini incelenmesinde DAÖ yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada genellikle deniz suyunun varlığına karşılık gelen düşük özdirencli bölgeleri belirlemek için en yaygın kullanılan yer elektrik yöntemi kullanılmıştır. Tüm kıyı kentsel alanını kapsayan toplam 78 DES ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları DES verilerinin 2-B ters çözüm uygulamasıyla elde edilmiştir. Çalışma alanı içindeki hidrojeolojik ve

sondaj bilgilerinden elde edilen sonuçlarla jeofizik sonuçlar, deniz suyu girişimi tatlı su sınırını başarılı bir şekilde göstermiştir.

Karmaşık bir jeoloji ortamı olan Hindistan'ın Tawarja havzasının bir bölümünde gerçekleştirilen, yeraltı suyu potansiyel bölgelerinin ve akiferin yeniden doldurulduğu yerlerin belirlenmesindeki etkinliğini göstermek için gerçekleştirilen 2-B Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT) tekniği uygulanmıştır. Çalışma alanında su temini talebini karşılamak için geliştirilebilecek sondaj için uygun alanlar tespit edilmiştir (Rai vd., 2015).

Glen Canyon Ulusal Rekreasyon Alanı, Powell Gölü deltasında, su ve gaz kaçışını belirlenmesi için alanda ortogonal olarak veriler ERT ve GPR ile toplanmış ve değerlendirilmiştir (Sherrod vd., 2016).

Gana, Brong Ahafo, Peru bölgesinde sondaj kuyusu yerleşimi için yeraltı suyu potansiyel bölgelerini belirlemek için 2B'lü ERT ve DES içeren jeofizik teknikler uygulanmıştır (Sikah vd., 2016).

Mısır'ın Kızıldeniz kıyısında yer alan Shalateen Bölgesinde ana su kaynağının yağmur suyu olduğu tatlı su sıkıntısı tuzlu sudan arınması için jeofizik DES Schlumberger açılımı kullanılarak gerçekleştirmiştir. Bu uygulama sonucunda çalışma alanında tabakalar ve kalınlıklar tespit edimiş ve doğu kesiminde tuzlu su görülürken batı kesiminde tatlı suyun yoğun olduğu belirlenmiştir (Mahmoud ve Dina, 2017).

Pakistan'da Tarbela Ghazi, District Haripur bölgesinde, akifer potansiyelinin belirlenmesi için jeofizik teknikler kullanılmıştır (Shahrzad vd., 2018).

Güneydoğu Nijerya'nın Abia eyaletindeki Lokpaukwu'nun yeraltı suyu araştırmaları için DES araştırması Schlumberger açılımı ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda Lokpaukwu içindeki ve çevresindeki yeraltı suyu potansiyellerinin değerlendirilmesinde söz konusu tekniğin yararlı olduğu kanıtlanmıştır (Theophilus vd., 2018).

Afyonkarahisar ilinde bulunan dört farklı kaplıca üzerinde bölgeyi kapsayan jeotermal sahalarda jeofizik özdirenç yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada, bölgenin yeraltı yapısı elektrik özelliğine (özdirenç) göre haritalanmıştır (Şeker, 2019).

İslami vd. (2020), bir depolama salanında yeraltı suyun kirliliğini tanımak ve belirlemesi için özdirenç yöntemi kullanılmıştır. Bu araştırmada özdirenç modelleme sonucunda, sığ bir akifer boyunca meydana gelen depolama sızıntı tespit edilmiştir. Suyun fiziksel özellikleri analizi sonucunda depolama alanında nispeten yüksek miktarda toplam çözünmüş katkı madde ile kirlendiği gösterilmiştir.

Poeter vd. (2020) tarafından yazılan ve Türkçeye tercüme edilen "Su Çevremizdeki Yer Altı Suyu Yeryüzünün En Önemli Tatlı Suyu Kaynağı Tanımak" adlı kitapta yeraltı suyu ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

Kaya tarafından 2020 yılında Nallıhan Ankara'da yapılması planlanan baraj yerinde DAÖ uygulanmıştır. Toplanmış olan veriler 2-B ve 3-B olarak ters çözüm algoritmaları vasıtasıyla yorumlanmıştır. Bu çalışma sonucunda barajların yer seçimiyle ilgili, baraj yapımı işlemi sırasında yapılması gereken modern teknolojinin kullanıldığı jeofizik çalışma uygulamaları önerilmiştir.

Yeraltı suyu potansiyelini belirlemek amaçlı Somali'de yapılan bir çalışmada hidrojeolojik ve jeofizik yöntemler tercih edilmiştir. Bu çalışmada seçilmiş olan üç farklı bölgede DES tekniğiyle sondajı için uygun akifer alanlarını tanımlanması amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda özdirenç ve kalınlık değerleri belirlenmiş ve yeraltının yer elektrik kesitleri elde edilmesiyle beraber sahasında uygun su potansiyelinin olduğu alanlar tespit edilmiştir (Hussein, 2020).

Suudi Arabistan, Al Madinah Al Munawwarah'ın kuzeydoğusundaki Harrat Khaybar volkanik sahasında yeraltı suyunun varlığını değerlendirmek için 2-B ERT araştırması yapılmıştır. Araştırma sonucu elde edilen yer elektrik kesitler yorumu ile bölgenin yeraltı suyu potansiyeli açıklanmıştır (Alshehri ve Abdelrahman, 2021).

Gelişli ve Babacan (2021), taraflarından iki farklı alanda birincisi Araklı ilçesinin sahil kesiminde ve değeri ise Trabzon merkez Değirmendere mevkiinde yeraltı suyunun derinliğini ve tuzlu su girişiminin tespit amaçlı jeofizik elektrik özdirenç yöntemi uygulamışlardır. Çalışma alanında dört profil halinde 2-B ERT ölçüleri alınmış ve elde edilen tomografi kesitleri sonuçları yorumlayarak sunulmuştur.

Adana İli, Ceyhan İlçesi Gölova'sı civarı yeraltı suyu potansiyelini belirlemek amacıyla DES tekniği ile akiferlerin kalınlık ve derinlik tespiti amaçlı jeofizik özdirenç araştırması yapılmıştır. Bu kapsamda jeofizik özdirenç çalışmalarından sonra arazide

jeolojik etüt ve sondajlar yapılmış ve bu sondajlardan alınan yeraltı suyu numuneleri kimyasal analizi yapılmıştır. Söz konusu bu çalışma sonucunda tüm bulguların değerlendirmesinde jeofizik özdirenç ölçümleri ve açılan sondaj kuyusu verileri ve analizleri jeofizik ölçümler ile uyumlu olduğu saplanmıştır (Çağlar, 2021).

Mısır'ın Nil Deltası'nın güneydoğusunda yer alan çalışma sahasında kurak iklim koşularına dayanarak tarımsal ve endüstriyel faaliyetleri sürdürülebilmek için ek su kaynaklarının araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu çalışmada, Schlumberger dizisi kullanılarak AB/2 elektrotlar arasındaki mesafe 500 m'ye kadar, toplam 32 DES verisi dört ana profil boyunca gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler, en uygun katmanlı özdirenç modelini türetmek için 1-B yanal olarak kısıtlanmış ve daha sonra 2-B ters çözüm algoritmaları ile yorumlanmıştır (Genedi vd., 2021).

Pakistan'ın Belucistan eyaleti kurak/yarı kurak bir iklime sahip olduğundan yeraltı suyu, evsel ve tarımsal kullanımlar için birincil tatlı su kaynağıdır. Bölgenin yeraltı suyunun durumunun değerlendirilmesi amacıyla 25 noktada elektrik özdirenç çalışması yapılmıştır (Mahmud vd., 2022).

Blackhawk, Güney Dakota, ABD'de tünellerin üzerinde yakın zamanda zemin çökmeleri meydana gelmiştir. Bu çalışmada ERT yüksek çözünürlüğü nedeniyle ana keşif yöntemi olarak kullanmıştır. Bu çalışmada Wenner ve Dipol-Dipol dizilimi ile ölçüler alınmıştır. Ayrıca, SP ve Elektromanyetik Frekans Alanı yöntemlerini de uygulanmıştır. Araştırma sonucunda ortaya çıkan (1) doğu bölgesinde birçok düşük özdirençle tünel şekilli anomaliler su altında kalmıştır ve (2) batı zonunda yüksek özdirençle tünel şekilli anomalilerin kuru olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu bu tünel çalışması sonucunda özdirenç yöntemi ile su basmış ve kuru bölgeler net bir şekilde ayırt edilir (Khalil vd., 2022).

Türkiye'de Sakarya Nehir Havzasında, tünemiş bir akifer içeren hidrojeolojik bir ortamda DAÖ yöntemi kullanılarak bir yeraltı suyu keşif araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada geleneksel olarak dört elektrotlu aletler kullanılarak Schlumberger dizilimi ile veriler toplanmış ve 2-B ters çözümü (Ulugergerli ,2017) uygulanmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, paralel profillerin 2-B ters çözümü ile, yeraltı özdirenç yapılarının hacmi oluşturulmuş, sığ ve derin kesitlerde kütlelerin haritası çıkarılmıştır (Ertekin ve Ulugergerli, 2022).

Yeraltı suyunu tespit etmek için jeofizik araştırması yapmak, yeraltını haritalamanın yaygın bir yoludur. Bu çalışmada Çin'de 2-B özdirenç ölçme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem kullanılarak şehir ortamında yeraltı suyu tespitinde, baraj sızıntısı ve içme suyu durumlarına uygulanmıştır. Bu özdirenç araştırmasından, sondaj kuyusu doğrulaması yoluyla yeraltı suyu olarak yorumlanan bölgedeki düşük özdirenç anomalisini tespit edilmiştir (Chen vd., 2022).

Atık çöplüklerin etkilerini ve bunun yeraltı suyu sistemleri üzerindeki etkilerini anlamak, uzun vadeli sağlam çevresel yönetim stratejileri için su güvenliğinin kritik bir bileşenidir ancak dinamik çöplüklerin çevresel sistemler üzerindeki etkilerini tahmin etmek teknik bir yaklaşım gerektiren zor bir görevdir. Bu çalışmada atık çöplük sızıntı sularına karşı yeraltı suyunun hassasiyetini ve potansiyel çevresel riskini araştırmak için jeofizik elektrik özdirenç ve fizikokimyasal su analizi tekniklerini ikisi bir arada uygulanmıştır. Çöplüklerin içinde ve çevresinde toplam 29 DES ölçüsü alınmıştır ve özdirenç değerleri 2.4 ohm-m ila 17 ohm-m ve 68 ohm-m - 611 ohm-m arasında değişmekte olduğu gösterilmiştir. Jeofizik ve su analizi sonuçları, çöplük alanı içindeki ve çevresindeki yeraltı suyu sistemlerinin çöplük sızıntı sularına karşı oldukça hassas olduğunu ve hem insan sağlığı hem de çevre için yaklaşan risklerden kaçınmak için acil tahliye gerektirdiğini göstermektedir. Jeofizik analizler, sızıntı sularının toprak altına sızma indeksinin yüksek olduğunu gösterirken, bu durum yeraltı suyu kaynaklarını da etkilemekte olduğu bu araştırma sonucunda tespit edilmiştir (Alao vd., 2023).

Sina'nın güney batısında Ras Gara bölgesinde yaşamın sürekliliği için acil su kaynağına olan ihtiyaç, söz konusu bölgede Arap plakasının sığ Kuvaterner akiferinin su taşıyan bölgelerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu amaçla DAÖ ve sismik kırılma araştırmaları, çeşitli jeofizik teknikler kullanılarak alanda uygulanmıştır. Söz konusu çalışmada Schlumberger dizilimi kullanılarak AB =1200 m maksimum olarak açılmıştır. DAÖ verileri beş ana profil boyunca 27 DES konumunda toplanmıştır. Aynı noktalarda, toplam uzunluğu 115 m olan 27 adet sismik veri yayılımı da gerçekleştirilmiştir. Tek boyutlu yanal olarak kısıtlanmış 1-B ters çözümü, en uygun modeli oluşturmak için yalnızca doğru akım verileri üzerinde uygulanırken, 2-B ters çözümü ise diğer verilere uygulanmıştır. Çalışma alanında DAÖ verilerinin 1-B ters çözümü sonuçlarına göre beş yer elektrik katmana ayrılmış, üçüncü katman tatlı su,

dördüncü katman ise tuzlu su bölgeleri olarak sınıflandırılmıştır (Genedi ve Youssef, 2023).

Yukarıda aktarılan araştırmacıların çalışmalarından oluşan literatüre ek olarak çeşitli kurumların dönem dönem gerçekleştirmiş olduğu saha araştırmaları literatüre katkı sağlamıştır. Tez çalışmasının yürütüldüğü SSSA merkezli çalışmada, Devlet Su İşleri 12. Bölge Müdürlüğü farklı dönemlerde gerçekleştirdiği arazi çalışmaları jeofizik etüt raporları içermesiyle dikkat çekmektedir. 1966 yılında DSİ tarafından, Develi Kapalı Havzası'nda, Yay Gölü, Çöl Gülü, Güney ve Kuzey Sazlıkları çevresinden 33 hat boyunca jeofizik elektrik özdirenç yöntemiyle ölçümler alınmış ve sonuçları kesitler halinde çizilmiştir (DSİ, 1966). 1966'tan başlayarak aralıklı küçük ölçeklerde jeofizik özdirenç çalışmaları yapılmış, 2009 yılında ise Kayseri- Develi Yeşilhisar Ovası'nda nispeten daha geniş ölçekli bir inceleme gerçekleştirilerek özdirenç çalışmaları literatürüne katkı sağlanmıştır.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Jeofizik elektrik yöntemler, yer içinde doğal veya yapay olarak oluşan elektrik potansiyelleri, elektrik akımları ve elektromanyetik alanları ölçerek yeraltının jeolojik özelliklerini aydınlatan yöntemlerdir (Keçeli, 2012). Elektrik yöntemlerin uygulamasıyla alınan ölçümler sayesinde yeraltı akiferlerinin jeolojik haritalanması, yeraltı suyu kirlenmesinin egemen olduğu kesimlerin belirlenmesi, yeraltındaki tutturulmamış başka bir ifadeyle gevşek olan çökel malzemenin kalınlığı, temel kaya derinliğinin belirlenmesinde ve özellikle metalik olan veya metalik olmayan mineralizasyon zonlarının tayin edilmesinde başarılıyla uygulanmaktadır.

Jeolojik birimlerin elektrik özdirençlerinin saptanarak yeraltının özelliklerini belirleyen arama jeofiziğinde kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, maden, mineral, jeotermal, petrol yatakları, yeraltı suyu aramasında ve mühendislik jeolojisi problemlerinin aydınlanmasında kullanılmaktadır (Keçeli, 2012; Candansalar, 2007). Bu sebeple tez çalışmasında yeraltı suyu haritalaması amacıyla DAÖ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin ilkeleri ve ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Kayaçların Elektrik Özellikleri

Kayacın elektrik özellikleri minerallerin elektrik özellikleri ile tayin edilmemektedir. Kayaçlar, minerallerden ve mineraller ise elementlerden oluşur. Kayaç ve minerallerin özdirenci, yaklaşık olarak 10^{-6}- 10^{12} ohm-m arasında değişmektedir. Yeryüzüne yakın tüm kayaçlar gözeneklidir. Yeryüzünde olmayan kayaçlar ise tamamıyla gözeneksizdir. Gözenekler, kısmen veya tamamıyla su ile doludur. Yeryüzüne yakın kayaçlarda iletim hemen hemen tamamen gözeneklerdeki sularla mümkün

olmaktadır. Bu su, genellikle çözelti şeklinde çeşitli tuzlar taşımaktadır. Kayaçlarda ilk başta iyonik iletkenlik hâkim görünmektedir.

4.1.1. Kayaç Özdirencini Etkileyen Koşullar

Ward (1990), özdirenci etkileyen faktörler kayacın mineral yapısı olduğunu belirtmektedir. Kayaç bileşimini jeolojik ortamlarda tamamlayan kayaçlar; minerallerden, mineraller ise elementlerden teşkil edilmiştir. Aynı zamanda bilindiği üzere metaller elektriksel açıdan diğer elementlere kıyasla daha etkenlerdir. Altın, gümüş, bakır gibi elementler ve pirit, kalkopirit vb. mineraller, kayaç içerisinde bulunduğu zaman miktarına bağlı kayaç özdirencini etkilemektedir.

Kayaçların içerisinde olan gözenekler; havayla dolu olduğu zaman özdirencini artırır iken, söz konusu gözenek içerisinde su ve kil ile barındırdığı zaman özdirenci düşürür.

Jeolojik ortamın özdirencini etki eden ve düşüren bir diğer materyal ise kildir. Kil minerallerinde gözeneklilik yüksek olduğundan dolayı geçirgenlik çok düşük ve iyon alış-verişleri de fazladır. Bu sebepten dolayı suya doygun olan kil, özdirenci düşürme olur. Kayaçlar elektrik akımı yöne bağlı olduğundan dolayı özdirenci değerini etkilemektedir. Tuzluluk, özdirenci etkileyen bir diğer faktördür. Jeolojik Ortamda bulunan çözünmüş tuz miktarı, iyon miktarını artırdığı sebebiyle özdirenci düşürmektedir. Sıcak arttığı zaman çözünürlük artar ve bu durum iyon hareketliliğini etki ediği için özdirenç düşürmektedir.

Kayacın yaşı ve bulunduğu derinlik, özdirenci etkilemektedir. Aynı yapıya ve yaşa sahip kayaçlar söz konusu olduğunda derindeki masif kayaçlar, sığ kayaçlara kıyasla oransal olarak daha dirençli olmaktadırlar (Kaya, 1999).

4.1.2. Kayaçların Elektrik Özdirenç Değerleri

Kayaçların elektriksel özelliği, di-elektrik geçirgenlik ve elektrik iletkenlik şeklinde olmaktadır. Di-elektrik veya başka bir ifadeyle geçirgenlik elektrik yer değiştirme ile elektrik alanı arasındaki oran olarak bilinir ve geçirgenlik denklemi

$$D = \varepsilon E \qquad (4.1)$$

$$J = \sigma E \qquad (4.2)$$

ile gösterilir, burada D elektrik yer değiştirme (Coulomb/m^2) ve E: elektrik alan (v/m) olarak bilinir.[1] Di-elektrik; ε geçirgenlik engellenen yüklerin elektrik alan ile nasıl yer değiştirdiğini tanımlar. Di-elektrik geçirgenliği veya di-elektrik sabiti $\varepsilon^* = {}^{\varepsilon}/_{\varepsilon_0}$ şeklinde tanımlanır. Burada ε_0 serbest ortamın di-elektrik geçirgenliği olarak tanımlanır ve değeri ε_0= 8.8542 × 10^{-12} F/m dır. Elektrik iletkenlik σ (S/m) ise akım yoğunluğu ile elektrik alan yoğunluğu arasındaki orandır. Genelde,

$$\rho = 1/\sigma \qquad (4.3)$$

olarak tanımlanan ρ elektrik özdirenç terimi olarak bilinmektedir. Çizelge 4.1'de yer içinde bazı malzemelerin di-elektrik sabit değerleri verilmiştir.

Keller (1987)'e göre Kayaçların elektrik iletkenliği ve geçirgenliği (di-elektrik) su varlığından etkilidir.

4.1.3. Su Taşıyan Kayaçlarda İletkenlik Özellikleri

Yeryüzüne yakın çoğu kayaç, elektriksel iletkenlikleri taşıdıkları çözeltiye bağlıdır. Su tutan kayaçlarda özdirenç ve litoloji veya jeolojik yaş arasında dolaylı ilişki vardır. Kayaç bileşenlerinin elektrik iletkenliği, çatlaklardaki ve gözeneklerdeki sudan önemli miktarda farklılaşmaktadır. Kayaçların iletkenliğinin elde edilmesi için yeryüzünden birkaç kilometre derinliğe doğru suyun taşıdığı tuz miktarı, kayaç bileşenindeki çözeltide en önemli orana sahiptir. Su tutabilen bir kayacın özdirenci; kapsadığı su miktarına, suyun tuzluluğuna, sıcaklığına ve kayaç içinde suyun dağılım oranına bağlıdır. Tuz, su içerisinde eridiği zaman, tuz iyonları ayrışır ve çözeltide hareket ettiği sebebi ile serbest hale gelmektedir.

Jeofizik özdirenç araştırmaları, yeraltı özdirenç dağılımı hakkında bilgi sağlar. Dolayısıyla araştırma alanın jeolojisi hakkında bilgi edinilerek özdirenç dağılımının jeolojik bir haritaya dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Bu gerekçeyle farklı formasyondaki yeraltı malzemeleri açısından tipik özdirenç değerlerini bilmek oldukça önemlidir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, bazı önemli kayaç gruplarının özdirençleri genel olarak gösterilmektedir.

[1] Detaylı bilgi için EK-9'te bulunan Maxwell denklemlerine bakınız.

Çizelge 4. 1. Kaya ve zeminlerin iletkenlik ve di-elektrik sabit değerleri (Keçeli, 2012).

Zemin türü	**İletkenlik, σ**	**Di-elektrik sabiti(ε^*)**
Hava	0	1
Taze su	10^{-3}	81
Deniz suyu	4.0	81
Granit (kuru)	10^{-8}	5
Granit(ıslak)	10^{-3}	7
Bazalt (ıslak)	10^{-2}	8
Şeyl (ıslak)	10^{-1}	7
Kumtaşı (ıslak)	4 x 10^{-3}	6
Kireçtaşı (ıslak)	2.5 x 10^{-2}	8
Kumlu toprak (kuru)	1.5 x 10^{-4}	3
Kumlu toprak (ıslak)	7 x 10^{-3}	25
Killi toprak (kuru)	2.5 x 10^{-4}	3
Killi toprak (ıslak)	5 x 10^{-2}	15
Kil		25-40
Silt		16-30
Kum		4-6

Palacky (1987), yer materyallerinin özdirençlerini beş gurupta sınıflandırmıştır bunlar; ayrışmamış kayaçlar, ayrışmış kayaçlar, buzul çökeltileri, tortul kayaçlar ve su akiferleridir. Tüm Kayaçların fiziksel özelliklerine en fazla değişiklik gösteren elektrik özdirenç parametresidir (Şekil 4.1).

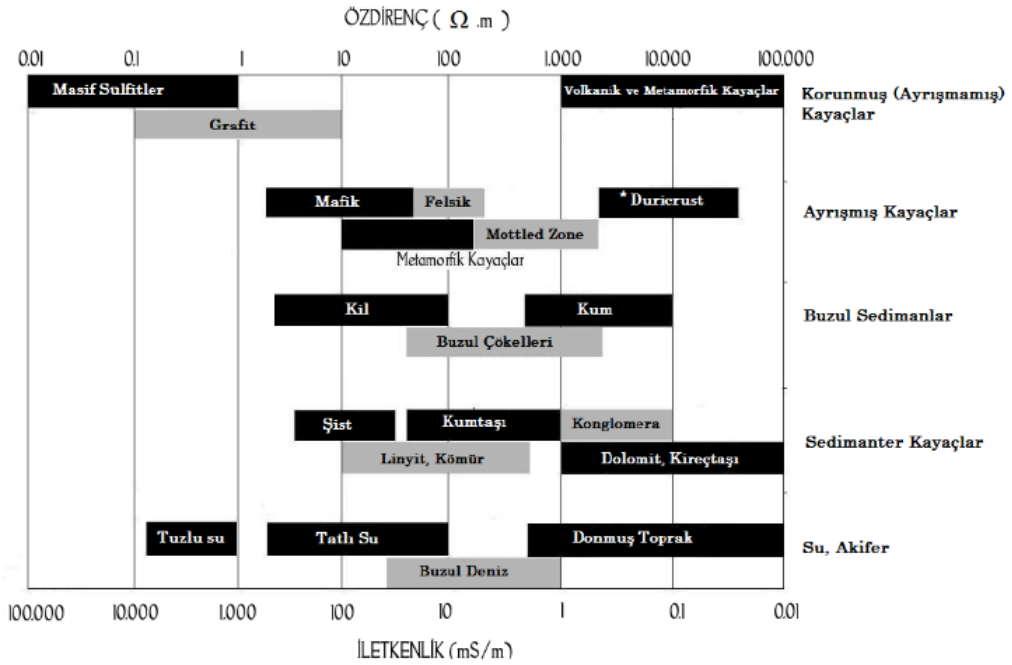
Ayrışmamış kayaçlar yüksek özdirenci sahip olan magmatik ve metamorfik kayaçlardır (>1000 ohm-m). Bu kayaçların özdirenci, genel olarak kırıklık veya çatlaklık, yeraltı suyu ile dolu çatlakların yüzdesine bağlı olduğu görünmektedir (Loke, 2022).

Tortul kayaçlardaki iletkenlik; kayaçların kil içeriğine, gözeneklilerine, çözünmüş mineraline, su doygunluğuna bağlıdır. Örneğin kireçtaşı ve çakıl taşı; kumtaşına kıyasla özdirenç değerleri daha yüksektir (Şekil 4.1).

Yeraltı suyunun direnci; donmuş tabaka, buzul veya tatlı-tuzlu suya bağlı değişmektedir. Islak topraklarda ve tatlı yeraltı sularında özdirenç değeri düşük iken killi ve kumlu topraklarda özdirenç değeri daha düşüktür. Bu sebeple kayaç veya toprak

numunesinin özdirenci; gözeneklilik, çözünmüş tuzların konsantrasyonu ve suya doygunluk derecesine gibi faktörlere bağlıdır.

Yeraltı suyunun özdirenç miktarı tuzların konsantrasyonun çözümüne bağlı 10-100 (ohm-m) olarak değişmektedir. Deniz suyu nispeten yüksek tuz barındırdığı için özdirenci (0,2 ohm-m) düşürmektedir. Bu sebepten özdirenç yöntemi, kıyı bölgelerindeki tuzlu ve tatlı su ayrımının haritalandırılmasında kullanılmaktadır.



Şekil 4. 1. Yeraltı materyallerin özdirenç gösterimi (Palacky 1987'den değiştirilerek).

4.2. Doğru Akım Elektrik Özdirenç Yöntemi

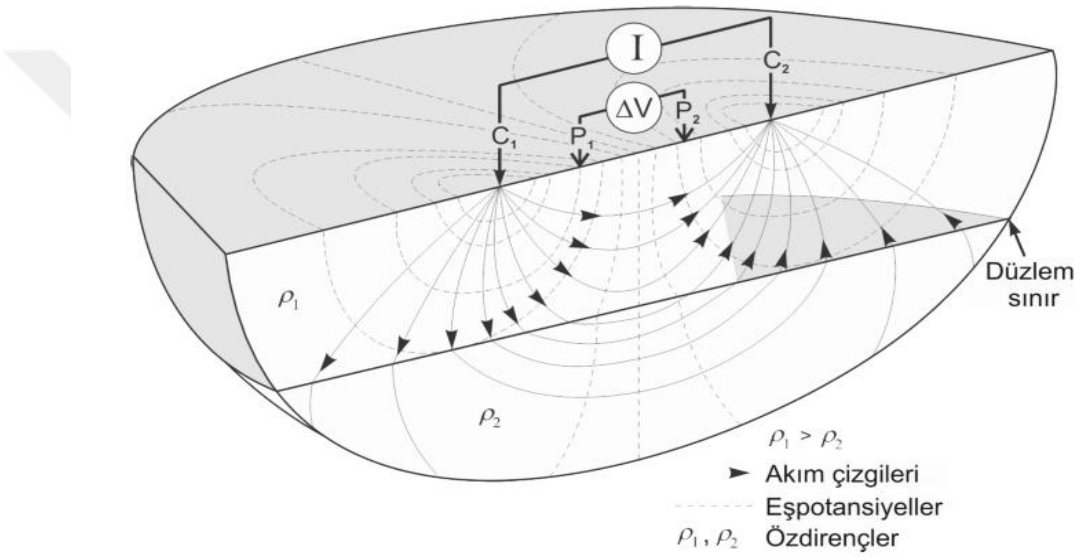
Elektrik özdirenç yöntemleri 1900'lerin başlarında geliştirilmiş olmasına karşın 1990'larda verileri işlemek ve analiz etmek için bilgisayarların mevcudiyeti nedeniyle çok daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik özdirenç yöntemi, yeraltı suyu kaynaklarının aranmasında, fayların belirlenmesinde, jeotermal ve maden aramalarında, arkeolojik alanların tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Reynolds, 2010).

DAÖ yönteminde yeryüzünden elektrik potansiyel alanı oluşturmak için iki noktada (C1, C2) elektrik alan uygulanarak diğer iki nokta (P1, P2) arasında gerilim farkının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır (Şekil 4.2). Bu yöntemde akım elektrotları;

elektrik alanının uygulandığı elektrotlar, gerilim elektrotları ise gerilim farkının ölçüldüğü elektrotlar olarak adlandırılmaktadır.

Elektrik özdirenç yönetmemin amacı, yer içindeki özdirenç dağılımını belirlenmesidir.

C1 ve C2 elektrotlar vasıtasıyla yere akım verir iken, P1 ve P2 noktaları arasındaki potansiyel elektrotlar arasındaki gerilim farkı ölçülür ve bu şekilde yerin özdirenci belirlenebilir. Elde edilen değerler ise görünür özdirenç (GÖ)'ler olarak bilinmektedir. (Başokur, 2004).



Şekil 4. 2. Homojen yer içinde elektrik ve voltaj hatlarının düşey yönde dağılımı (Candansayar, 2007).

4.2.1. Yarı Sonsuz ve Homojen Bir Ortamın Potansiyel Dağılımı

Kayaçların elektrik özellikleri, prensip olarak Ohm Yasasına dayanmaktadır. Yasaya göre bir elektrik devresinden doğru akım geçer iken elektrik devresindeki direnç elemanı üzerinde meydana gelen potansiyel veya başka bir ifadeyle gerilimin düşmesi o elemandan geçen akım miktarına bağlı olarak oranı sabittir.

$$R = V/I \qquad (4.4)$$

Burada I akım (amper), V potansiyel (volt) ve R direnç (ohm) olarak bilinmektedir.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (4.5)$$

Bu bağlantıda ρ özdirenç (ohm-m), L akım doğrultusunda uzaklık (m) ve A ise akım doğrultusundaki dik kesit (m^2) olarak bilinmektedir. Sonsuz ve iztrop bir ortamda herhangi bir yerinden nokta kaynaktan akım verildiğini düşünelim. Kaynaktan R uzaklığındaki noktalarda akım yoğunluğu Ohm Yasası gereğince;

$$J = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial V}{\partial R} \quad (4.6)$$

Akım yoğunluğu akımın geçtiği alana oranı;

$$J = I/A \quad (4.7)$$

biçiminde olmalıdır. Bu bağlantıda, J akım yoğunluğudur (A/m²). Elektrik alan potansiyelin gardiyan şeklinde E= - ∇V yazılır; (Telford, 1990). Burada denklem (4.6) ve denklem (4.7) bağıntılarının eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$j = \frac{I}{A} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial V}{\partial R} \quad (4.8)$$

V gerilim farkı integral alınarak,

$$V = \frac{\rho I}{4\pi R} + C \quad (4.9)$$

şeklinde elde edilir. Kaynaktan çok uzakta olan noktalarda ise gerilim sıfır olmasından dolayı 4.8 no'lu denklemdeki C integral sabiti sıfır olmalıdır (Başokur, 2004).

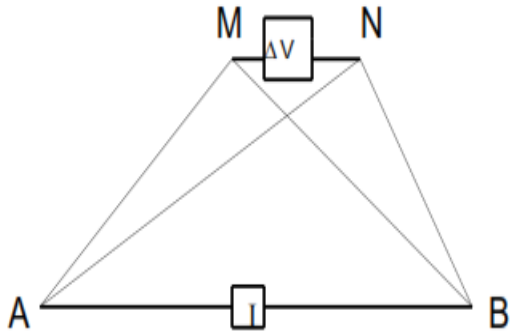
Yerküresi hava ile sınırlı olduğundan dolayı, ortam yarı sonsuz kabul edilir. Denklem 4.8 yarı sonsuz bir ortam için

$$V = \frac{\rho I}{2\pi R} \quad (4.10)$$

şeklinde yazılabilir.

I akım homojen ve izotrop yarı sonsuz bir ortama, yeryüzünden iki A ve B noktalarındaki elektrotlarla verilirse, M ve N noktalarındaki gerilim farkı elektrotlar arasında (4.3) denklem şeklinde hesaplanabilir.

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi R}\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right) \quad (4.11)$$



Şekil 4. 3. Akım ve gerilim arasındaki uzaklık (Başokur, 2004).

$$K = \frac{2\pi}{(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN})} \qquad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki K geometrik faktör olarak isimlendirir ve uzaklık boyutundadır.

Denklem 4.10 homojen ve izotrop ortamın özdirencidir:

$$\rho = K\frac{\Delta V}{I} \qquad (4.13)$$

4.3. Görünür Özdirenç Kavramı

Gerçek jeolojik ortamların yeryüzü izotrop yarısonuz ortam aksine karmaşık yapılardan oluşmakta olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı arazide ölçülen özdirenç bağıntıları yerin gerçek özdirenç değerlerini taşımamaktadır. Jeofizik özdirenç çalışmalarında arazi uygulamalarında yer içine gönderilen akım ve yeryüzünde ölçülen gerilim farkının 4.13'de yerine konulmasıyla elde edilen özdirenç değerlerine görünür özdirenç (GÖ) adı verilir. GÖ sadece izotrop yarı sonuz ortamlarda gerçek özdirenç değerine eşit olur (Başokur, 2004).

$$\rho_a = K\frac{\Delta V}{I} \qquad (4.14)$$

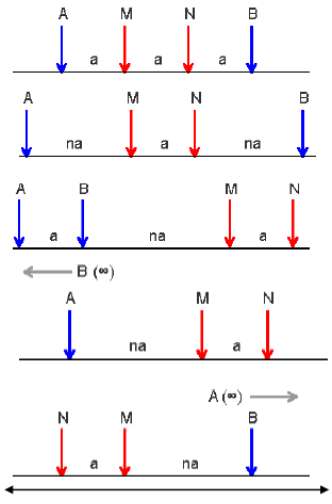
4.4. Elektrot Dizilimleri

A ve B akım elektrotlarının ve M ve N ise gerilim elektrotlarının farklı konumlara göre farklı dizilimleri vardır. Bir diğer ifadeyle, aynı yer için farklı elektrot dizilimi ile ölçülen gerilim farklı ve bu yüzden farklı GÖ değerleri elde edilmektedir. Bu dizilimler, amaca göre seçilmelidir. Schlumberger ve Wenner dizilimleri derin araştırmalarda tercih

edilir. Yanal süreksizlikleri belirlemek için pole-dipole dizilimleri genellikle kullanılmaktadır (Candansayar, 2007). Şekil 4.4 elektrotların sinyal genliği ve elektrot dizilimleri gösterilmektedir.

DAÖ araştırmalarında akım ve gerilim elektrotlarının konumları için çeşitli elektrot dizilimiler mevcut olup elektrotların yerleri ve aralarındaki uzaklıklar farklı şekillerde olabilmektedir. Sığ yüzey çalışmalarında akım ve potansiyel elektrotların birbirine yakın biçimde ölçü alınmaktadır. Akım ve potansiyel, elektrotların simetrik olarak hesaplamalar açısından daha uygundur. Akım ve potansiyel elektrotların açılmasıyla ve birbirinden uzaklaşmasıyla daha derinlere nüfuz etmesini sağlar. Söz konusu bu dizimler, araştırılan yapıya göre seçilmektedir. Özdirenç yönteminde ise sıklıkla kullanılan elektrot dizilimler şu şekildedir:

- Wenner dizilimi
- Schlumberger dizilimi
- Dipol-dipol dizilimi
- Pol-pol dizilimi

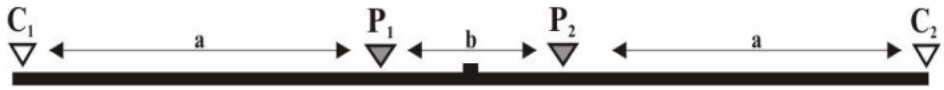


Dizilim Adı	Geometrik Faktör (k)	P=9	k
Wenner	2πa	a=3	18.8
Schlumberger	πn(n+1)a	a=1, n=4	62.8
Dipole-Dipole	πn(n+1)(n+2)a	a=1, n=7	1583.4
Sol-yönlü Pole-Dipole (AMN)	2πn(n+1)a	a=1, n=8	452.4
Sağ yönlü Pole-Dipole (MNB)	2πn(n+1)a	a=1, n=8	452.4

Şekil 4. 4. Elektrotların sinyal genliğine göre dizilimi (Gündoğdu, 2018).

4.4.1. Schlumberger Elektrot Dizilimi

Schlumberger elektrot dizilimine göre, içeride iki akım elektrotu P_1 ve P_2 ve dışarıda iki potansiyel elektrotları bir doğru üzerinde C_1 P_1 P_2 C_2 simetrik merkeze göre yerleştirilir (Şekil 4.5). C_1 C_2 aralığı P_1 P_2 aralığı 10 katı olacak şekilde ayarlanabilir.



Şekil 4. 5. Schlumberger elektrot dizilim gösterimi (Karaaslan, 2015).

C_1 P_1 uzaklığı (a) ve P_1 P_2 uzaklığı (b) olduğunda elektrotlar arası açıklığı $\frac{1}{5} \leq \frac{a}{b} \leq \frac{1}{20}$ şeklindedir. Bu dizilimin geometrik faktörü K şöyledir:

$$K = \frac{2}{\frac{1}{a-\frac{b}{2}} - \frac{1}{a+\frac{b}{2}} - \frac{1}{a+\frac{b}{2}} \frac{1}{a-\frac{b}{2}}} = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (4.17)$$

Schlumberger elektrot diziliminde GÖ ise;

$$\rho_a = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \frac{\Delta V_a}{I} \quad (4.18)$$

şeklindedir.

Schlumberger dizilimi, akım elektrotlarının açılımı nedeniyle uzaklıkları artırılır ve bu sebepten yanaldan daha çok düşey yöndeki -yatay tabaklanma- değişimlere duyarlı olmaktadır. Söz konusu bu çalışmalar da jeolojik birimlerin derinlikteki değişiminin izlenmesinde tercih edilmektedir. Bu bağlamda düşey derin sondaj çalışmalarında, Schlumberger dizilim sistemi tercih edilmektedir.

4.5. DES Ölçümleri Veri Hazırlama ve Veri Sunumu

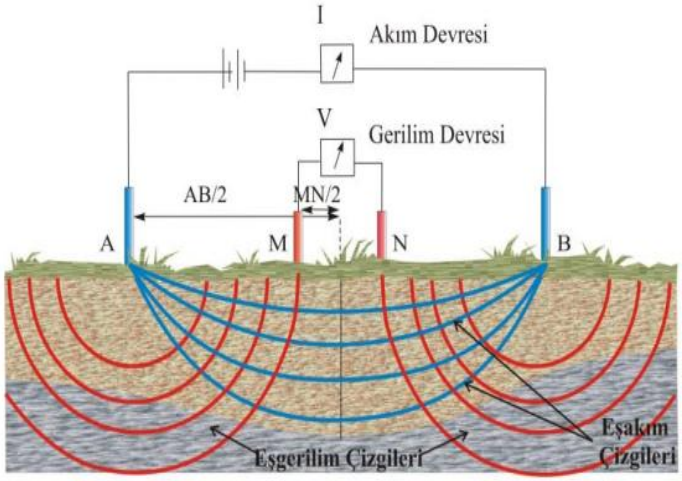
DAÖ yöntemi genel olarak üç farklı saha teknikleri olan sondaj ölçüsü, profil ölçüsü veya haritalama ve sondaj-profil ölçüsü şeklinde uygulanmaktadır. Ölçülen veriler ise profil eğrileri ve yapma-kesitleri şeklinde sunulmaktadır.

4.5.1. Düşey Elektrik Sondaj (DES) Ölçüsü

DES tekniğinin amacı, yeraltının düşey yöndeki özdirenç dağılımının değişimini göstermektedir. DES ölçümleri ile yeryüzünden yeraltı derinliğe doğru yüzlerce metre

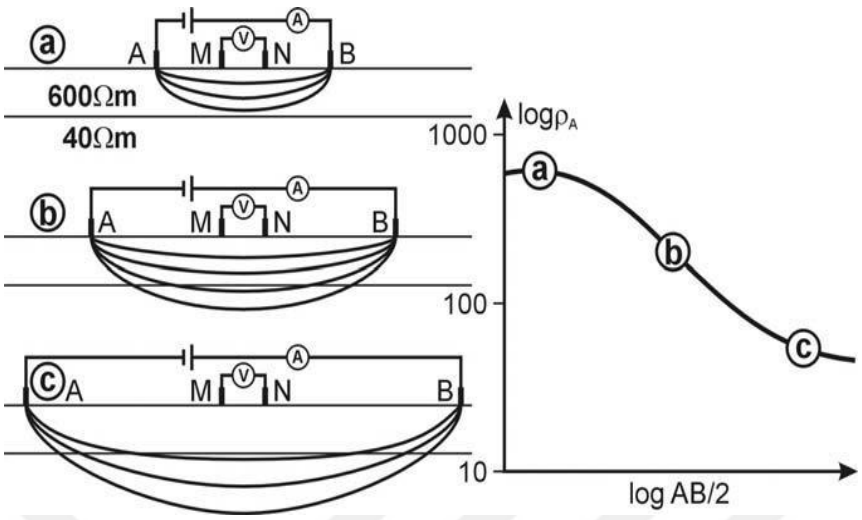
kadar incelenebilir. Bu teknikle ölçülen veriler nicel ve nitel olarak yorumlanmaktadır. Araştırma sonucunda yer içinin özdirenç dağılımı ve yatay tabakaların durumu aktarılır. DES verilerinin daha iyi değerlendirilebilmesi için mekanik sondaj verileri ile birlikte yorumlanabilir. DES eğrilerinin yorumunda yeraltının yatay tabakalardan oluştuğu varsayılır.

DES ölçümlerinde Schlumberger elektrot açılımı uygulanır, dört elektrot simetrik şekilde düz bir hat boyunca dizilir. İki akım elektrotu dışarda ve iki potansiyel elektrotları içeride olacak şekilde konumlandırılır (Şekil 4.6). Araştırma derinliğini artırmak için potansiyel elektrotlar sabit kalır ve akım elektrotları dışarıya doğru açılır. Akım elektrotları açıldığı zaman akım ve potansiyel elektrotları arasındaki mesafe büyük olduğundan dolayı potansiyel farkı doğru ölçebilmek için yeterli olmamaktadır ve küçük kalmaktadır. Bu sebeple potansiyel elektrotların mesafesi de artırılmaktadır.



Şekil 4. 6. Yeryüzünde Schlumberger diziliminin şematik gösterimi (Koray, 2006).

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere, sol tarafta (AB/2) değerlerinin artması ile akım daha derinlere nüfuz eder. Sağ taraftaki eğri ise (AB/2)'nin artmasına bağlı olarak GÖ eğrisinin değişimini göstermektedir. Bu açılım ile derinlerdeki yatay tabakaların belirlenmesi mümkün olur. Burada söz konusu kademeli olarak artan akım elektrotlar aralığı ile ölçülen GÖ'ler gösterilmiştir. Sağ taraftaki şekilde ise ölçülen verileri logaritmik (log-log) olarak çizilmiştir. Çizilen bu eğri, yerin özdirenç ve derinlik yapısına göre bir boyutlu ters çözüm temelini oluştururken düşey elektrik sondaj eğrisi olarak adlandırılır (Yıldırım, 2021).

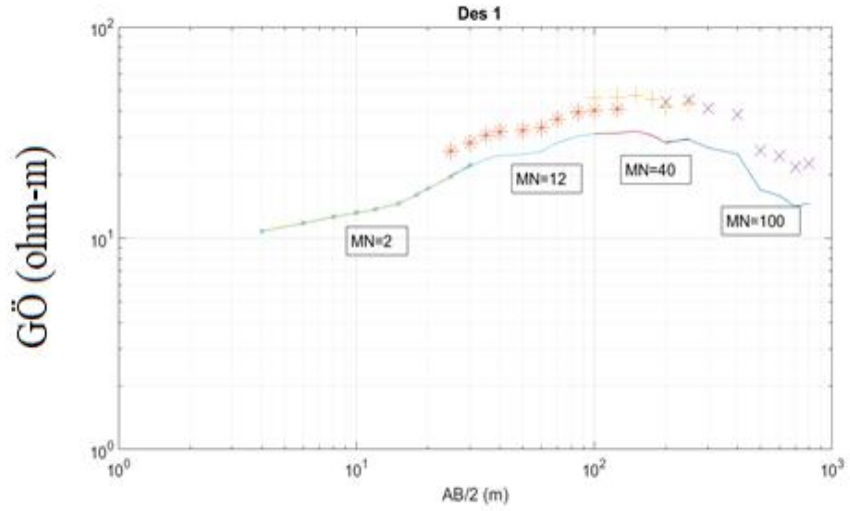


Şekil 4. 7. Düşey elektrik sondaj eğrisi

4.5.2. Düşey Elektrik Sondaj (DES) Alan Çalışmalarında

DES ölçümlerinde AB/2 mesafesi her iki tarafa eşit ve simetrik şekilde düz bir hat üzerinde artırılır. Açılım sonucunda akımın daha derinlere nüfuz edebilmesi nedeniyle artırılan AB/2 mesafesi, potansiyel farkının çok küçük olmasına sebep olur. Açılmış olan akım elektrotlarının mesafesini karşılamak ve voltaj değerini artırmak için MN mesafesi de artırılır. Şekil 4.8'de MN artış örneği verilmiştir. Bu sondaj eğrisinde AB/2 mesafesi arttığı için MN mesafe aralığı dört kere artırılmıştır.

Arazi verilerinin ölçümü ve yoruma hazırlanmasında dikkat edilecek ayrıntılar izleyen biçimde verilebilir. Kuram gereği Schlumberger diziliminde sonsuz küçük MN aralığında elektrik alan ölçülmelidir. Uygulamada ise kısa MN aralığı düşük gerilim farkı ölçülmesine neden olur. Gerilim farkının düşük olması (potansiyel farkı), ise daha fazla gürültü ölçümü olarak sonuçlanır.



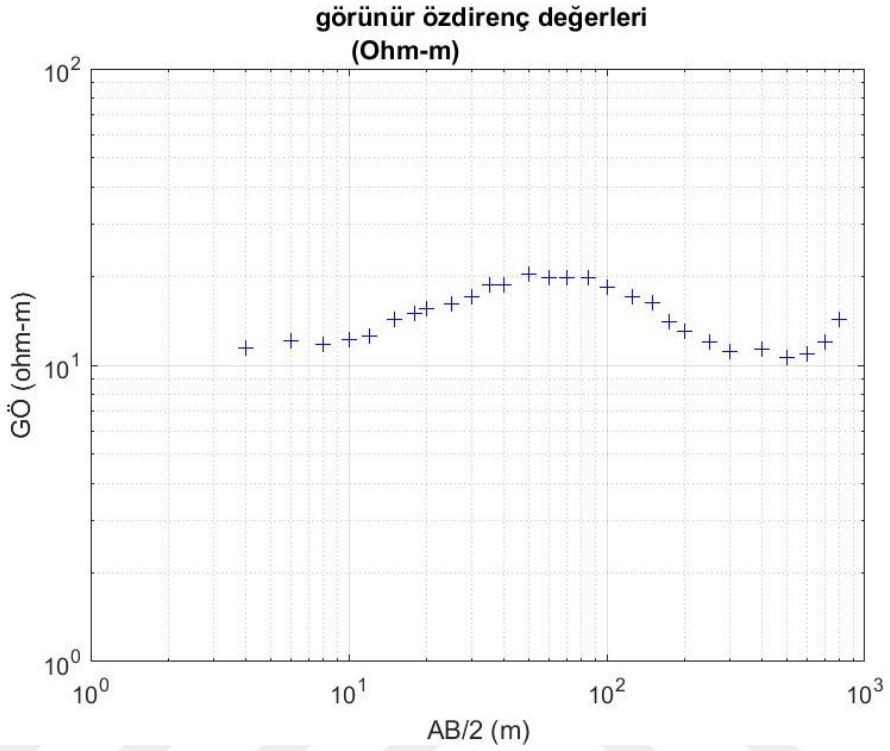
Şekil 4. 8. DES 1 noktası için farklı MN değerleri ile elde edilen eğriler (işaretler) ve ilk MN eğrisine kaydırma sonrası görünümü (sürekli çizgiler)

Özellikle 1B Ters çözüm yapılacaksa MN elektrotları arasını geniş seçmek basit ama tehlikeli bir yaklaşımdır. Schlumberger diziliminde MN ne kadar büyük olursa ölçülen gerilim o kadar büyük olacaktır ancak ölçülen değerde olması gereken değerden sapar, ölçülen görünür özdirenç değişir ve önerilen oran MN < ~AB/10 şekildedir. Alan koşullarında en azından ilk MN aralığında bu orana sadık kalınmalıdır (Ulugergerli, 2017). İzleyen açılımlarda bu oran değiştirilebilir. Geniş MN açıklığı ile yapılan ölçümler, MN değeri de kullanıldığı için 2B veya 3B ters çözüm çalışmalarında sorun yaratmaz. Ölçüm sonrası aşamada, elde edilen parçalı veri, ilk MN açıklığına indirgenir. Diğer bir deyişle tüm eğri parçaları ilk MN (=2m) için elde edilen eğriye çakışacak şekilde kaydırılır (Şekil 4.8). Ters çözüm çalışmalarında bu kaydırılmış veri kullanılır.

4.5.3. Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve Görünür Özdirenç (GÖ) Eğrisi

Genel olarak Schlumberger elektrot dizilimi için x-ekseninde AB/2 ve y-ekseni de ölçülen GÖ olmak üzere ρ_a eğrisi çizilir ve elde edilen eğri **DES eğrisi** olarak adlandırılmaktadır. AB/2, birkaç metreden yüzlerce metreye ve ölçülen GÖ değerleri de birkaç ohm'den binlerce ohm'e değişebileceği için DES eğrisinde her iki eksen üzerinde logaritmik olarak çizilir (Şekil 4.9). DES verileri üzerinde nicel yorum yapmak için bu verilere ters çözüm uygulanması gerekir. DES verilerinin nicel yorumunda, yeraltının 1-

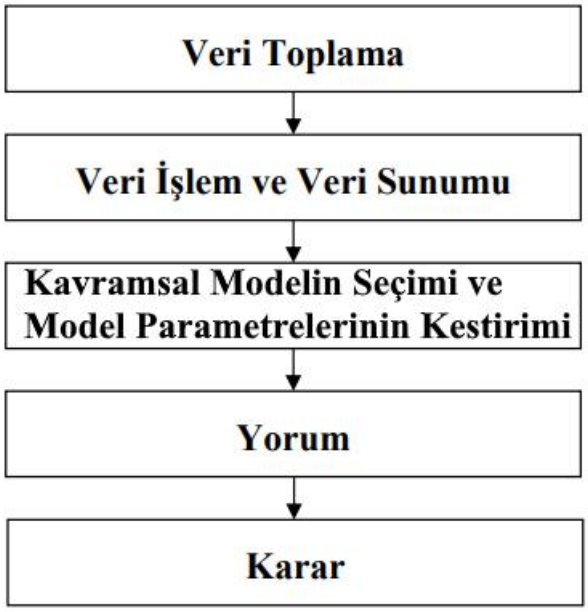
B olduğu kabul edilir ve 1-B ters çözüm uygulanır ve bu işlemin sonucunda tabakaların özdirenç ve kalınlıklar hesaplanır.



Şekil 4. 9. Schlumberger elektrot dizilimi için DES eğrisi

4.6. Jeofizik Verileri ve Yorumun İlkeleri

Jeofizik uygulamalar için akış şeması, Şekil 4.10.'de gösterilmektedir. Bunun ilk aşamasını veri toplama oluşturmaktadır. En ideal jeofizik yöntem(ler)in tercihi birçok etkene bağlıdır.



Şekil 4. 10. Jeofizik çalışmaları için akış şeması (Başokur, 2004).

Jeofizik yöntemlerinde modelleme şu şekilde açıklanabilir; varsayılan bir modelin fiziksel parametreleri ile jeofizik tepkisini ilişkilendiren matematiksel bağlantısıyla tanımlanmasıdır. Söz konusu bağlantı sayesinde modelin jeofizik tepkisi sayesinde olarak hesaplanması mümkündür. Jeofizik yöntemlerle ölçülen verilerin nicel ve nitel şeklinde yorumlar yapılır ve bunlar aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

4.6.1. Düz-Çözüm (Forward Modeling)

Yeraltı modelinin elde edilmesi için jeofizik parametrelerin bilinmesi önemlidir. Sahada planlanan ve ölçü alınan bir modele benzetilmesi **modelleme** olarak tanımlanır ve bu model içerisinde, süreci denetleyen ve çözülmesi istenen niceliklerin (parametrelerin), sınıflandırılması, anlamlandırılması ve sayılarının saptanması **parametreleştirme** olarak adlandırılır. Yani jeofizik yöntemlerinde modelleme, varsayılan bir modelin fiziksel parametreleri ve farklı geometrisi ile jeofizik tepkisini ilişkilendiren matematiksel bir bağıntı ile tanımlanmasıdır. Jeofizikte çözülmesi gereken parametreler, fiziksel ve geometrik değerlerin tanımlanmasıdır ve bu geometri yeraltının biçimlendirilmesiyle ilişkilidir. Söz konusu bu bağıntı yardımıyla modelin jeofizik tepkisinin sayısal olarak hesaplanması olarak tanımlanmaktadır (Başokur, 2002).

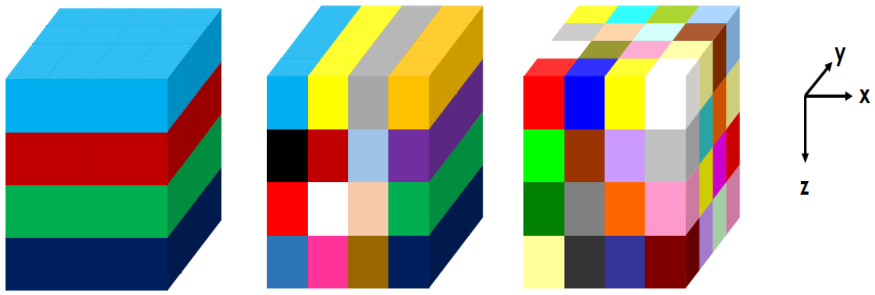
Jeofizik elektrik yöntemlerinden biri olan DAÖ yönteminde veriler, 1-B, 2-B ve 3-B olarak nicel ve nitel şeklinde yorumlanabilir. Nitel yorum jeofizik veri üzerinden doğrudan yapılan yorumdur. DAÖ yönteminin ilk uygulandığı yıllarda 1-B olduğuna dair yorumlar yapılırdı ve kabaca jeolojik yapı hakkında bilgi verilirdi.

Nicel yorum ise matematiksel işlemler jeofizik verileri üzerinde uyguladıktan sonra elde edilen yeraltı parametreleri ile yapılan yorumudur. Bir modelin jeofizik tepkisi ters çözümde kuramsal veri olarak kabul edilir.

DAÖ verilerinde; 1-B modellemede yer içi iletkenlik dağılımına göre homojen ve izotrop yatay katmanlardan oluştuğu ferz edilir ve her tabakanın kalınlık ve özdirencin değerleri atanır (Şekil 4.11). 1-B model için düşey elektik sondaj verileri hesaplanır.

2-B modelleme için yer içinin iletkenliği x ve z yönünde değişken ve y yönünde sabit kabul edilir (Şekil 4.11). Oluşan bu modelde her bloğun x ve z yönünde kalınlıkları belli olur ve sonra her bloğa istenen özdirenç değerleri atanır ve elektrik dizilimlerine göre GÖ yapma-kesit verileri hesaplanır.

3-B modelleme ise yer içinin iletkenliğine göre kendi içinde izotrop homojen küplerden oluşturduğu varsayılır ve x-y düzleminde istenen elektrot dizilimine göre GÖ'ler hesaplanabilmektedir. GÖ değerleri dayanarak paralele doğrultularda yapma-kesit haritaları elde edilmesi mümkündür.

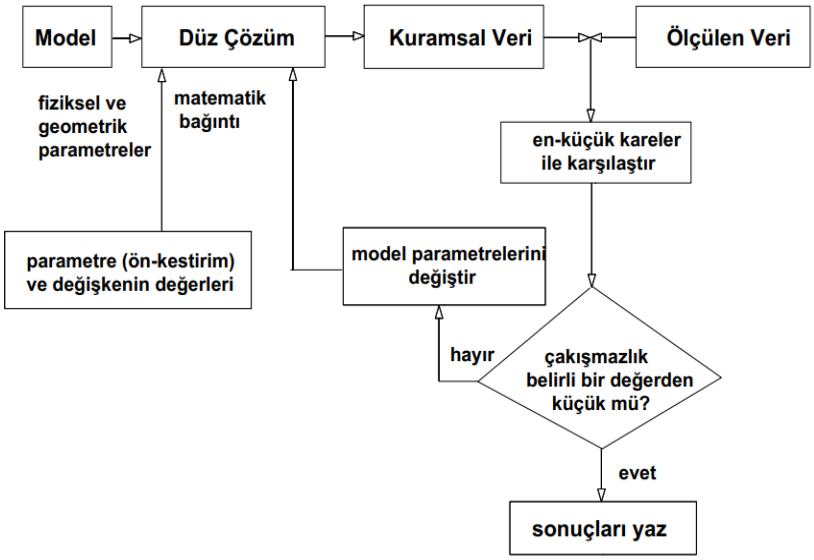


Şekil 4. 11. 1-B iletkenlik modeli, 2-B iletkenlik modeli, 3-B iletkenlik modeli (Gündoğdu, 2018).

4.6.2. Ters Çözüm (Inverse Modeling)

Jeofizik veriden tanımlanan bir model, fiziksel parametrelerin elde edilmesi işlemi, yani ölçülen veri ile kuramsal veri arasındaki çakışma sağlayan parametreler **ters çözüm** olarak bilinmektedir. Ters çözümün ilk aşaması bir modelin kurulmasıdır.

Yorumcu tarafından model parametreleri için ilk başta ön-kestirim tercih edilir ve başlangıç modeline (ön-kestirim) karşılık gelen kuramsal veri hesaplanır. Kuramsal veri ile ölçülen veri kıyaslanır. Bir sonraki adımda, ölçülen ve kuramsal verinin çakışmasını görmek için yineleme sayısı arttırılır. Söz konusu çakışma aslında model yanıtı ile ölçülen veri arasındaki farkı minimuma indirmektir (Şekil 4.12).



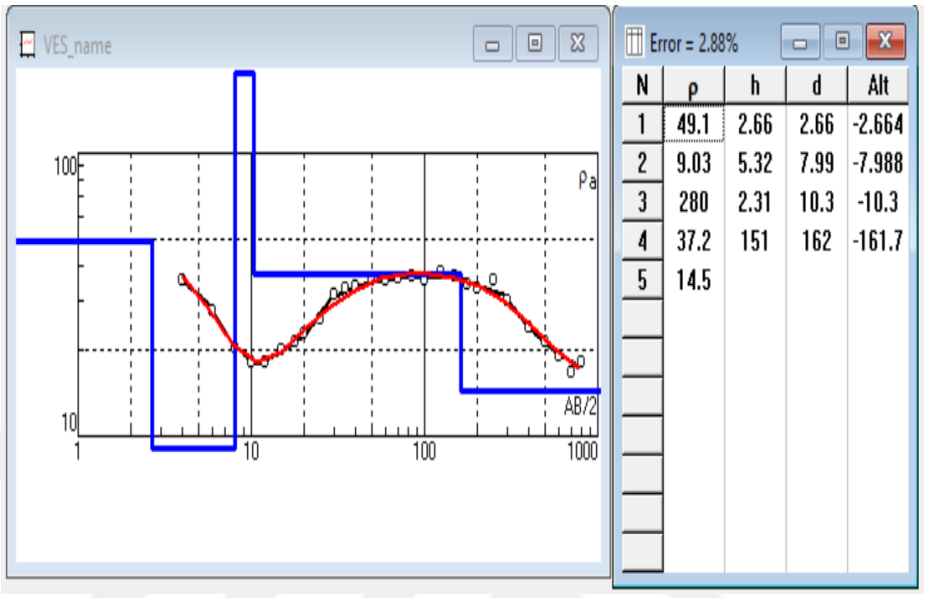
Şekil 4. 12. Nicel yorumlamanın akış şeması (Başokur, 2003).

4.6.2.1. DAÖ yönteminde DES'lerin 1-B ters çözümü

Ters-çözüm işlemi, yeraltının gerçek jeolojisin temsili için seçilen modele bağlıdır. 1-B modelde hesaplamalar daha kolay yapılabilir iken 1-B ters-çözümü, sadece yeraltının yatay katmanları hakkında bilgi sağlamaktadır. 2-B ters çözüm uygulaması, ölçü noktaları düz bir hat üzerindeki durumunu göstermektedir. 2-B ters çözümünde ise program yazılımının gereksinimi yüksektir. 3-B ters- çözüm uygulaması, arama bölgesinde çok sayıda ölçü hattı bulunması anlamı taşımaktadır ve bu tür işlemi çok güçlü niteliğe sahip bilgisayarlara gerek duymaktadır (Başokur, 2015). Ters-çözüm işlemi bir fiziksel model üretmekte olup yorumlayan kişi tarafından jeolojik koşulları göre model açıklaması yapılmaktadır.

Ters çözüm işlemi, arazide ölçülen ve hesaplanan model eğrisinin çakışmasıdır. Söz konusu durumda çakışma eğriler eğer üst üste örtüşürse hata payı düşük olmakta ve model ile verinin uyumunu göstermektedir. Ters çözüm sonucunda yeraltına ait

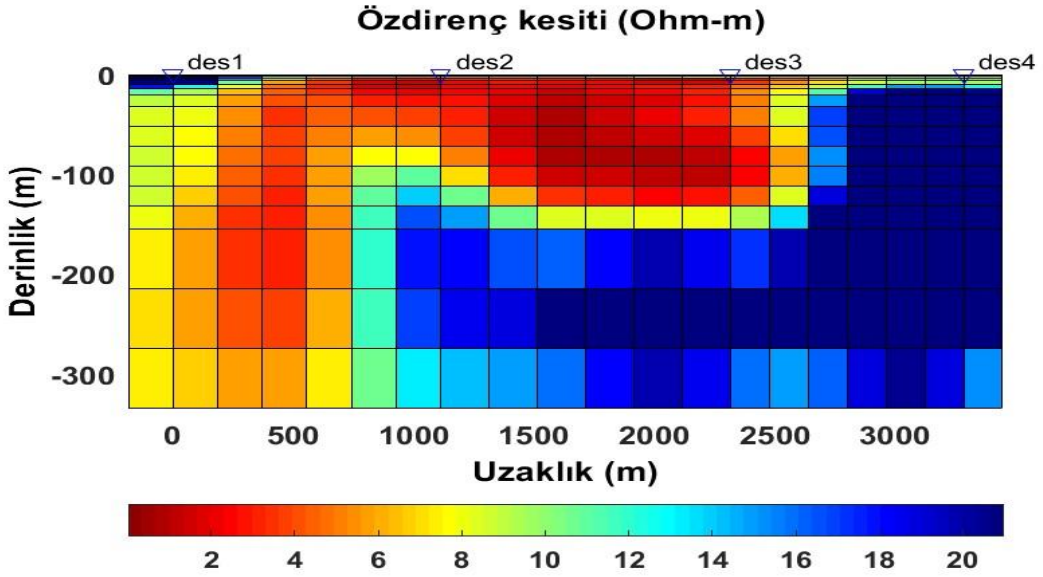
özdirençler ve kalınlıklar bir boyutlu olarak hesaplanır. Burada ölçülen GÖ siyah noktalarla, model eğrisi ise kırmızı renkli çizgiyle gösterilmiş ve kırıklı çizgi ile elde edilen yer modelidir. Teoride en alt tabakanın kalınlığının her zaman sonsuz olduğu varsayılır (Şekil 4.13).



Şekil 4. 13. IPI2win ters çözümü sonucu, bir sondaj eğrisinin değerlendirmesi

4.6.3. Profil boyunca Ölçümler

Hem yanal ve hem düşey yönde özdirenç değişimi ile ilgili bilgi alınması amacı ile uygulanır. Bu uygulama, bir hat boyunca ölçü noktalarında ölçülen DES verilerinin bir araya gelmesi şeklindedir. Ölçülen verilerden farklı AB/2 değerleri için profil eğrisi ve her istasyon için sondaj eğrisi elde edilmesi mümkündür. Yer içinin 2-B özdirenç dağılımının elde edilmesi, 2-B ters çözüm uygulayarak mümkündür (Şekil 4.14).



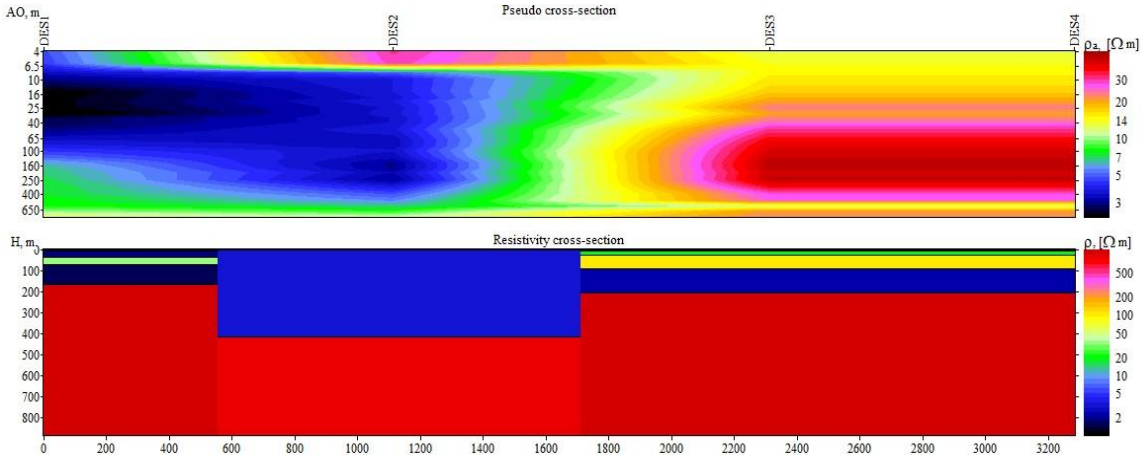
Şekil 4. 14. Profil boyunca alınan DES verilerinin 2-B ters çözümünden elde edilen kesit

4.7. Düşey Elektrik Verilerinin Sunum Şekilleri

Yeraltı jeoloji yapılarının sürekliliği, derinliği, uzanımı, eğimi ve bunlara benzer başka parametrelerin ortaya konulabilmesi için haritalar gerekmektedir. Bu nedenle özdirenç çalışmalarında jeofiziğin diğer yöntemlerindeki gibi yerin derinliğine doğru, bir yapının hangi doğrultuda uzandığının belirlenebilmesi için haritalar çizilir.

4.7.1. Görünür Özdirenç Yapma Kesiti (Pseudo- section)

Yapma kesit haritasını oluşturmak için yeri bir özdirenç profili boyunca derinliğe doğru keserek yeryüzünden derinliğe doğru jeolojik yapı yorumlanmaya çalışılır. Söz konusu özdirenç profili üzerinde yer alan DES noktaları, belirli mesafeyle yerleştirilir ve bu şekilde yatay uzaklığı oluşturmak mümkün olabilmektedir. AB/2 değerleri düşey eksende ve her bir eksendeki AB/2 için karşılık gelen bir GÖ değeri (ρ_a) şeklinde uygulanır. Her bir profil üzerinde, belirlenen bir optimum eş özdirenç eğrileri geçirilmektedir. Şekil 4.15'te profil 1 için 1-B ters çözüm sonucu IPI2win ile gösterilmiştir.



Şekil 4. 15. Profil 1 için yapma kesit ((Pseudo- section) haritası ve yer elektrik kesiti (cross section).

4.7.2. Görünür Özdirenç Yatay Kesit Haritası (Contour Map)

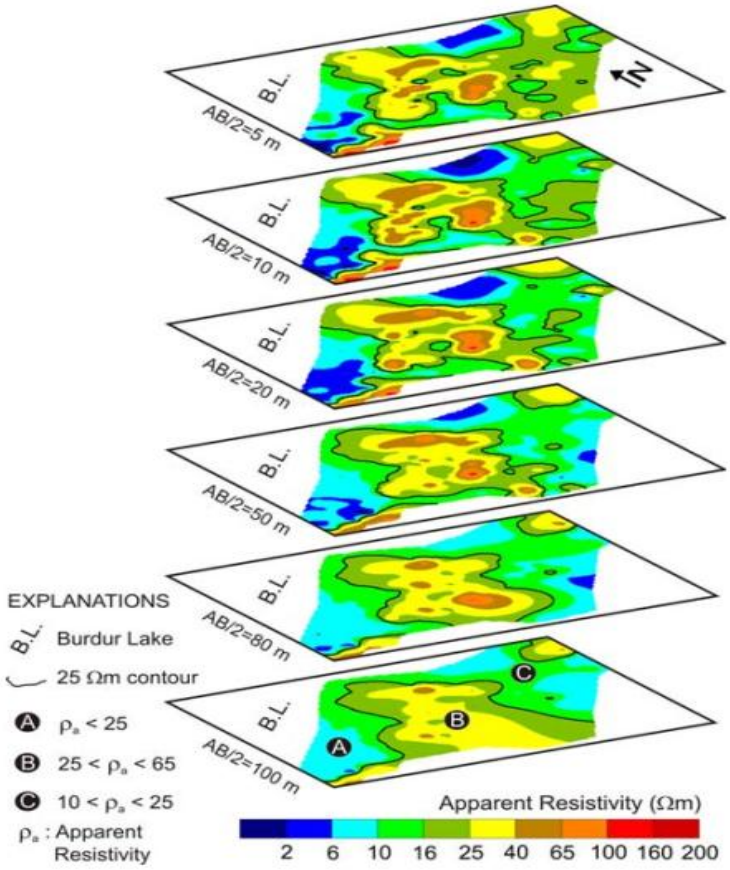
Yatay kesit haritaların toplanan DAÖ, DES verilerinin bir başka şeklidir ve amacı yer içinde belirli bir derinlikte olan bir süreksizliğin ya da bir tabakanın coğrafik olarak ne şekilde uzandığının ortay koyabilmesidir. Bu haritalarda seçilen herhangi bir AB/2 (m) değerleri için tüm DES üzerindeki noktalarının ölçekli oluşturulması olarak gerekir. Sahada ölçülmüş olan her DES noktasına karşılık gelen, belirlenen derinlik seviyesindeki, GÖ değeri yazılarak düşey kesit haritalarda benzer şekilde bir optimum aralıkta eş özdirenç eğrileri çizilmektedir (Kaya, 1999) (Şekil 4.16).

4.7.3. Yer elektrik Kesit (Geoelectrical Section)

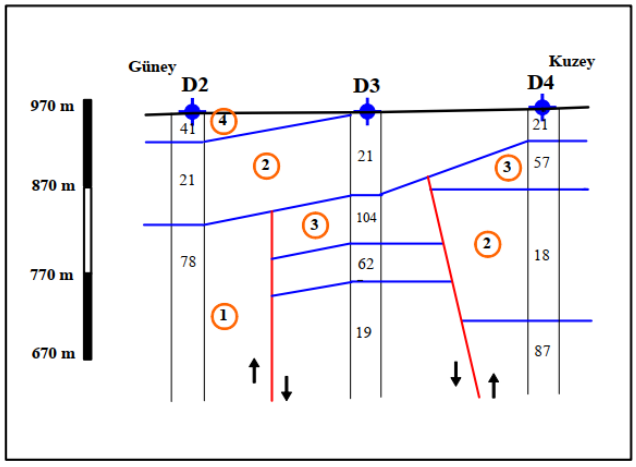
Yer elektrik kesiti, bir profil boyunca yeraltı derinlik değişiminin incelenmesi anlamına gelmektedir. Ancak bu kesitte farklı olarak GÖ'ler ve AB/2 değerleri değil saha ölçülerinden elde edilen GÖ değerlerinin 1-B ters çözümü sonucunda bulunan gerçek özdirençler ve kalınlıklar kullanılmaktadır.

Ayrıca genel olarak yer elektrik kesitlerinde, söz konusu özdirenç değerleri eşit değildir. Burada katmanların jeolojik durumlarına bakılarak, benzer özdirenç değerlerine sahip olan, jeolojik olarak aynı birimlere karşılık gelebilecek derinlik seviyeleri birleştirilerek yer yapı ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda yer elektrik kesitleri oluşturulurken düşey kesit haritalarından da faydalanılabilir (Şekil 4.17). Bu kesitlerde

düşey eksen derinlik (m) olarak seçilir ve yatay eksen ise Düşey sondaj noktalarına karşılık gelmektedir.



Şekil 4. 16. AB/2 seviyeleri için görünür özdirenç haritaları (contour map) (Balkaya vd., 2009).



Şekil 4. 17. Yer elektrik kesiti (Balkaya, 2002).

4.8. DES Verilerinin Ters Çözümü Teorisi

4.8.1. Uchida ve Murakami (1990) İki Boyutlu Ters Çözümü

4.8.1.1. İki Boyutlu Düz Çözüm

Bu algoritmada, özdirenci x ve z eksenleri boyunca değişen ancak y ekseni boyunca değişmeyen iki boyutlu bir yeryüzü düşünelim. Akım, zemin yüzeyindeki bir nokta kaynağa enjekte edildiğinden, ancak yeryüzünde üç boyutlu olarak akar. Burada 2-B topraktaki doğru akım tepkisi Poisson denklemi ile verilir,

$$\varphi(x,z)\nabla^2\varphi(x,y,z) = I(x,y,z) \qquad (4.25)$$

ifade edilir. Burada φ (x, z) iletkenlik, φ (x, y, z) elektrik potansiyeli ve I (x, y, z) kaynak akım şiddetidir. İki akımın noktalar olduğu hariç I (x, y, z) = 0 olduğu zaman Laplace denklemine dönüşür. Denklem 4.25'ya y-koordinatına göre Fourier dönüşümü uygulayarak;

$$V(x,z)\nabla^2\,\hat{V}\left(x,k_y,z\right) + \,k^2{}_yV(x,z)\,\hat{V}\left(x,k_y,z\right) = \,\hat{I}\left(x,k_y,z\right) \qquad (4.26)$$

burada ∧ Fourier dönüşümü anlamına gelir ve k_y Fourier değişkeni olarak bilinir. Tüm ağ üzerinde ayrıklaştırma bir matris denklemi şeklinde;

K V = S (4.27)

burada K pozitif simetrik değerlere sahip bir L*L seyrek banttır. Bu sayılar her bir sonlu elemanın geometrisi ve iletkenliği tarafından belirlenir. L düğüm sayısı, v her bir düğümdeki bilinmeyen potansiyel sütun vektörü ve s her bir düğümdeki kaynak akım yoğunluğu sütun vektörüdür. Daha sonra, gerçek 3-B alandaki potansiyel ters Fourier dönüşümü uygulanarak elde edilebilir,

$$V(x,o,z) = (\tfrac{1}{\pi})\int_0^\infty \widehat{V}(x,k_y\,,z)dk_y \qquad (4.28)$$

Schlumberger dizisi için görünür özdirenç ρ_a şu şekilde

$$\rho_a = \frac{G\,\Delta V}{I}$$

Burada

$$G= \pi\frac{\left(^{AB}/_2\right)^2 - (^{MN}/_2)^2}{2(^{MN}/_2)} \qquad (4.29)$$

$\Delta\varphi$; M ve N elektrotları arasındaki potansiyel farkı ve I ise uygulanan akımdır.

4.8.1.2. İki Boyutlu Ters Çözüm

Ters çözüm, veriden matematiksel bağlantılarla model parametrelerinin hesaplanması olarak tanımlanabilir. Jeofizik arama yöntemlerinde genel olarak problemler doğrusal değildir. Bu sebepten dolayı doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle, doğrudan ters çözüm uygulamasının mümkün olmadığı durumlarda problemleri çözmek için rutin olarak kullanılır. Bu konuda doğrusal olmayan problemlerin çözümünde uygulanan yuvarlatılma sönümlü (smoothing) en küçük kareler ters çözüm algoritması kullanılır. Burada DAÖ verileri üzerinde 2-B ters çözüm uygulaması açıklanacaktır. Söz konusu yöntemde ters çözüm işlemi yapılırken, gerçek jeoloji ortamında yer içinde özdirençlerin geniş aralıklarla değişmesinden dolayı (veri ve parametre uzayı) logaritmik olarak seçilir. Genel olarak 2-B ters çözüm uygulamasında bir hat veya doğrultu boyunca birden fazla istasyonda ölçülmüş olan GÖ verileri kullanılır.

$$\begin{cases} x_i = \log p_i \,, i = 1, .. , M \\ y_i \ = \log \rho_{aj}, j = 1, \dots , N \end{cases} \qquad (4.30)$$

BuradaP_i, 2-B bir modelin parametreleri (blok özdirençleri) ve x_i; parametrelerin logaritması olarak ifade edilir, aynı şekilde GÖ değerlerinin logaritması $y_i$ve ρ_{aj} ise ölçülen GÖ verileridir. Burada M parametre ve N ölçülen verilerin logaritmalarıdır. Ölçülen ve hesaplanan GÖ'ler arasındaki hata enerjisi;

$$E = \sum_{j=1}^{N} \{ y_j^0 - \ y_j^c(x) \}^2 \qquad (4.31)$$

bağlantısıyla hesaplanabilir. Burada y_j^0 ölçülen veri ve y_j^c hesaplanan veridir. Denklem 4.42'de Taylor açılımı uygulanırsa;

$$y_j(x^{(k)}) = \ y_j(x^{(k-1)}) + \sum_{i=1}^{M} (\frac{\partial y_j}{\partial x_i})_{x^{(k-1)}} \ \Delta {x_i}^{(k)} \qquad (4.32)$$

burada üst simge (k) k-inci yinelemesi (iteration) numarasıdır. Hata enerjisi (misfit) E'yi en aza indirmek için, parametrelere göre kısmı türevleri alarak;

$$\frac{\partial E}{\partial x_i} = 0 \qquad (4.33)$$

sıfıra eşitlenir. Denklem 4.32'de denklem 4.31yerine koyarak ve türevlerini alarak

$$\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\partial y_j}{\partial x_i}\right)_{x^{(k-1)}} - \left\{ y_j^0 - y_j^c\left(x^{(k-1)}\right) - \sum_{i=1}^{M}\left(\frac{\partial y_j}{\partial x_i}\right)_{x^{(k-1)}} \Delta x_i{}^{(k)} \right\} = 0 \qquad (4.34)$$

denklem 4.34 bir matris ifadesi kullanılarak aşağıdaki gibi yeniden yazılır,

$$(A^{(k-1)})^T\, A^{(k-1)}\, \Delta x^{(k)} = (A^{(k-1)})^T\, \Delta y^{(k-1)} \qquad (4.35)$$

burada, üst simge T matrisin transpose gösterir ve

$$\begin{cases} [A^{(k-1)}]_{ij} = \left(\frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)_{x^{(k-1)}} \\ [A^{(k)}]_i = x_i^{(k)} - x_i^{(k-1)} \\ [\Delta y^{(k-1)}]_j = y_j^0 - y_j^{(k-1)} \end{cases} \qquad (4.36)$$

burada, $\partial y_i / \partial x_i$, Δx_i ve gerçek verilerin logaritmik hesaplamasından türetilmiştir. Örneğin, $\partial y_i / \partial x_i$ türevi aşağıdakiler de kullanılarak hesaplanabilir;

$$\frac{\partial y_j}{\partial x_i} = \frac{\partial \log \rho_{aj}}{\partial \log p_i} = \frac{p_i}{\rho_{aj}} \frac{\partial \rho_{aj}}{\partial p_i} \qquad (4.37)$$

Ters çözümün ilk adımında başlangıç modelini kullanarak bir ileri hesaplama yaptıktan sonra, $A^{(1)}$ matrisini oluşturmak için, $\Delta y^{(1)}$ ve kısmi türevleri $\partial y_i / \partial x_i$ hesaplanır. Daha sonra, $\Delta x^{(2)}$ yineleme değeri denklem (4.35) çözülerek elde edilir. Denklem (4.35) en-küçük kareler veya Gauss-Newton çözümü olarak bilinmektedir. Yineleme (iteration) işleminden sonra güncellenen özdirenç daha sonra aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\rho_i^{(2)} = \rho_i^{(1)} \exp(\Delta x_i^{(2)}) \qquad (4.36)$$

hata enerjisi E belirli bir limitin altına düşene kadar iterasyon birkaç kez tekrarlanır. Denklem (4.35)' te $A^t\, A$ kararsız bir matris olduğundan, dizey çarpımı sonucu tekil bir dizey elde edilir ve köşegen elemanlara bir katsayı eklenerek sönümlü en küçük kareler yöntemi;

$$[\,(A^{(k-1)})^T\, A^{(k-1)} + \lambda I\,]\, \Delta x^{(k)} = (A^{(k-1)})^T\, \Delta y^{(k-1)} \qquad (4.37)$$

Burada λ sönümlü faktörü ve I bir birim dizeydir.

4.8.1.3. Kısmi Türevler

GÖ verilerinin model parametrelerine göre kısmi türev hesaplanması genellikle zordur. Uchida ve Murakami (1990), tarafından Schlumberger DES araştırmalarında

verileri işlemek için Sasaki (1981) tarafından açıklanan algoritmayı takip etmişlerdir. Denklem (4.27) şu şekilde yeniden yazılır;

$\sum_{j=1}^{L} k_{ij}\,\widehat{E_j} = s_i\,, i = 1, \ldots, L$ (4.38)

burada k_{ij} , $\widehat{E_j}$ ve s_i sırasıyla K'nin ve v'nin elemanlarıdır.

Denklem 4.51'de p_m(m = 1 ,…,M) parametrelerine göre türevlerini alarak şu şekilde elde edilir;

$\sum_{j=1}^{L} K_{ij} \frac{\partial \widehat{E_j}}{\partial p_m} = -\sum_{j=1}^{L} \frac{\partial k_{ij}}{\partial p_m}\,\widehat{E_j}$ (4.39)

burada M parametre sayısıdır. Dizey formunda tekrardan şu şekilde yazılır;

$KV' = -K'V$ (4.40)

burada

$[v']_j = \frac{\partial \widehat{E_j}}{\partial p_m}$

ve

$[vK']_{ij} = \frac{\partial k_{ij}}{\partial p_m}$ (4.41)

$\partial k_{ij}/\partial p_m$her bir sonlu elemanın geometrisi tarafından belirlenir. K dizeyinin ij.'sinin elemanının hesaplanması m.'inci özdirenç bloğuyla ilgisi olmadığında sıfırdır. Sağ taraftaki K'v terimi, bir kaynak vektörü olarak düşünüldüğünde denklem 4.40 denklem 4.27 ile aynı biçime sahip olur. Bu nedenle, denklem (4.41) kullanılarak -K' hesaplandıktan ve potansiyel v ile çarpıldıktan sonra, önceki ileri hesaplamadan ayrıştırılmış K kullanılarak v' elde edilebilir. $\partial \widehat{E_j}/\partial p_m$ Fourier dönüşümü alınarak denklem 4.39'a yerleştirilir ve sonuç denklem 4.29 ile görünür. Özdirencin $\partial y_j/\partial x_i$ kısmi türevini elde etmek için kullanılır.

4.8.1.4. Yumuşak Geçiş Kısıtı ile Ters Çözüm

Ters çözüm işlemleri sırasında her bir yineleme sonucunda hata enerjisi azaltılabilir. Ancak bloklar arasında aniden özdirenç değişimi olmadığından veya olağanüstü düşük ya yüksek özdirenç değerleri ortaya çıkmadığından dolayı genellikle kaba bir 2-B model ortaya çıkabilir.

Sasaki (1981) tarafından belirsizlikleri çözmek ve modelden kaldırmak için denklem 4.35'i yuvarlatma faktörü eklenmiştir. Bu sebepten dolayı modelden belirsizlikleri (pürüzsüzlük) kaldırmak için Laplacian operatörü uygulanmıştır.

$$\Delta\tilde{x}_i = \alpha_i\left(\Delta x_i^{sol} + \Delta x_i^{sağ} + \Delta x_i^{üst} + \Delta x_i^{alt} - 4\Delta x_i\right),\ i = 1, \ldots, M \qquad (4.42)$$

bu ifadede üst simgeleri olan; sağ, sol, üst, alt indisleri i.inci bloğa komşu olan bloklar olarak tanımlanabilir ve α_i yuvarlama veya yumuşatma faktörü olarak kullanılır. Denklem 4.42 tüm özdirenç bloklarına uygulanırsa

$$\Delta x = \widetilde{C}\Delta x \qquad (4.43)$$

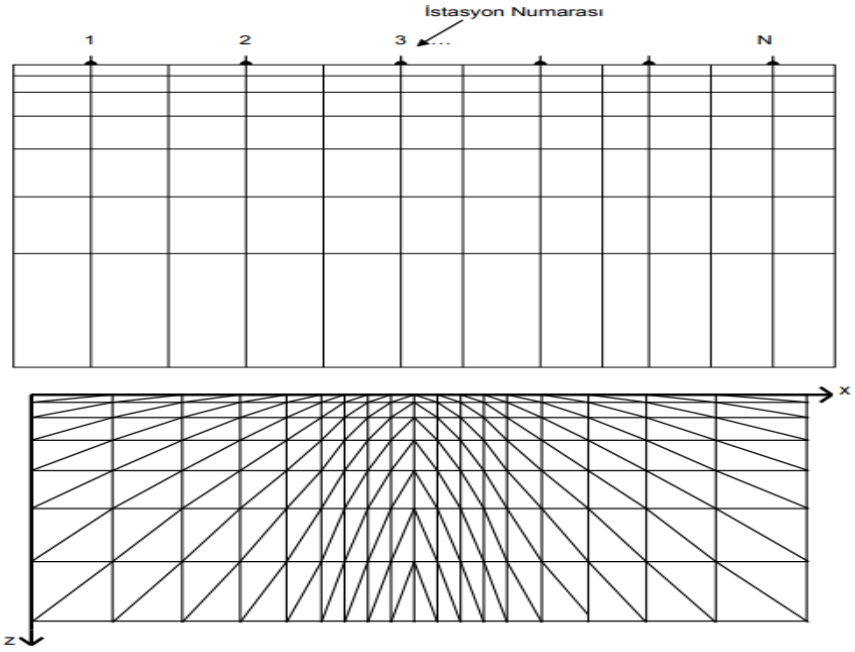
elde edilir. Burada C, M*M yumuşatma (yuvarlama) faktörlerinden oluşan bir kare dizeydir. C^T denklem (4.43)' ile çarpılır ve sonuç olarak denklem (4.35) ye eklenirse

$$[\,(A^{(k-1)})^T A^{(k-1)} + C^T C]\,\Delta x^{(k)} = (A^{(k-1)})^T \Delta y^{(k-1)} \qquad (4.44)$$

elde edilir. Denklem 4.44 yuvarlatılmış sönümlü en küçük kareler (smoothing or OCCAM) ters çözümü olarak bilinmektedir (Uchida ve Murakami 1990).

4.8.2. Hesaplama Ağı, Model Ağı ve Özdirenç Blokları

Bir DES ölçüsünde, elektrotlar arsındaki mesafe AB/2 (m), birkaç metreden kilometrelere kadar seçilebilir. DES verilerini 2-B model yaparken birden fazla istasyon içerdiği için iki ağ kullanılmaktadır. Şekil 4.18'de görüldüğü üzere, iki ağlardan oluşan üsteki **model ağı** (model mesh) ve alttaki **hesaplan ağı** (Finite element) gösterilmiştir.



Şekil 4. 18. Model ve hesaplama ağı (Uchida ve Murakami 1990'dan değiştirerek)

Model ağında özdirenç değeri bulunacak bloklar ve bu blokların boyutları tanımlıdır. Model ağı başlangıçta yeraltının ortamını birçok dikdörtgen bloklara bölmekte ve bir hat boyunca 2-B özdirenç yapısını temsil etmektedir. 2-B ters çözüm programında model ağı oluşturulurken yanal yönde her ölçü noktası arasında (istasyon) otomatik olarak bir blok yerleştirilir. Tüm bu bloklar, sabit bir özdirenç değerine atanmakta ve hesaplama ağı oluşturulmaktadır. Söz konusu düşey yöndeki blok derinliği, hesaplama ağındakine logaritmik olarak eşit bir şekilde artırılır. Model ağı oluşturduğumuz zaman istasyon sayısına, istasyonlar arasında mesafeye dikkat ederek aynı zamanda GÖ değerlerini hesaplayabilmemiz için elektrotlar arasındaki AB/2 ve MN değerleri dikkate alınarak yapılır. Model ağında x ve z yönündeki blok sayıları ve bu blokların boyutları (dx ve dz) tanımlanabilmektedir. Bir profil boyunca DES istasyonların koordinatları ve GÖ değerlerinin hesapladığı AB/2 ve MN değerleri Çizelge 4.2. ve 4.3'te örnek olarak gösterilmiştir (URL-6).

Çizelge 4. 2. DES verilerin 2-B modellemede kullanılan veri dosyası (URL-6).

```
9       (İstasyon Sayısı)

1  5  10.0  0.0    (İstasyon No. , ölçü sayısı, x-koordinatı ve z-koordinatı)
No  AB/2   MN
1     3      1
2     5      1
3     7      1
4     8      1
5     11     1
2  6  20.0  0.0    (İstasyon No. , ölçü sayısı, x-koordinatı ve z-koordinatı)
No  AB/2   MN
1     3      1
2     5      1
3     7      1
4     8      1
5     11     1
6     13     1

.
.
.
10  5  90.0  0.0    (İstasyon No. , ölçü sayısı, x-koordinatı ve z-koordinatı)
No  AB/2   MN
1     3      1
2     5      1
3     7      1
4     8      1
5     11     1
```

Sonlu elemanlar hesaplama ağı şu şekilde tarif edilebilir. DAÖ yönteminde DES verileri üzerinde 2-B düz çözüm uygulandığında kullanılan ağ ve elemanların tanımlandığı ağ olacaktır. Tüm DES'lerin AB/2 özdirençleri, tek bir ileri hesaplama ile elde edilebilir. Bu model vasıtasıyla homojen bir ortam üzerinde GÖ'ler hesaplanmıştır. Söz konusu ağ, 2-B modellemelerde DES verilerinin ölçüm noktası olarak kullanılır. Burada GÖ değerlerinin hesaplanacağı ölçü noktası başka bir ifadeyle istasyonu, hesaplama ağının merkezinde olacak şekilde seçilir ve model ağı hesaplama ağı üzerinde yerleştirilir. Burada modellemede doğru sonuçlar alınabilmesi için hesaplama ağında bazı koşular uygulanmalıdır. Bunlar;

Çizelge 4. 3. 2-B model ağı belirlenmesi için örnek veri (URL-6).

```
NX  NZ        (x- ve z-yönünde blok sayısı
18  12
DX              (x-yönünde blok kalınlıkları)
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
DZ              (z-yönünde blok kalınlıkları)
0.2 0.3 0.5 1 1 1  1 1 1 2  6  18

Model Ağı (18x12 blok)
 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18
10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18
19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27
19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27
28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33 33 34 34 35 35 36 36
28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33 33 34 34 35 35 36 36
37 37 38 38 39 39 40 40 41 41 42 42 43 43 44 44 45 45
37 37 38 38 39 39 40 40 41 41 42 42 43 43 44 44 45 45
46 46 47 47 48 48 49 49 50 50 51 51 52 52 53 53 54 54
46 46 47 47 48 48 49 49 50 50 51 51 52 52 53 53 54 54
 NO    RHO          (blok numarası, özdirenç değeri)
  1   20.000
  2   20.000
  3   20.000
  .      .
  .      .
  .      .
 53   20.000
 54   20.000
```

a) Ağın merkezinde x ve z yönünde olan blok aralığı en küçük MN değerlerinden küçük olmaktadır.

b) Yanal ve düşey yönde, hücre aralıkları peş peşe gelen iki AB/2 değerinin tek bir hücre içinde düşmeyecek şeklinde belirlenmektedir.

c) Sınır koşulların uygulanabilmesi için ağın sol ve sağ tarafında alt sınırlara yaklaştıkça hücrelerin boyutları logaritmik şekilde artırılmaktadır.

2-B ters çözüm uygulamalarında, yukarıda geçen koşular göz önüne alınarak oluşturulmuş olan modeller ve hesaplama ağları test edilir. Bu koşulardan elde edilen modellerin test işlemi için, homojen ve yarı sonsuz olan model ağında bütün blok özdirençleri aynı olarak ele alınır. Homojen ortamlarda GÖ tanımına göre, ölçülen GÖ değerleri ortamın özdirencine eşit olmaktadır. Eğer hata miktarı yüksek ise model ve hesaplama ağı tekrardan gözden geçirilmelidir. Hata miktarı düşük olduğu zaman ve söz konusu testi geçtikten sonra, istenen model için 2-B düz çözüm yapılmaktadır (URL-6).

2-B ters çözümü uygulandığı zaman profilleri etkileyen bir diğer önemli faktör alanın topografyasıdır. Yüzey topografyası GÖ değerlerini yüzde ona kadar etkileyebilir. Bu nedenle araştırmada 2-B ters çözüm işlemi yapıldığı zaman mutlaka topografya modellemeye dâhil edilmelidir. Hesaplama ağına göre, yüzey noktalarının yükseklikleri dikey olarak kaydırılır. Model ağı, dikey yönde hesaplama ağı ile aynı blok sınırlarına sahiptir (Uchida ve Murakami, 1990).

4.8.3. Program Akışı

2-B ters çözüm algoritması, şekil 4.19'de şematik bir program akışı olarak gösterilmektedir.

1) Gözlenen veriler programa okunduktan sonra, maksimum AB/2 veya sondaj istasyonlarının aralıklarına göre uygun boyutta bir hesaplama ağı oluşturulur.

2) Daha sonra, sonlu elemanlar çözümünün sayısal hatalarını incelemek için düz bir dünya yüzeyine sahip 100 ohm-m'lik homojen bir yarı uzay için bir ileri hesaplama yapılır.

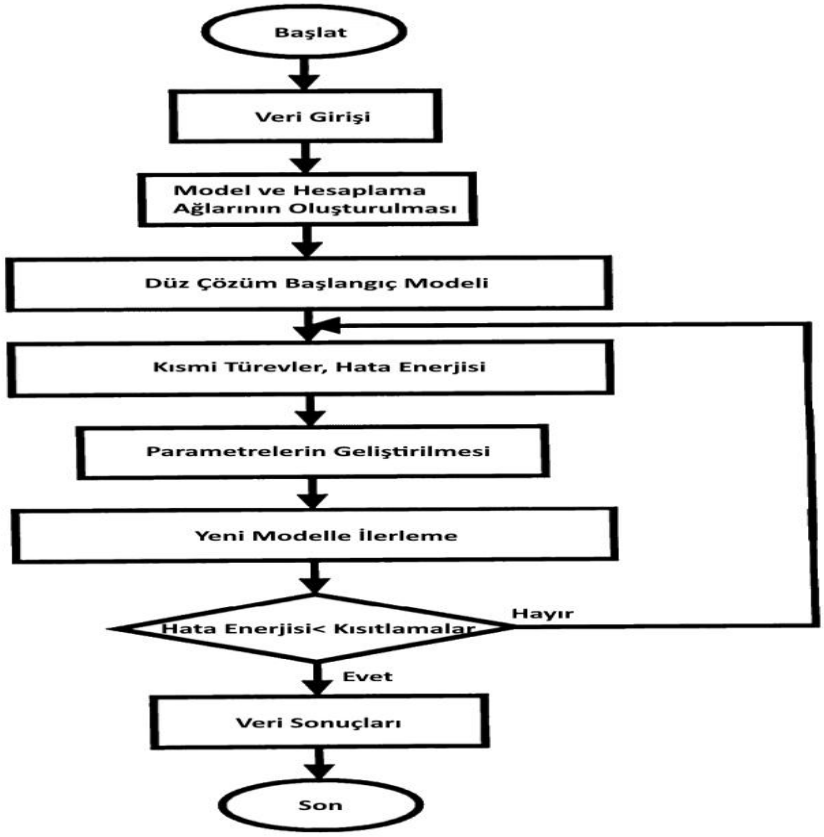
Yukarıda açıklanan hesaplama ağı, yarım uzayın özdirencinden %2-5 daha küçük görünür özdirençler sağlar. Hata, ters Fourier dönüşümünün tamlığına bağlıdır (denklem (4.37). Fourier değişkeni k_y ne kadar çok yoğun örneklenirse, hata o kadar küçük olur. Homojen ortamdan elde edilen özdirenç değerleri, sonraki ileri ve ters çözüm uygulamasında düzeltme faktörleri olarak kullanılır.

3) Genellikle yarım homojen olan bir ortam için başlangıç modeli kullanılır. Her istasyonda ileri bir hesaplama yapılır ve her AB/2 için görünür özdirençler ρ_a ve uyumsuzluklar Δy elde edilir. Ayrıca hata enerjisi (E), bu aşamada hesaplanır.

4) Her bloğun özdirencine göre GÖ'in kısmi türevleri hesaplanır. Tüm istasyonlar için hataların ve kısmi türevlerin toplanmasıyla denklem 4.56 oluşturulur.

5) Denklem 4.56'yı çözerek, düzeltme faktörü a her bloğu için bir iyileştirme değeri Δx elde ederiz ve sönümleme faktörü λ, sonucu etkiler. Özdirençler bu noktada Δx ile güncellenir. Program, yineleme sırasında kısıtlanan belirli parametreleri ayarlayabilir.

6) Yeni parametreler kullanılarak ileriye doğru bir hesaplama yapılır ve yeni uyumsuzluk elde edilir. Yeni uyumsuzluk öncekinden büyükse yineleme durdurulur ve önceki model son model olarak alınır. Değilse ve ayrıca programda önceden belirlenmiş belirli bir limitten küçükse, program başarıyla durur ve son çözümü bir dosyaya çıkarır. Sınır değerinden büyükse 4 ve 6 adımları tekrarlanır.



Şekil 4. 19. 2-B Schlumberger ters çözüm programının akış diyagramı (Uchida ve Murakami, 1990).

Toplam özdirenç bloğu sayısı, ortaya çıkan modeli ciddi şekilde etkiler. Daha derin ve daha küçük bir bloğun görünür özdirence yalnızca küçük bir katkısı olduğundan, küçük bir kısmi türev üretme eğilimindedir ve bu da denklem 4.56'da kararsız bir matrise neden olur. Ancak yumuşatma faktörünün doğru kullanımı bu sorunu azaltabilir.

4.8.4. Ulugergerli (2017) İki Boyutlu Ters Çözümü

Schlumberger dizisi ile toplanılmış olan DAÖ verilerini gerçeğini yorumlamak ve elektrik özdirenç tomografisi (ERT) kesiti elde etmek için 2-B ters çözüm algoritması oluşturmuştur. DAÖ verileri, A ve B olmak üzere iki elektrottan akım enjekte edilerek ve diğer iki elektrottan (M ve N) voltaj potansiyeli ve ΔV ölçülerek zemin yüzeyi üzerinden elde edilmiştir.

Profiller boyunca her bir AB genişlemesi için her bir araştırma noktasında kaydedilen akım ve potansiyel düşüş değerleri görünür özdirençlere dönüştürülmüştür:

$$\rho_a = k\ \frac{\Delta V_{MN}}{I_{AB}} \qquad (4.45)$$

Burada: k geometrik bir faktördür ve tüm elektrotların aralıklarından elde edilir. ρ_a hem yüzey altı özdirenç dağılımını hem de elektrot konumlarının etkisini yansıtır ve yüzey altının bozulmuş pürüzsüz bir görüntüsünü sağlar. Bu nedenle, görünen özdirençlerden elde edilen sözde kesitlerin değerlendirilmesi karmaşık bir jeolojik ortamda yanıltıcıdır.

Bu nedenle, bu görünür özdirenç kümeleri, ters çözüm yoluyla gerçek özdirençlere sahip kaya malzemesi görüntülerine haritalanmasına dönüştürülebilir.

Jeolojik birimlerde yanal sürekliliğin varlığı, görüntülenmesi en azından 2 boyutlu bir yer modeli gerektirir. Ulugergerli (2017), 2-B ters çözüm algoritmasında, tüm istasyonların bir profil boyunca hizalanmasını ve uzamsal olarak yeterince yoğun olmasını dolayı yer elektrik yapılarının verimli ve gerçek bir 2-B görüntüsü elde mümkün olabilir (Ertekin ve Ulugergerli, 2022).

Doğrusal olamayan bir modelin özdirenç değişimine bakıldığı zaman, ters çözüm denklemi şu şekilde verilebilir,

$$\Delta P = (J^T J + \beta I)^{-1} J^T \Delta D \qquad (4.46)$$

burada amaç, iletkenlik veya özdirenç ya da her birinin bir fonksiyonu olabilen başlangıç model parametreleri p için logaritmik bir güncelleme vektörü, Δp, tahmin etmektir. Bu

çalışmada iletkenliğin logaritması kullanılmıştır. J, kısmi türevler, F ve yumuşatma matrislerinden oluşan bir matristir, C

$$J=\begin{bmatrix} F \\ wC \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

Burada: w bir ölçekleme değeridir. C, bitişik parametreler arasında yüksek karşıtlık bulunmasını önler ve şu şekilde verilir:

$$C\Delta P= 0 \quad (4.48)$$

Denklem (4.48)'teki 1-B C durumu için ayarlanmıştır:

$$C=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

β bir sönümleme faktörüdür ve her iterasyonda on farklı değere kadar kullanılır. Son olarak, gözlemlenen veriler yalnızca ΔD'de görünür, bir vektör ölçülen (ρ_a^0)ve hesaplanan (ρ_a^c) görünür özdirençler arasındaki logaritmik farklılıklar olarak verilir.

$$\Delta D=\begin{bmatrix} log\rho_a^0 - log\rho_a^c \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

Burada: 0, Eşitlik 4'e göre artırılır. Tahmin edilen güncelleme vektörü, Δp, iterasyonda, k, ilk model parametrelerine eklenir, p:

$$P_i^{k+1} = P_i^k + b * \Delta P_i^k \quad (4.51)$$

Yinelemeler arasında ani değişimleri önlemek için keyfi sabit b 0,3 olarak ayarlanmıştır. Ters çözüm algoritması, uyumsuzluk keyfi olarak seçilen bir eşik değerine ($1.e^{-2}$) ulaşana kadar yinelenir. Uyumsuzluk ölçüsü, e, şu şekilde verilir:

$$e = ([log\rho_a^0 - log\rho_a^c]T\,[log\rho_a^o - log\rho_a^c]/\ N)^{1/2} \quad (4.52)$$

Daha önce aktarıldığı üzere DES verileri genellikle tek bir noktada ve düşey yönde 1-B olarak çalışmanın ele alındığı sahadaki jeoloji hakkında bilgi sağlar. Ancak DES verilerini 2-B ters çözüm uygulandığı zaman profil haline dönüşür ve sondaj profili özelliği aynı zamanda yanal yönde özdirenç değişimi hakkında da bilgi sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında veriler, ilk olarak 1-B olarak incelenmiş, daha sonra yukarıda aktarılan 2-B ters çözüm uygulamasıyla analiz edilmiştir. Bölüm 5'te söz konusu analizler detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Bu tez çalışmasında 2-B ters çözümü, Uchida ve

Murakami (1990) ve Ulugergerli (2017) algoritmalarıyla değerlendirilmiştir. Söz konusu ters çözüm sonuçları; tektonik, hidrolik, hidrojeolojik ve yakın yüzey yeraltı suyu hakkında 2-B ters çözüm uygulaması ile mümkündür.

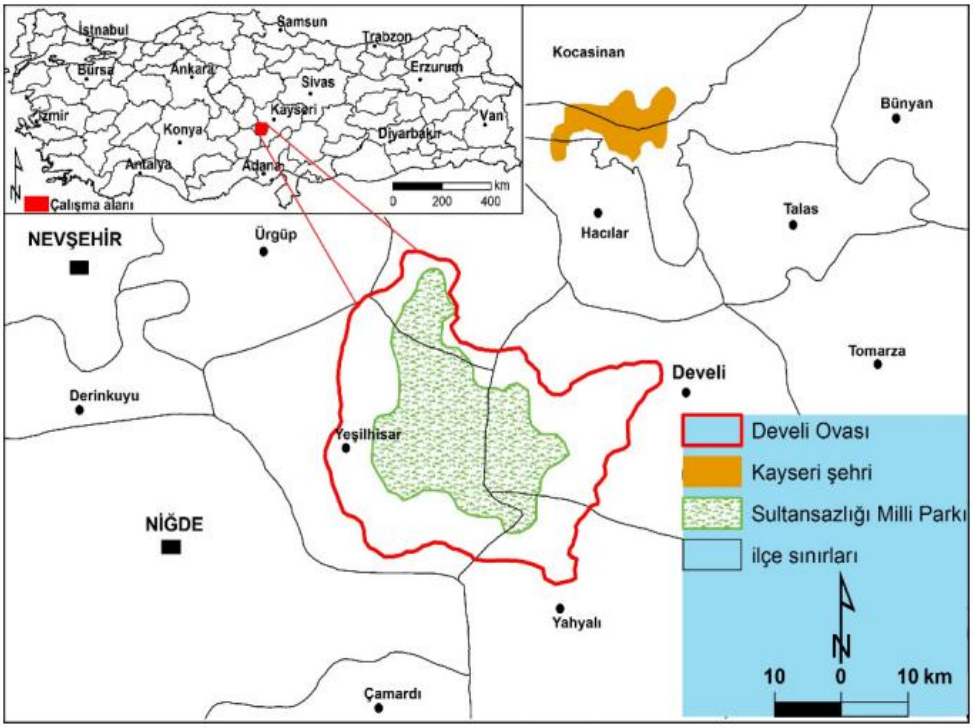
BÖLÜM 5

BULGULAR

5.1. Jeofizik Araştırma

DSİ 12. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Şube Müdürlüğü tarafından Develi-Yeşilhisar Havzası Revize Hidrojeolojik Etüt çalışmaları kapsamında, İç Anadolu Bölgesi'nde, Kayseri-Develi-Yeşilhisar Ovası'nda DAÖ gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı alan 1/25000 ölçekli L34-a1, L34-a2, L34-a3, L34-a4, L34-b1, L34-b3, L34-b4, L34-c1 ve L34-d2 paftalarında yer almaktadır. Etüt sahasına, Kayseri-Yeşilhisar-Develi karayoluyla dört mevsim ulaşmak mümkündür (Şekil 5.1).

Develi-Yeşilhisar Havzasının yeraltı jeolojisinin ortaya çıkarılması amacıyla 20.07.2009-19.08.2009 ile 28.09.2009-09.10.2009 tarihlerinde Jeofizik özdirenç Etüt arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında ölçümlerin sonucunda araştırmanın gerçekleştirildiği jeoloji üzerinden değerlendirildiğinde yeraltı su seviyesinin düzeyi başta olmak üzere; örtü tabakasının kalınlık ve yayılımının tespit edilmesi, taban kayanın taban topoğrafyasının belirlenmesi, tuzluluk sınırlarının tespiti ve ayrımlanması, muhtemel örtülü fayların tespit edilmesi ve böylece yeraltı jeolojisinin aydınlatılması amacıyla jeofizik özdirenç etüdü yapılmıştır.



Şekil 5. 1. Develi Kapalı Havzasının haritası

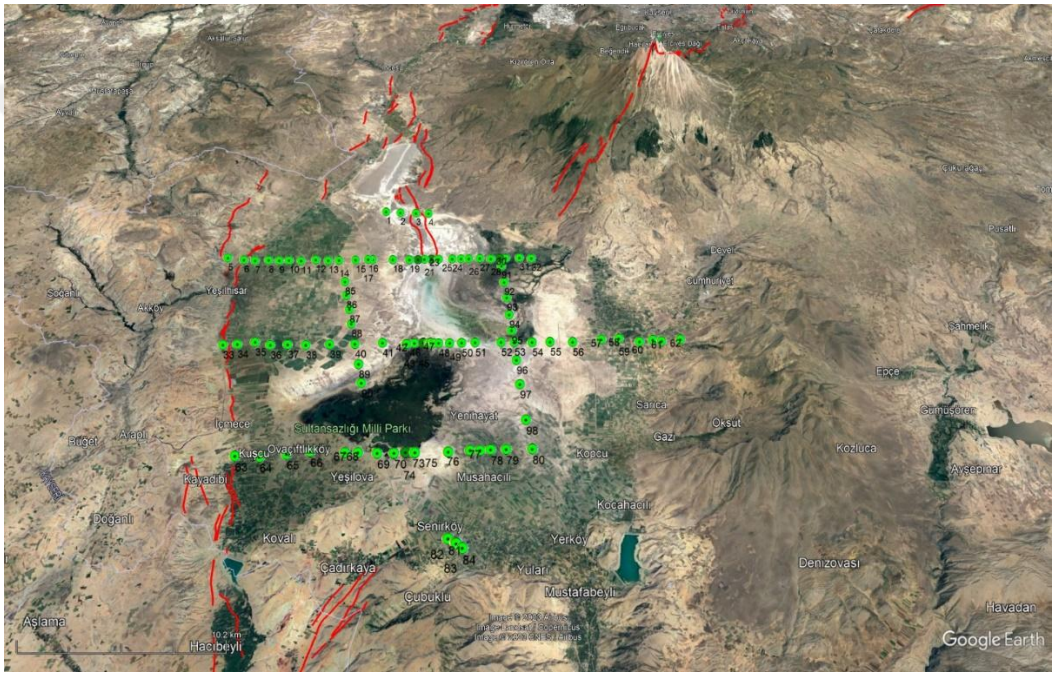
5.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Jeofizik özdirenç ölçüleri için, DSİ Etlik Jeofizik laboratuvarında yapılan, özdirenç cihazı kullanılmıştır. Verici ve alıcı, ayrı ayrı üniteler halindedir. Verici için gerekli gerilim, aküden sağlanmaktadır. Aküden 12 DC volt olarak alınan gerilim, yükseltici ünite ile 500 AC volta dönüştürülür. Çıkış voltajının frekansı 0.3125 c/s'dir. Doğru akıma yakın dalga periyodu kullanıldığı için doğru akım kabul edilmektedir. Çıkış gerilimi daire kesitli çelik elektrotlar vasıtasıyla yere tatbik edilir.

Alıcı üniteye, yine çelik elektrotlar vasıtasıyla iletilen potansiyel farkı, sayısal değer olarak okunur. Alıcı ünitenin beslemesi, 9 voltluk pille sağlanır. Potansiyel farkı okumaları, köprü tipi devrelerle oluşturulmuş atenüasyon ve verniye bölenleriyle, sağlıklı okuma yapabilmek için kazançlandırılmıştır. Sayısal voltmetre beslemesi için de 9 voltluk pil kullanılır. Yöntem basitçe, yere akım elektrotları vasıtasıyla tatbik edilen gerilimin meydana getirdiği elektrik alanın, geometrik bir diziye göre yerleştirilen potansiyel elektrotları vasıtasıyla potansiyel farkının vektörel olarak alıcı ünitede okunması olarak ifade edilir (DSİ, 2010).

5.3. Jeofizik Ölçü Noktalarının Planlanması

Bu çalışmada Sultan Sazlığı'nın yer elektrik yapısının belirlenmesi amacıyla araştırma ölçüleri, Schlumberger elektrot dizilimi ile alınmıştır. Söz konusu çalışma alanında elektrotlar aralığı ($AB/2)_{min}$ = 4 m ve ($AB/2)_{max}$ = 800 m olacak şekilde 98 adet düşey elektrik sondajı ölçüsü alınmıştır (Ek-10). Veriler MN=2,12,40 ve 100 olarak seçilmiştir. Hat doğrultuları, topografya farkı, yanal süreksizlikler ve enerji nakil hatlarından etkilenmeyecek şekilde seçilmiştir. Ek-9'de harita üzerinde ölçü noktaları konumu gösterilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5. 2. Çalışma alanının harita üzerinde konumu

5.4. DES Verilerinin İncelenmesi

DSİ 12. Bölge tarafından alınan ölçüler, Schlumberger açılımı ile veriler toplanmıştır. Ölçülen verilerin değerlendirmek için görünür özdirenç değerleri hesaplamak amaçlı ilk önce 1-B olarak IPI2win programıyla ters çözüm uygulanmıştır. Söz konusu 1-B modelleme sonucunda katman parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler, her bir ölçü hattı için üretilen yer elektrik kesitleri halinde incelenmiştir. Toplam 98 noktada olan DES verileri bu çalışmada, ilk önce 1-B ters çözümü daha sonra 2-B ters

çözümü olarak değerlendirilmiştir. DES verilerinin 1-B ters çözümü İPİ2win programıyla otomatik olarak uygulanmıştır. Daha sonra bu tez çalışmasının asıl amacı olan 2-B ters çözümü (Uchida ve Murakami, (1990) ve Ulugergerli (2017)) için profiller oluşturulmuştur.

1-B'den 2-B'ye geçen DES'lerin profile dönüştürmek için çok sayıda ölçü noktası oluşturduğundan tüm veriler topografyayı göz önüne alarak hatlar üzerinde aşağıda aktarıldığı gibi açıklanmıştır.

Profil 1; 4 DES noktasından oluşur. DES 1'ten başlayarak DES 4'e kadar devam eder. Batı-doğu hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 3257 m'dir.

Profil 2; 28 DES noktasından oluşur. DES 5'ten başlayarak DES 32'ye kadar devam eder. Batı-doğu hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 22000 m'dir.

Profil 3; 33 DES noktasından oluşur. DES 33'ten başlayarak DES 62'ye kadar devam eder. Batı-doğu hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 30425 m'dir.

Profil 4; 17 DES noktasından oluşur. DES 63'ten başlayarak DES 80'e kadar devam eder. Batı-doğu hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 17650 m'dir.

Profil 5; 4 DES noktasından oluşur. DES 81'ten başlayarak DES 85'e kadar devam eder. Batı-doğu hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 1000 m'dir.

Profil 6; 6 DES noktasından oluşur. DES 85'ten başlayarak DES 90'a kadar devam eder. Kuzey-güney hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 10000 m'dir.

Profil 7; 8 DES noktasından oluşur. DES 90'dan başlayarak DES 98'e kadar devam eder. Kuzey-güney hattı üzerindedir. Profilin uzunluğu ise 14500 m'dir.

Bu tez çalışmasında profiller üzerinde açıklamaları örnek olarak profil 6 göstermiştir ve detaylıca aşağıda anlatılmıştır.

5.4.1. Profil 6'nın Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında örnek olarak profil 6, kuzey - güney doğrultusunda 1-B olarak açıklanmıştır. DES'lerin açıklamaları, Çizelge 5.1'e göre detaylı olarak açıklanmıştır. Çizelge 5.2'de profil 6'in arazi ölçüleri yani ham veriler (DES-85'ten, DES-90'e kadar)

gösterilmiştir. Tüm noktaların ölçülen arazi değerleri (ham verileri), DES eğrileri şeklinde EK-11' de bulunmaktadır.

Çizelge 5. 1. Zeminlerin elektrik özdirençleri (Keçeli,2012).

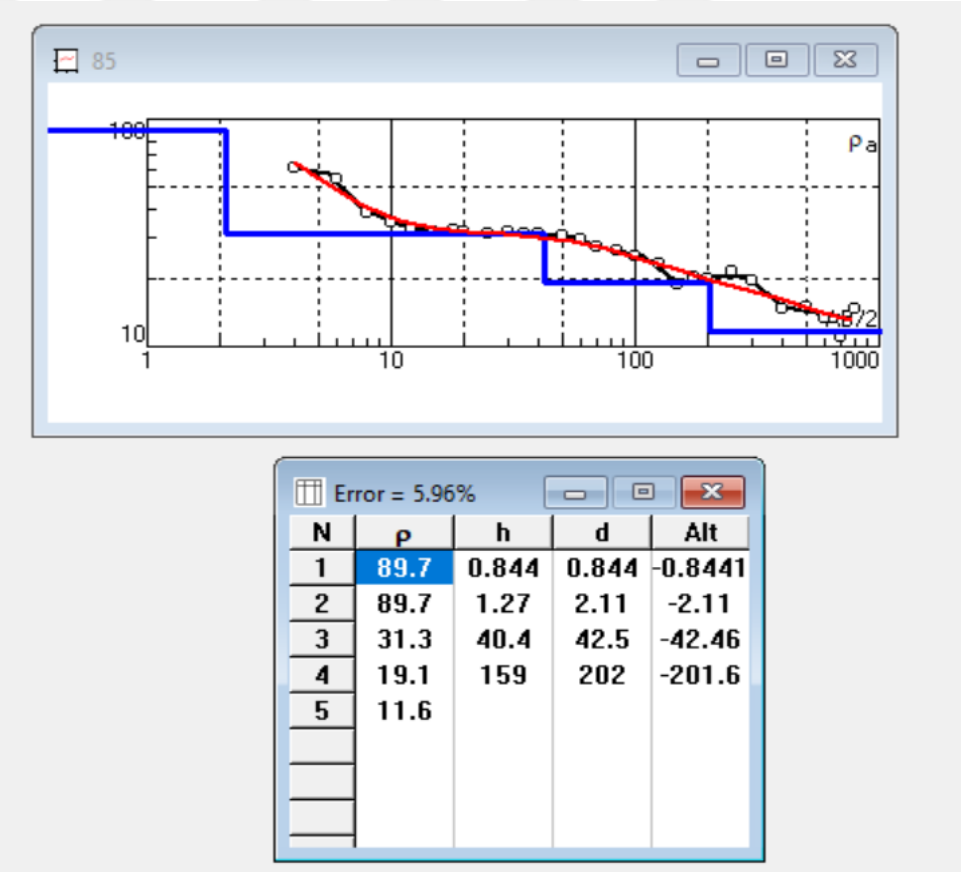
Birim Türü	**Elektrik özdirenç(ohm-m)**	
	Islak	Kuru
Deniz suyuna doygun kum	1	2
Kumlu çakalı kil	10	1350
Kum, ıslak nemli	20	200
Kum ve çakıl	50	1000
Grafitik şist	10	500
Toprak	50	100
Çakıl	100	600
Bozuşmuş yatak kayacı	100	1000
Kumtaşı	200	8.000
Gözenekli kireçtaşı	100	1.000
Kireçtaşı	500	10.000
Masif kireçtaşı	1.000	1.000.000
Sleyt	500	500.000
Kuvarist	500	800.000
Metamorfik kayaçlar	50	1.000.000
Granit	200	100.000
Bazalt	200	100.000
Gabro	100	5.000.000

Çizelge 5. 2. Profil 6'nin DES istasyonlarındaki ham elektriksel özdirenç verilerinin değerleri (görünen özdirenç ve AB/2)

AB/2	MN	DES-85	DES-86	DES-87	DES-88	DES-89	DES-90
4	2	64.1	157.3	119.5	43.0	5.8	1.4
6	2	57.2	179.6	116.8	53.6	5.5	1.0
8	2	40.2	205.7	113.7	56.8	5.5	0.8
10	2	37.2	186.4	103.5	62.1	5.5	0.8
12	2	34.7	172.8	89.8	54.5	6.1	0.8
15	2	33.7	138.3	76.2	69.0	6.7	0.7
18	2	33.9	101.4	67.6	68.4	7.0	0.7
20	2	33.8	82.9	61.5	67.3	7.2	0.7
25	2	32.6	53.8	44.9	58.7	7.5	0.6
30	2	33.3	39.5	32.9	46.5	7.6	0.6
25	12	32.9	64.1	49.3	71.9	8.8	0.7
30	12	33.0	47.0	36.1	55.5	8.9	0.7
35	12	32.0	37.3	27.6	49.2	8.7	0.8
40	12	31.0	29.4	20.4	42.9	8.1	0.8
50	12	29.0	22.7	18.6	33.3	7.4	0.9
60	12	27.5	19.2	17.4	24.2	6.6	1.0
70	12	26.4	18.1	15.0	20.3	6.2	1.1
85	12	24.1	17.1	14.2	16.6	5.7	1.2
100	12	19.5	16.9	13.4	14.9	5.7	1.4
125	12	21.4	16.5	12.9	12.5	5.7	1.6
100	40	20.8	18.0	13.4	15.3	5.2	1.3
125	40	22.3	17.6	12.9	13.5	5.1	1.6
150	40	21.5	17.2	12.9	12.5	5.6	1.8
175	40	18.7	16.3	12.2	12.0	6.1	2.1
200	40	16.3	17.1	11.3	11.6	6.5	2.3
250	40	13.9	16.9	11.3	10.7	7.6	2.7
200	100	16.8	16.7	12.3	12.6	7.0	2.3
250	100	13.9	15.0	11.5	12.4	7.7	2.7
300	100	14.1	13.2	10.6	12.1	7.5	3.2
400	100	13.3	12.1	9.8	13.8	7.0	4.3
500	100	11.9	10.9	9.0	16.8	6.7	5.5
600	100	10.8	7.9	9.9	18.3	7.7	7.6
700	100	12.7	7.1	11.9	22.9	9.4	9.9
800	100	18.0	11.6	13.6	37.5	11.7	13.0

5.4.1.1. DES-85'in Değerlendirilmesi

DES-85 çerçevesinde gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda 6 tabakadan oluşan bir yer modeline ulaşılmıştır (Şekil 5.3) . En üstte birinci katmanın kalınlığı o.844 m ve özdirençli 89.7 (ohm-m) kumlu ve çakıllı bir örtü katmanı görünmekte, onun altında ikinci katmanda ise 1.27 m kalınlığında olan 89.7 (ohm-m) kumlu çakıllı seviyeler bulunmaktadır. Üçüncü katmanın kalınlığı 40.4 m ve özdirençi 31.3 (ohm-m) kil, kum ve çakıl bir tabaka olup altındaki katman ise 159 m kalınlığında ve özdirenç değeri 19.1 (ohm-m) killi bir tabakadır. Son katmanın özdirenç değeri 11.6 (ohm-m) kumlu ve killi bir katmandır. DES-85'in sondaj eğrisi IPI2win programıyla 1-B olarak çizilmiş ve şekil 5.3 te gösterilmiştir.

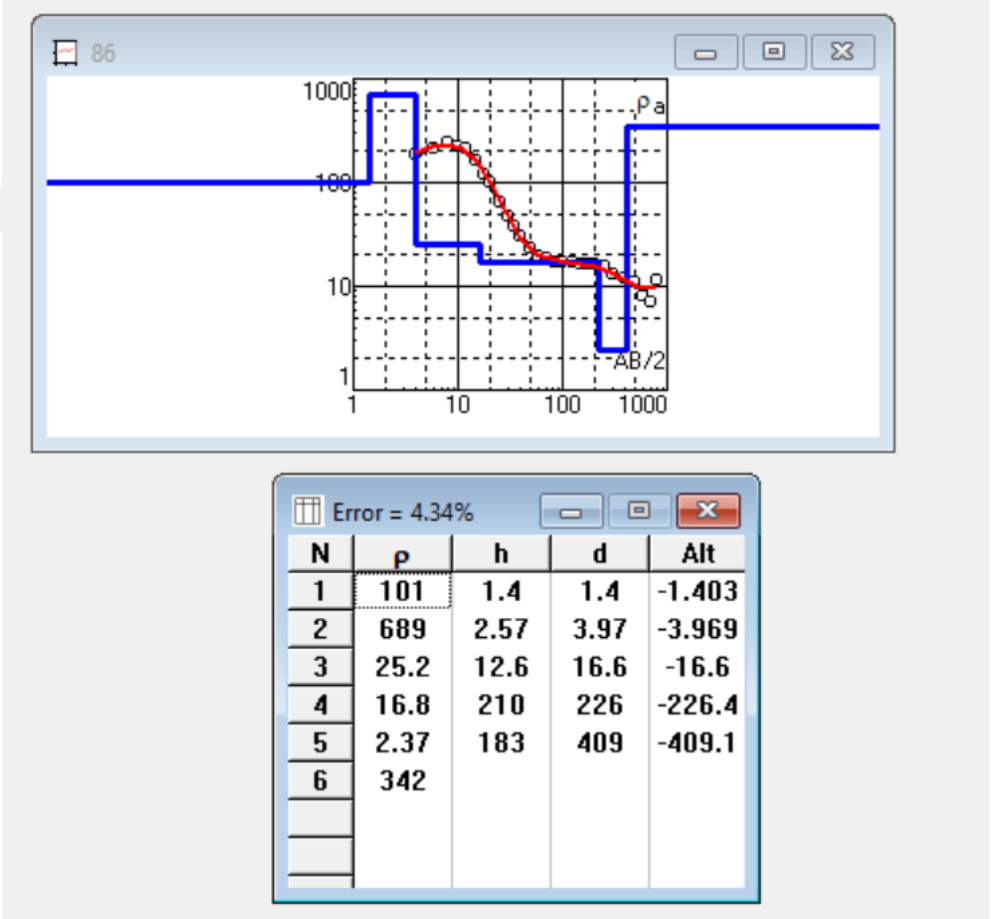


N	ρ	h	d	Alt
1	89.7	0.844	0.844	-0.8441
2	89.7	1.27	2.11	-2.11
3	31.3	40.4	42.5	-42.46
4	19.1	159	202	-201.6
5	11.6			

Şekil 5. 3. DES-85 için düşey elektrik sondaj eğrisi

5.4.1.2. DES-86'nın Değerlendirilmesi

DES-86 çerçevesinde gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda 6 tabakadan oluşan bir yer modeline ulaşılmıştır (Şekil 5.4). Elde edilen parametreler; birinci katmanın 1.4 m kalınlığında olduğunu ve özdirenç değeri 101 (ohm-m) çakıllı kumlu bir katmanı olduğunu göstermektedir. Bir alt katman ise 2.57 m kalınlığında olan 689 (ohm-m) çakıllı seviyeler ve onun alt katmanının altında 12.6 m kalınlığında, özdirençli 25.2 (ohm-m) killi kumlu tabaka tespit edilmiştir. Dördüncü katmanda ise 210 m kalınlığında özdirençli 16.8 (ohm-m) killi kumlu tabakalar mevcuttur. Beşenci katmanı düşük özdirençli2.37 (ohm-m) iletken artam olan killi seviyelerin kalınlığı 183 m ve son katmanın direnci342 (ohm-m) muhtemelen magmatik temel kayaçtır. DES-86'nın sondaj eğrisi IPI2win programıyla 1-B olarak çizilmiş ve Şekil 5.4.te gösterilmiştir.

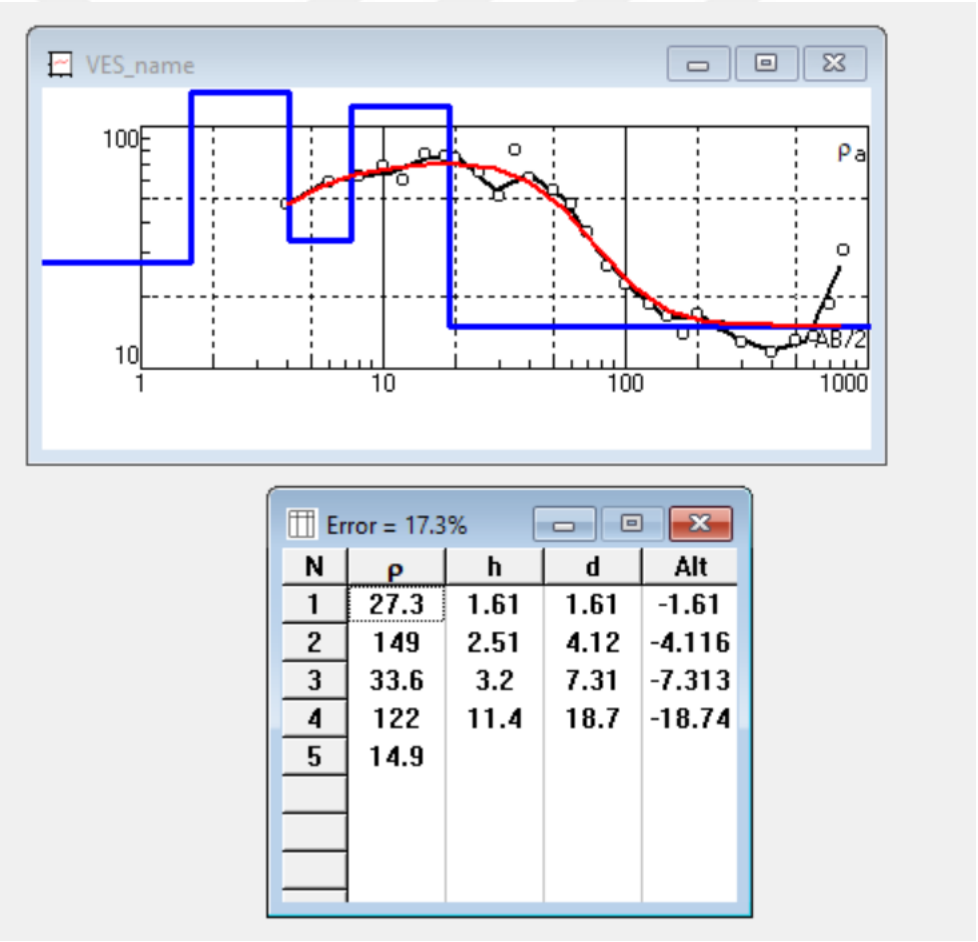


N	ρ	h	d	Alt
1	101	1.4	1.4	-1.403
2	689	2.57	3.97	-3.969
3	25.2	12.6	16.6	-16.6
4	16.8	210	226	-226.4
5	2.37	183	409	-409.1
6	342			

Şekil 5. 4. DES-86 için düşey elektrik sondaj eğrisi

5.4.1.3. DES-87'nin Değerlendirilmesi

DES-87 verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 5 tabakalı bir yer modeli tespit edilmiştir (şekil 5.5). Bu modelde en üstte 1.61 m kalınlığında özdirenç değeri 27.3 (ohm-m) olan killi-kumlu bir katman, ikinci katmanda 2.51 m kalınlığında ve yüksek özdirence sahip 149 (ohm-m) killi kumlu çakıllı tabakalar bulunmaktadır. Bir alt katman 3.2 m kalınlığında olan özdirenç değeri 33.6 (ohm-m) kumlu killi tabakaya sahiptir. Dördüncü katmanın kalınlığı 11.4 m ve özdirençi 122 muhtemelen çakıllı kumlu seviyelerdir. Son katman ise 14.9 (ohm-m) killi kumlu tabakalardır. DES-87'nin sondaj eğrisi IPI2win programıyla 1-B olarak çizilmiş ve Şekil 5.5 te gösterilmiştir.

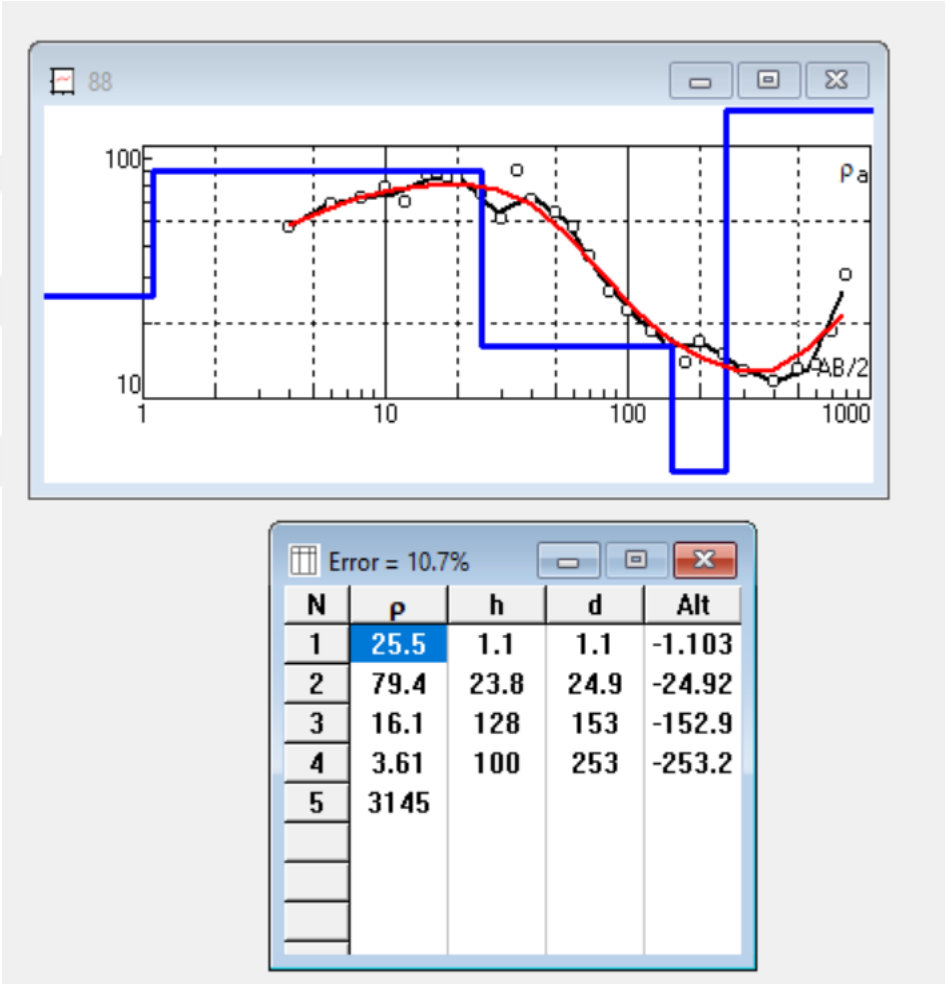


N	ρ	h	d	Alt
1	27.3	1.61	1.61	-1.61
2	149	2.51	4.12	-4.116
3	33.6	3.2	7.31	-7.313
4	122	11.4	18.7	-18.74
5	14.9			

Şekil 5. 5. DES-87 için düşey elektrik sondaj eğrisi

5.4.1.4. DES -88'in Değerlendirilmesi

DES-88 verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 5 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.6). DES-88 görsel çökeller üzerinde oldugu ve 170 m'ye kadar kumlu kil ve kil seviyelerinin ardalanması şeklinde oluştuğu görünmektedir. 185. m'den itibaren eğrinin artışı temel kayaya girdiğini göstermektedir. DES-88'in sondaj eğrisi IPI2win programıyla 1-B olarak çizilmiş ve Şekil 5.6 de gösterilmiştir.



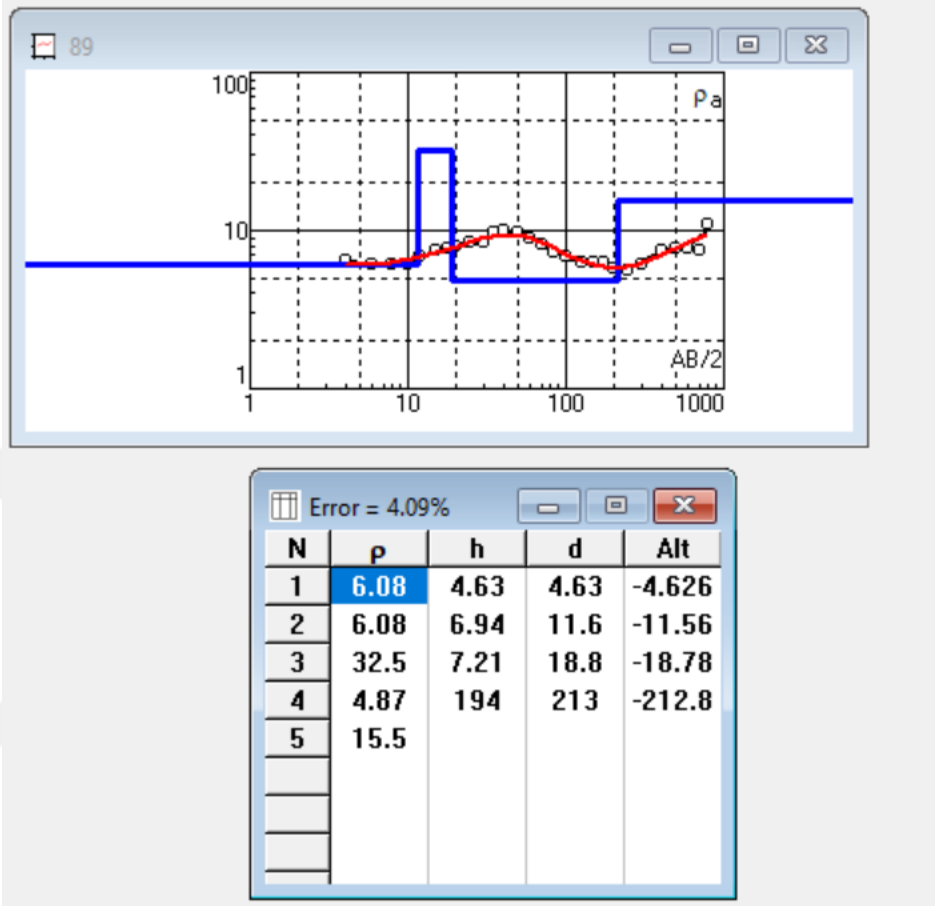
N	ρ	h	d	Alt
1	25.5	1.1	1.1	-1.103
2	79.4	23.8	24.9	-24.92
3	16.1	128	153	-152.9
4	3.61	100	253	-253.2
5	3145			

Şekil 5. 6. DES-87 için düşey elektrik sondaj eğrisi

5.4.1.5. DES-89'un Değerlendirilmesi

DES-89 verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 5 tabakalı bir yer modeli tespit edilmiştir (Şekil 5.7). Bu model de DES-88'e benzer şekilde gölsel çökeller üzerinde alınmış ve 150 m'ye kadar kilin farklı seviyeleri devam ederken 150 m'den sonra temel

kayaya girmiştir. DES-89'un sondaj eğrisi IPI2win programıyla 1-B olarak çizilmiş ve Şekil 5.7 de gösterilmiştir.



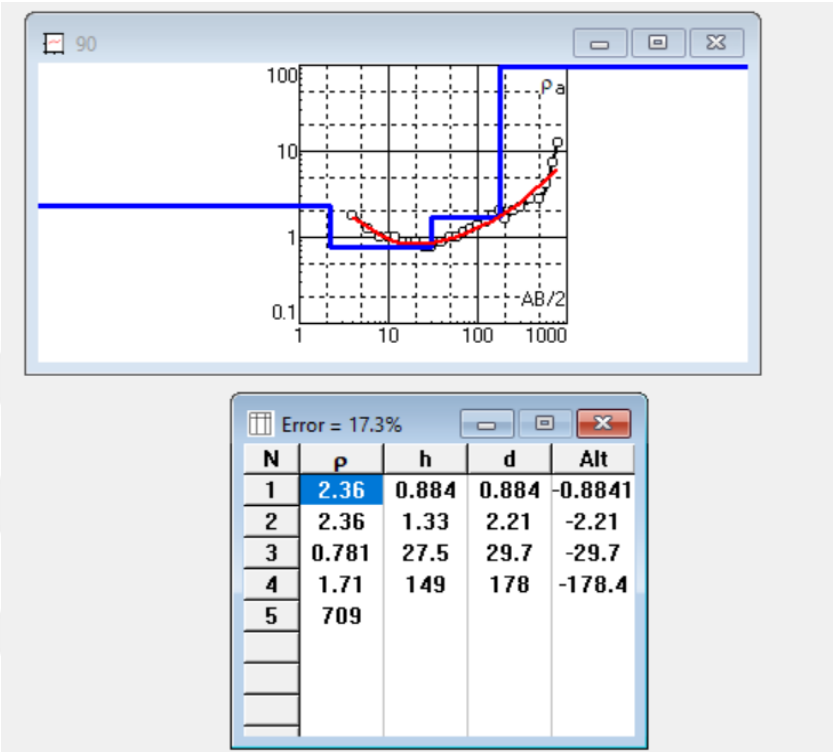
Şekil 5. 7. DES-89 için düşey elektrik sondaj eğrisi

5.4.1.6. DES-90'nın Değerlendirilmesi

DES-90 verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 4 tabakalı bir yer modeli elde edilmiştir (Şekil 5.8). Bu model de DES-88 ve DES-89'a benzer şeklide aynı karakterde olup killi sedimanların daha ince olduğunu ve yaklaşık 80 m'den itibaren temel kayaya girdiği gözlenmektedir. DES-90'un sondaj eğrisi IPI2win programıyla 1-B olarak çizilmiş ve Şekil 5.8.de gösterilmiştir.

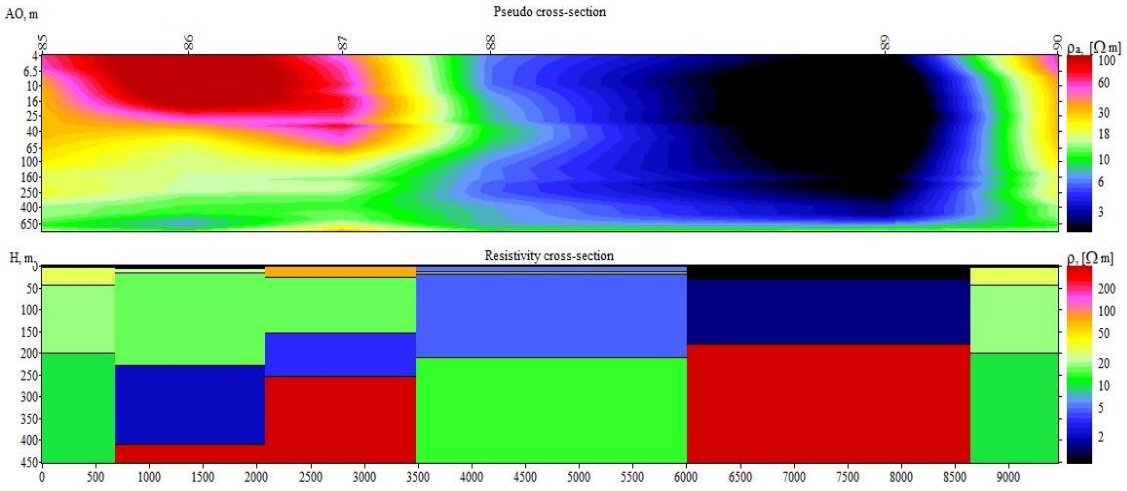
Şekil 5.9'da örnek gösterilen Profil 6 için görünür özdirenç haritası ve yapma kesit harirası gösterilmektedir. Profil 6 için 1-B ters çözüm sonucuna göre temel kayanın taban topoğrafyası tespit edilmiştir. Tuzlu birimlerden sonra gelen kil, fliş ve volkanik

birimlerle özdirenç eğrileri daha da dikleşmiştir. Tuzlu saha, kendinden sonra gelen birimlerin özdirenç değerlerinin olduğundan daha düşük seviyede çıkmasına neden olmuştur. DES-85 ile DES-89 ölçü noktaları arasında volkanik birimlerin üzerinde oldukça kalın bir kil tabakası bulunmaktadır. DES-90 ölçü noktaları arasında tuzlu sahadan sonra, daha üst seviyelerde daha ince bir tabaka gözlenmiştir



N	ρ	h	d	Alt
1	2.36	0.884	0.884	-0.8841
2	2.36	1.33	2.21	-2.21
3	0.781	27.5	29.7	-29.7
4	1.71	149	178	-178.4
5	709			

Şekil 5. 8. DES-90 için düşey elektrik sondaj eğrisi

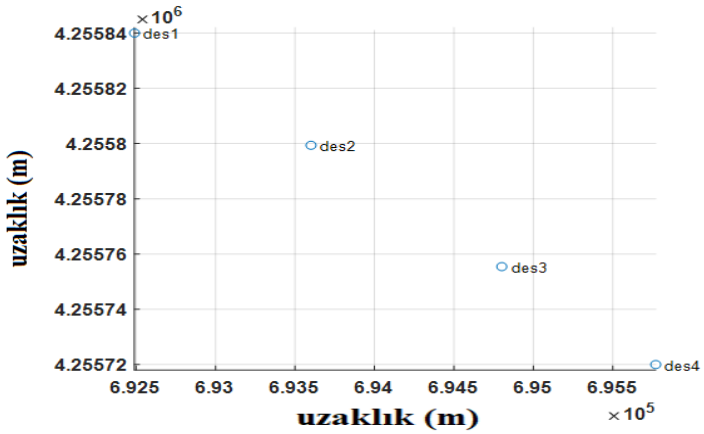


Şekil 5. 9. Profil 6 için elde edilen yer elektrik kesiti

5.6. 2-B Ters Çözümüyle Elde Edilen Profiller ve Yorumları

5.6.1. Profil 1 için 2-B Ters Çözüm Yorumu

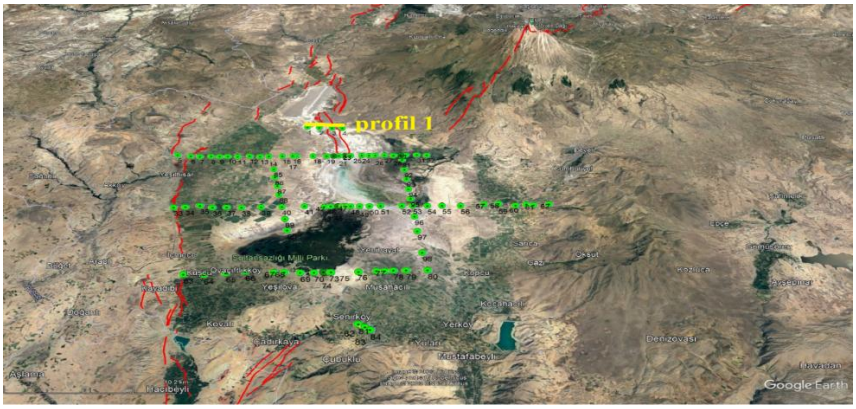
Profil 1, 4 adet DES ölçüm noktası olan, batıdan doğu yönünde, 3275 m uzunluğundadır. Noktaların uzaklıkları araları (DES-1:0 ilk nokta olmak üzere), DES-2: 1111, DES-3: 2312, DES-4: 3282 m'dir. Ölçüm nokta yerleri Şekil 5.10 de gösterilmiştir.



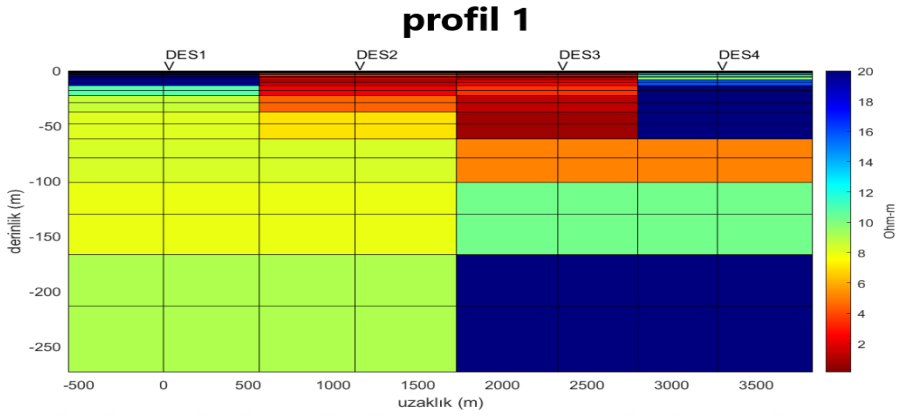
Şekil 5. 10. Profil 1 üzerinde bulunan ölçüm noktaları

Ulugergerli (2017) ters çözüm sonucuna göre modelin yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 56 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 23.8563 değerinden 0.49826 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.00079981 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.69544 ve 728 olarak bulunmuştur. 2-B ters çözüm tekniğine göre değerlendirilerek sahanının yeraltı yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Buna göre sahada; genel olarak ilk 20m arasında kırıklı çatlaklı bozuşmuş birimler yer almaktadır.

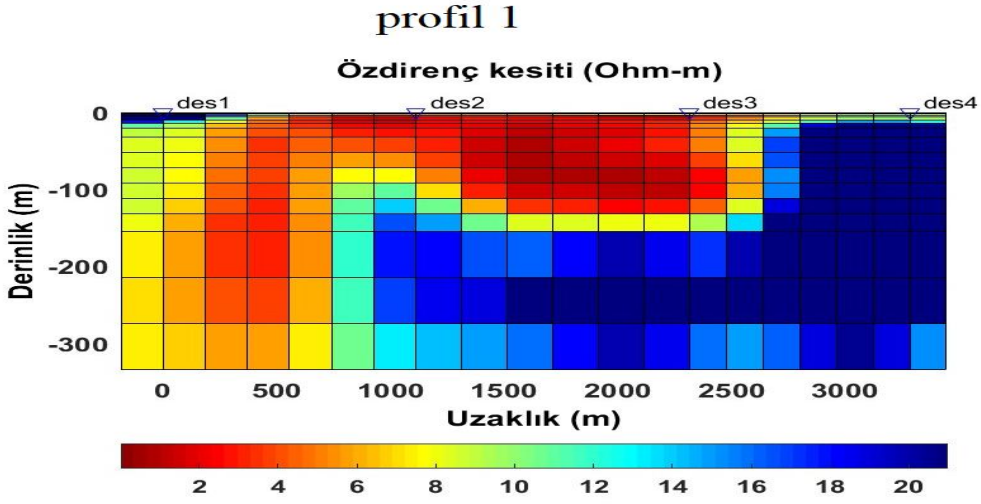
Uchida ve Murakami, (1990) ve Ulugergerli (2017) özdirenç kesitlerine göre (Şekil 5. 11. b ve c olarak gösterilmiştir) kırmızı renkler ile gösterlmiş olan DES-2 ve DES-3'ün sığ killi seviyelere karşılık gelebilecek düşük özdirençli seviyeler hakimdir. Lacivert renkli olan DES-1'de ve DES-4'te sığ seviyelerin tamamen çakıl olduğu tahmin edilen jeolojik birimlere sahiptir. Yaklaşık 300 m kalınlığındaki alüvyonun 2 ohm m gibi çok düşük değerli özdirençleri tuzlu kil seviyelerini karakterize edebilir. Aynı zamanda bu profilde kilin egemen olduğu alanlar dışındaki birimler akifer özelliği taşıyabilir.



a)



b)

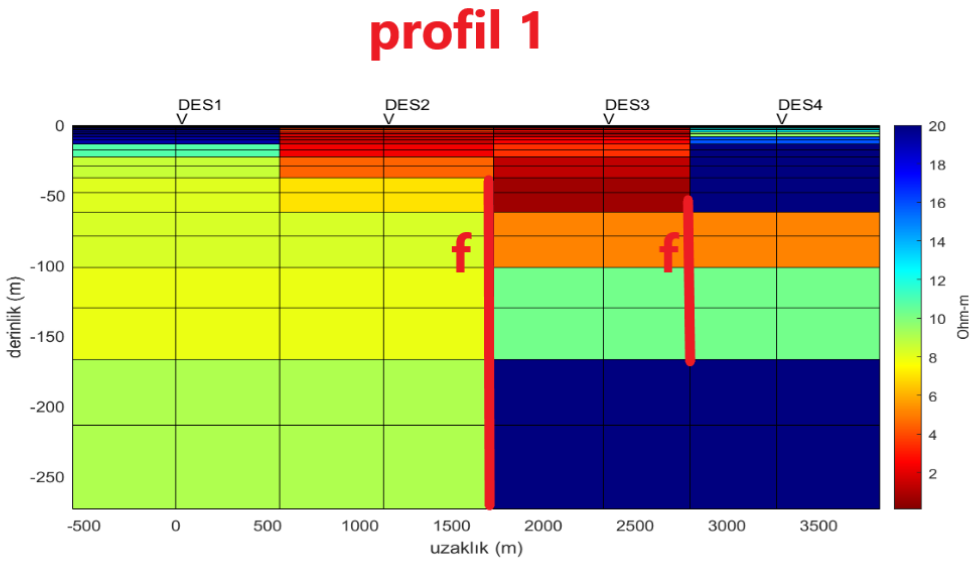


c)

Şekil 5. 11. a) Profil 1'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları

Burada dikkat çeken husus alüvyon içerisinde DES-2 DES-3 arasında (1500 m) bir faylanma gerçekleşme olasılığı söz konusudur. Aynı zamanda yine DES-3 DES-4 arasında bir faylanma gerçekleşme olasılığı bulunmaktadır. Jeoloji fay haritası incelendiğinde fayların varlığı bu çalışmayla örtüşmektedir. Söz konusu faylar, Şekil 5.12'de kırmızı çizgilerle gösterilmiştir.

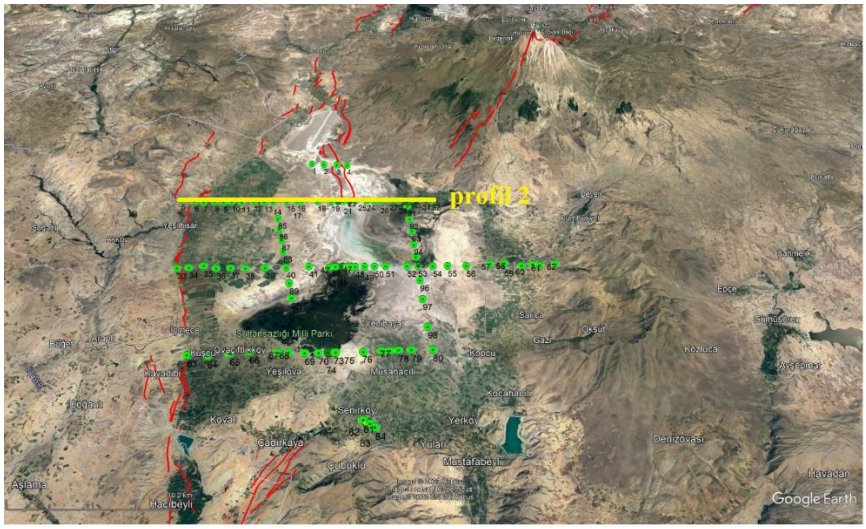
Ek-12'de profil 1'in 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami, (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamana Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir.



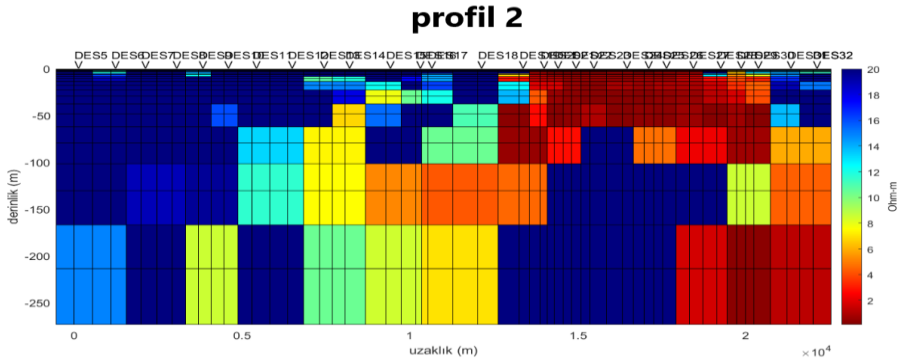
Şekil 5. 12. Profil 1 üzeninde bulunan faylar

5.6.2. Profil 2 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu

Profil 2 doğu-batı doğrultusunda 28 adet DES'ten oluşmakta ve 22 km uzunluğundadır. Şekil 5.13. a)' da profil 2'in harita üzerinde konumu gösterilmiştir. 2-B ters çözüm sonucu, Uchida ve Murakami, (1990) göre şekil 5.13.b)' de gösterilmiştir. Söz konusu 2-B ters çözüm sonucuna göre DES-5'ten DES-19'a kadar kumlu çakıllı ve DES-20'den DES-30'a kadar tamamıyla kil olduğu (kırmızı renkler) düşünülen sığ alüvyon seviyeler bulunmaktadır. Buradaki alüvyonun kalınlığının da 300 m civarında olduğu görülmektedir. Bu profilde mavinin tüm tonları ile gösterilen alüvyon seviyeleri akifer özelliği taşıyabilir.



a)

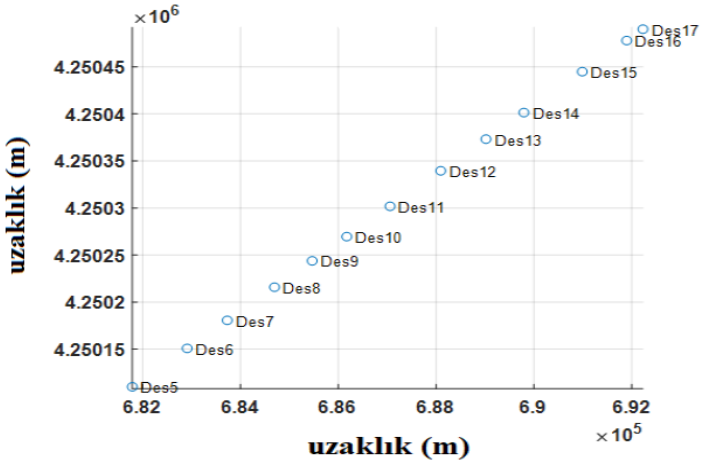


b)

Şekil 5. 13. a) Profil 2'nin harita üzerinde konumu, b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonucu

Ulugergerli (2017), verilerin 2-B ters çözümünde değerlendirilmesinde profil uzun olduğundan dolayı ve daha iyi sonuçlar değerlendirmek için söz konusu profil ikiye (profil 2-a ve profil 2-b şeklinde) bölünmüştür. Profil-2-a üzerinde DES-5 'ten başlayarak DES-17'ye kadar ölçüler toplam 13 DES'ten oluşarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.14). Noktaların uzaklıkları (DES-5: 0 ilk nokta olmak üzere): DES-6: 1121, DES-7: 1942, DES-8: 2909, DES-9: 3680, DES-10: 4387, DES-11: 5273, DES-12: 6310, DES-13: 7236, DES-14: 8011, DES-15: 9206, DES-16: 10115, DES-17: 10447'dir. Şekil 5.13'te profil 2-a'nın ölçüm yerleri gösterilmiştir. Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 34 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 27.5091 değerinden 0.54074 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.00075444 olarak elde edilmiştir. Elde

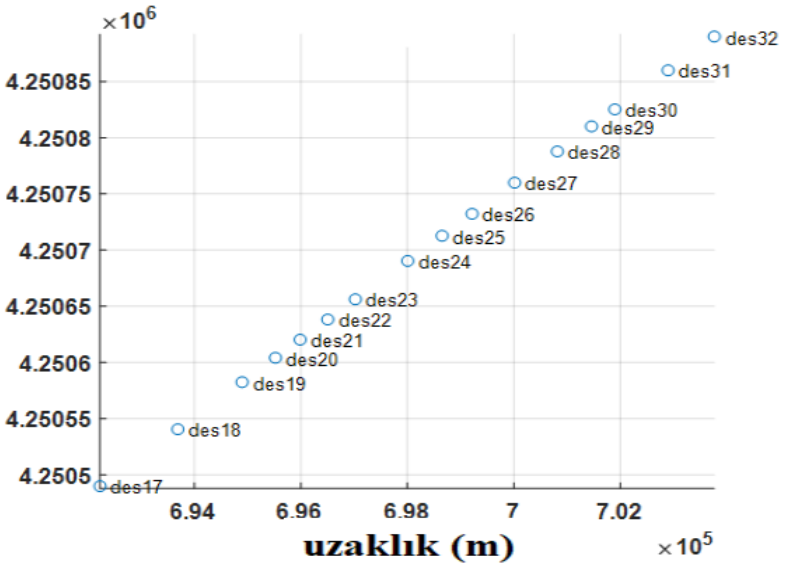
edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 1.6045 ve 279 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 14. Profil 2-a üzerinde bulunan ölçü noktaları

Ulugergerli (2017), verilerin 2-B ters çözümünde değerlendirilmesinde profil 2-b profilde DES-17'den başlayarak DES- 32'ye kadar toplam 16 adet DES'ten oluşmuştur. Profil 2-b üzerinde alanın ölçüm yerleri şekil 5.15'te gösterilmiştir. Noktaların uzaklıkları (DES-17: 0 ilk nokta olmak üzere): DES-18: 1461, DES-19: 2670, DES-20: 3295, DES-21: 3760, DES-22: 4278, DES-23: 4797, DES-24: 5781, DES-25: 6427, DES-26: 6991, DES-27: 7790, DES-28: 8593, DES-29: 9236, DES-30: 9673, DES-31: 10674, DES-32: 11542'dir. Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 30 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 162.1149 değerinden 12.1012 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.00045872 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.030337 ve 113 olarak bulunmuştur.

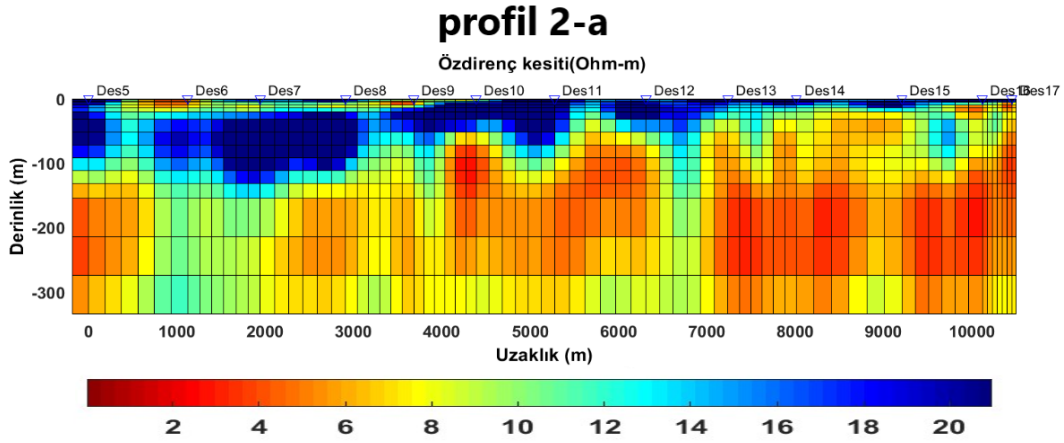
Tüm kesitleri ortak bir ölçekte göstermek amacıyla ters çözüm sonucundan bağımsız olarak 0-20 aralığında sunulmuştur. Bu çerçevede gerçekleştirilen bütün yorumlar 0-20 aralığına göre yorumlanmıştır. Ayrıca tüm ters çözüm sonuçlarının ölçüleri ek kısmında gösterilmektedir.



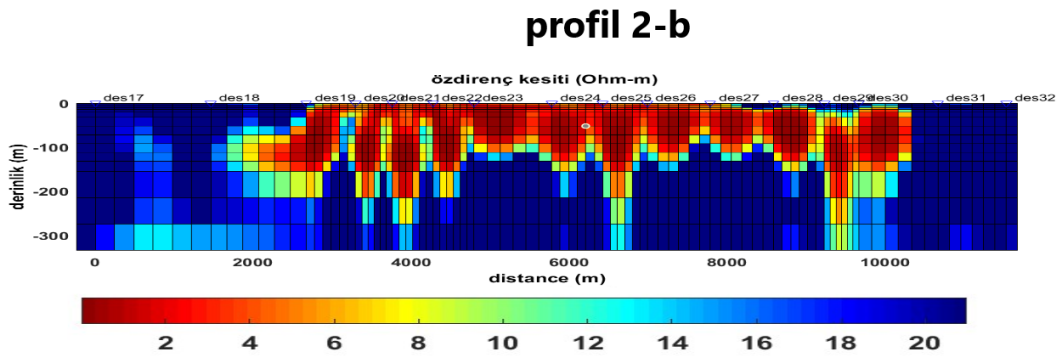
Şekil 5. 15. Profil 2-b üzerinde bulunan ölçü noktaları

Bu ölçüler 2-B ters çözüm tekniğine göre değerlendirilerek sahanının yeraltı yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. İnceleme sahasında profil 2-a, ve profil 2-b olmak üzere şekil 5.16'te gösterilmiştir. Her iki şekil incelendiğinde; Şekil 5.15 a)'da çakıllı kumlu seviyelerin Profil başlangıcında daha derinlerde yer alırken doğuya doğru gittikçe sığlaştığı gözlenmektedir. Şekil 5.16 b)'de gösterilen Profilin devamında ise killi seviyelerin yüzeyden itibaren egemen olduğu ve DES 30'a kadar farklı derinliklerde devam ettiği gözlenmektedir. Buradaki kırmızı renk tonları killi seviyelerin tuzlu olduğunu da göstermektedir.

Bu profil boyunca DES-5 ve DES-6, DES-7, DES-8 ve DES-9 arası, DES-12, DES-13, DES-14 DES-15 arası ve DES-28 DES-30, ölçü noktalarında faylanmaların olası olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.17'de faylar kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. . Ek-13'te profil 2'nin 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamanda Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir.

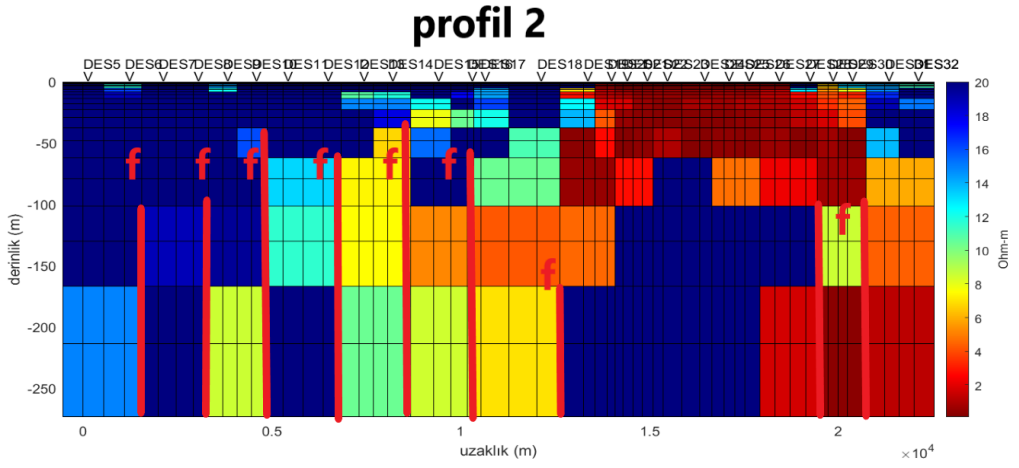


a)



b)

Şekil 5. 16. a) Profil 2-a için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları b) Profil 2-b için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları

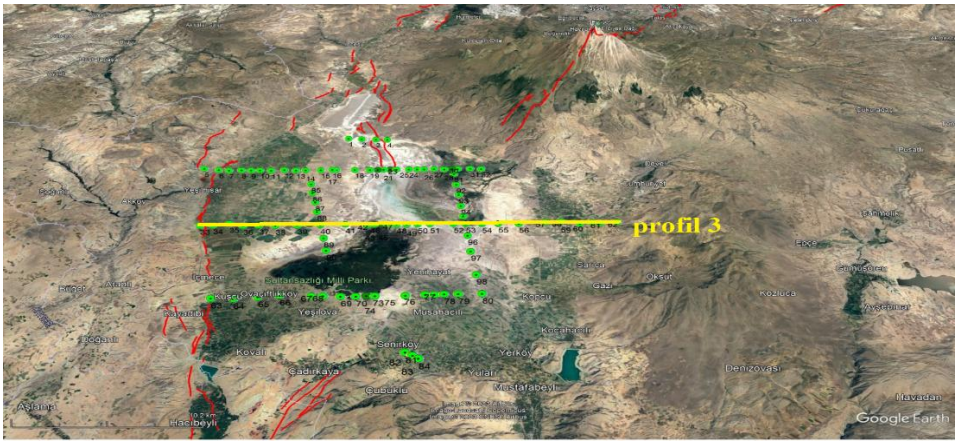


Şekil 5. 17. Profil 2 üzeninde gösterilen faylar

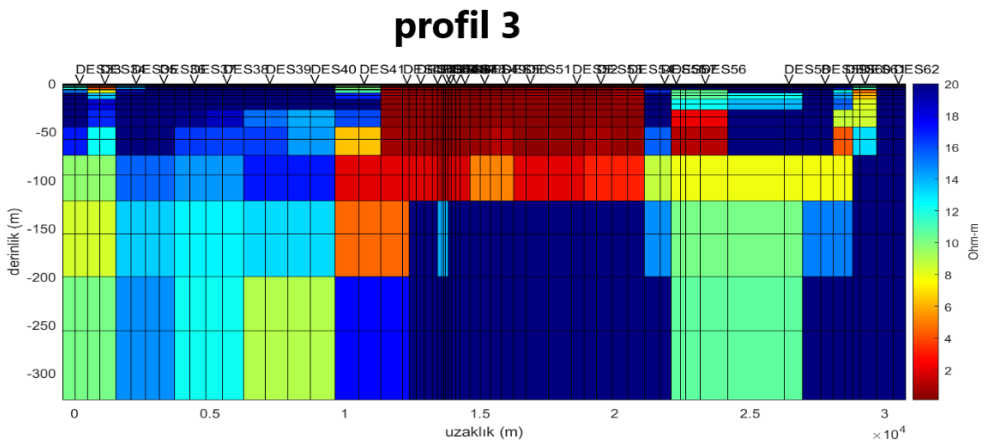
5.6.3. Profil 3 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu

Profil 3 doğu-batı doğrultusunda 29 adet DES'ten oluşmakta ve 30.450 m uzunluğundadır. Şekil 5.18. a'da profil 3'in harita üzerinde konumu gösterilmiştir. 2-B ters çözüm sonucu, Uchida ve Murakami, (1990) göre şekil 5.18.b'de gösterilmiştir. Bu ölçülerin 2-B ters çözüm değerlendirmesi sonucu yaklaşık 300 m derinliğe kadar sahanının yeraltı yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. DES-43'ten başlayan ve DES-53'e kadar devam eden ve yer yer 250 m kalınlığa ulaşan çok düşük özdirençli tuzlu kil tabakası (kuyu kırmızı renkli) dikkat çekmektedir. Profil 2'e benzer şekilde bu profilde de Profilin batısında daha derinlerden başlayıp DES-40'a kadar gittikçe sığlaşan çakıllı kumlu seviyeler DES-54'den sonra profilin sonuna kadar ve hemen hemen bütün derinliklerde varlığını sürdürmektedir. Söz konusu bu çakıllı kumlu seviyeler akifer niteliği taşıyabilir.

Ulugergerli (2017), verilerin 2-B ters Çözümünde değerlendirilmesinde profil uzun olduğundan dolayı ve daha iyi değerlendirmek için söz konusu profil ikiye (profil 3-a ve profil 3-b şeklinde) bölünmüştür. Profil-3-a, çalışma alanında profil DES-33 ten başlayarak, DES-42 kadar devam eden boyunca toplam 10 adet DES ölçü alınmıştır. Noktaların uzaklıkları (DES-33: 0 ilk nokta olmak üzere), DES-34: 917, DES-35: 2045, DES-36: 3104, DES-37 :4244, DES-38: 5449, DES-39: 7026, DES-40: 8696, DES41: 10514, DES-42: 12113'dir (Şekil 5.19). Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 101 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 60.0822 değerinden 4.3574 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.0058257 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.15914 ve 245 olarak bulunmuştur. Ulugergerli (2017), verilerin 2-B ters Çözümünde değerlendirilmesinde profil 3-B profil boyunca (DES-41, DES-62 arası) toplam 22 adet DES ölçü alınmıştır. Profil 3-B üzerinde ölçüm yerleri şekil 5.20'de gösterilmiştir.

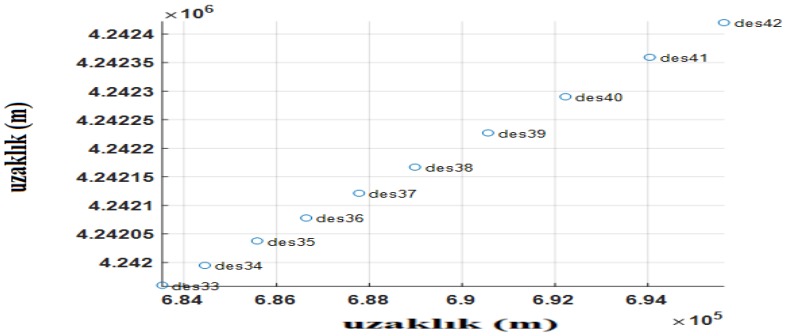


a)



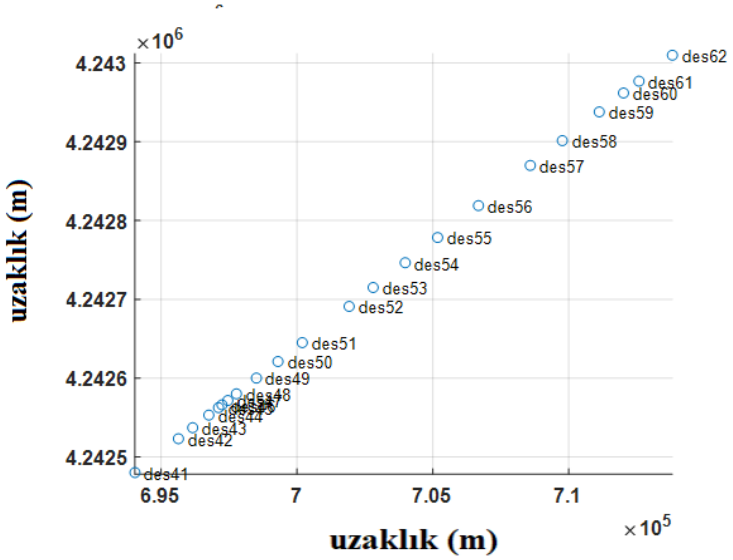
b)

Şekil 5. 18. a) Profil 3'nin harita üzerinde konumu, b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonucu



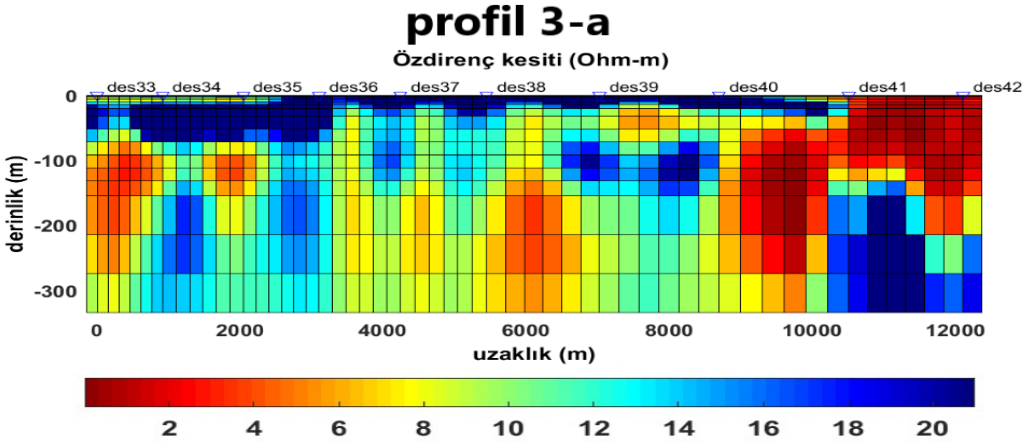
Şekil 5. 19. Profil 3-a üzerinde bulunan ölçü noktaları

Noktaların uzaklıkları (DES-41: 0 ilk nokta olmak üzere), DES-42: 1600, DES-43: 2126, DES-44: 2719, DES-45: 3079, DES-46: 3205, DES-47: 3420, DES-48: 3735, DES-49: 4470, DES-50: 5266, DES-51: 6161, DES-52: 7886, DES-53: 8770, DES-54: 9951, DES- 55: 11144, DES-56: 12648, DES-57: 14556, DES-58: 15735, DES-59: 17094 DES-60: 17987, DES-61: 18558, DES-62: 19787 m'dir. Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 38 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 385.3778 değerinden 27.8644 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.00025197 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.0095856 ve 656 olarak bulunmuştur.

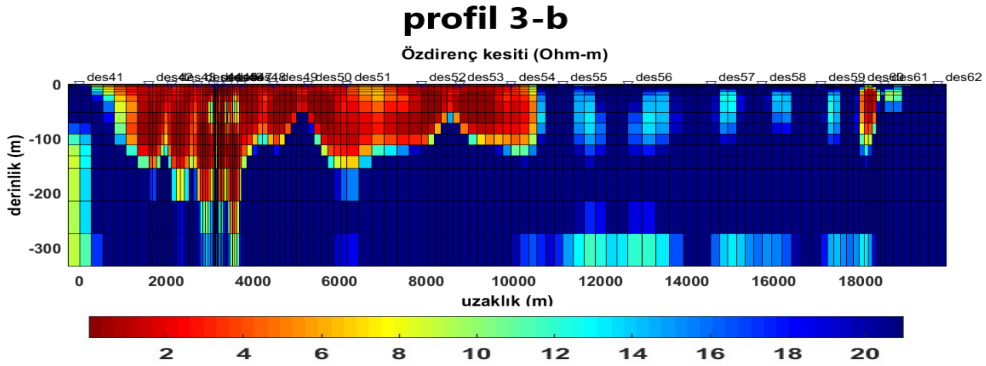


Şekil 5. 20. Profil 3-b üzerinde bulunan ölçü noktaları

Bu ölçüler 2B ters çözüm tekniğine göre değerlendirilerek sahanının yeraltı yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Profil 3-a ve 3-b için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları şekil 5.21'de verilmiştir. Bu profilde koyu kırmızı renkli yerlere denk gelen alanların tuzlu kil, sarı ile mavi olan yerlerin kumlu kil, lacivert yerlerin ise çakıllı kumlu birimler olduğu söylenebilir.



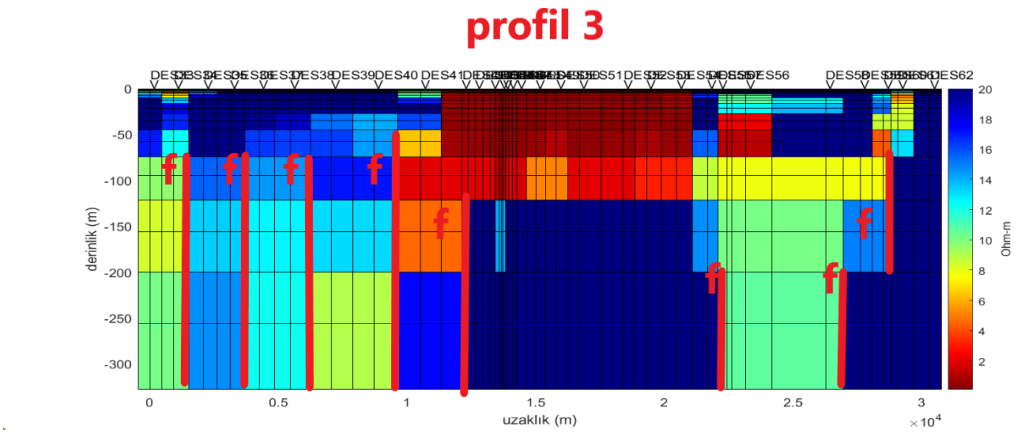
a)



b)

Şekil 5. 21. a) Profil 2-a için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları b) Profil 2-b için Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları

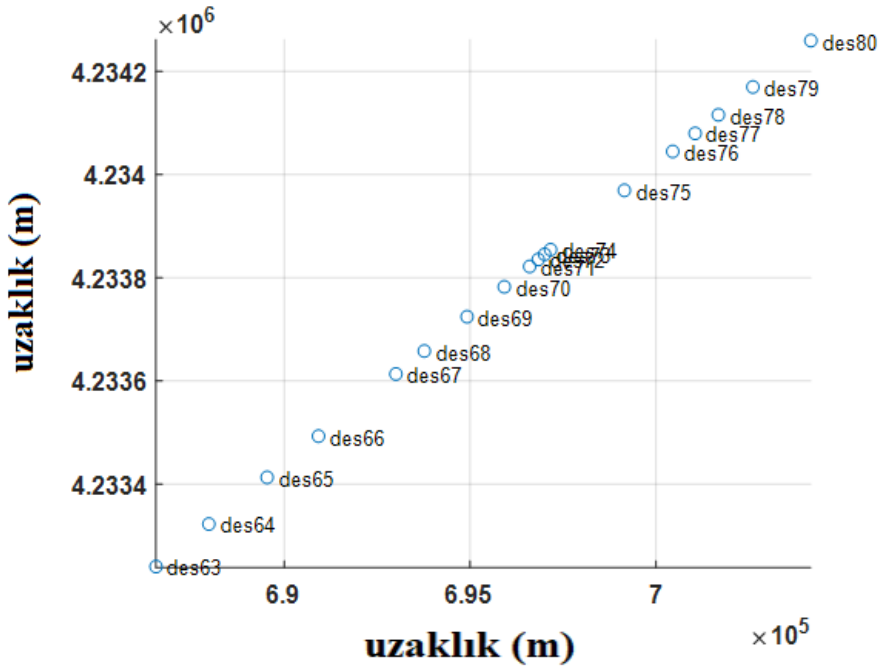
Bu profil üzerinde DES-33, DES-34, DES-35 ve DES-36, DES- 38, DES-40-DES-41, DES-59 olası örtülü faylanmaların olduğu söylenebilir. Şekil 5.22'de faylar kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. Ek- 14 de profil 3'in 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami, (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamana Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir.



Şekil 5. 22. Profil 3 üzeninde gösterilen faylar

5.6.4. Profil 4 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu

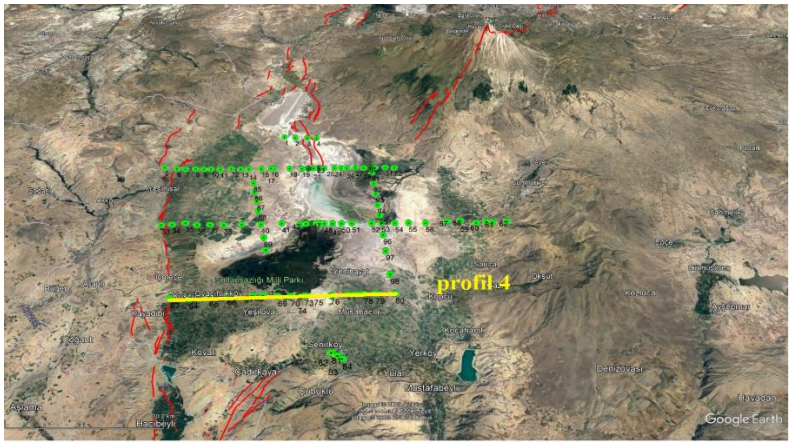
Profil 4 batıdan doğuya olan, çalışma alanında hat boyunca toplam 18 adet DES ölçü alınmıştır. Profil 4 üzerinde olan ölçüm yerleri şekil 5.23 'te gösterilmiştir. Noktaların uzaklıkları (DES-63: 0 ilk nokta olmak üzere), DES-64: 1424, DES-65: 2993, DES-66: 4378, DES-67: 6465, DES-68: 7230, DES-69: 8383, DES-70: 9386, DES-71: 10069, DES-72: 10299, DES-73: 10472, DES-74: 10632, DES-75: 12620, DES-76: 13924, DES-77: 14527, DES-78: 15154, DES-79: 16084, DES-80: 17645 m'dir. Şekil 5.20'de profil 4'in harita üzerinde konumu gösterilmiştir. Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 86 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 72.6739 değerinden 3.0066 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.0008863 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.050205 ve 299 olarak bulunmuştur.



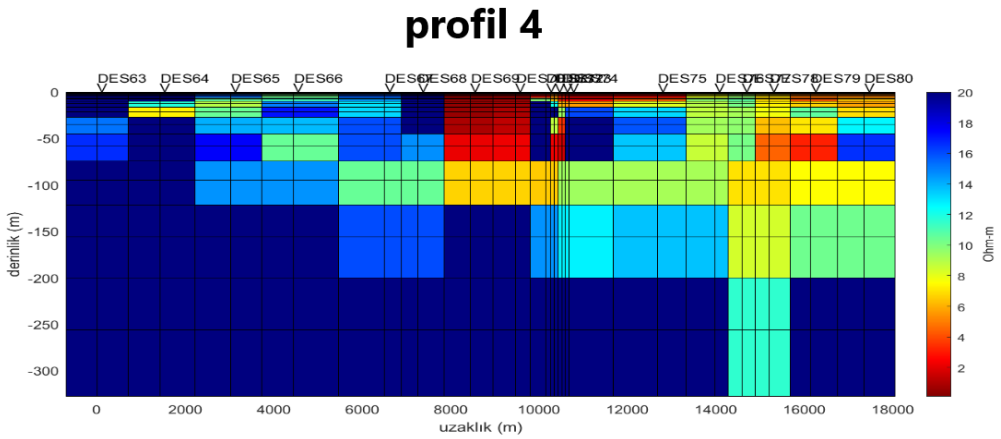
Şekil 5. 23. Profil 4 üzerinde bulunan ölçü noktaları

Bu ölçüler 2B ters çözüm tekniğine göre değerlendirilerek sahanının yeraltı yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Buna göre sahada; genel olarak ilk 20 m arasında kırıklı çatlaklı bozuşmuş birimler yer almaktadır. İnceleme alanı formasyonu, kumtaşı, kiltaşı ve killi çakıl taşları birimleri ile temsil edilmektedir. 2-B ters çözüm sonuçları şekil 5.24. b) ve c) de gösterilmiştir.

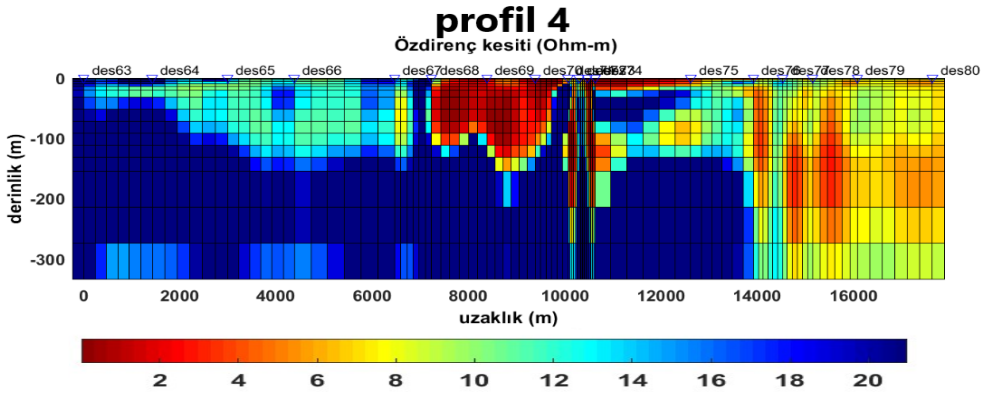
Bu profilde DES-70 ile DES-74 arasındaki çok düşük özdirençlerle karakterize edilen kil minerallerinin doldurduğu bir vadi görüntüsü elde edilmiştir. 150 m derinliklere kadar ulaşan bu görüntü, aynı zamanda Profilin en iletken bölümünü temsil etmektedir. Profilin doğusunda gidildikçe DES-75'den itibaren özdirenç değişimlerinin hem doğuya hem de derinlere doğru azalmış olup burada da bir fayın varlığından söz edilebilir. Bu profilde DES-63'den DES-75'e kadar 100 m derinliklerden 300 m derinliklere kadar çakıllı kumlu seviyeleri temsil eden mavi rengin egemenliği söz konusu alanın akifer özelliğinde olabileceğinin de göstergesidir. Ek- 15'te profil 4'in 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami, (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamana Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir



a)



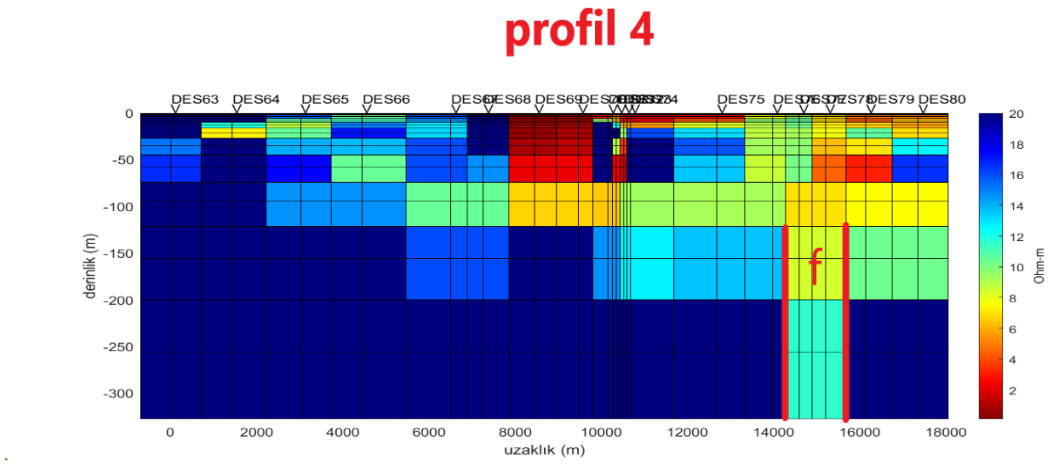
b)



c)

Şekil 5. 24. a) Profil 4'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları

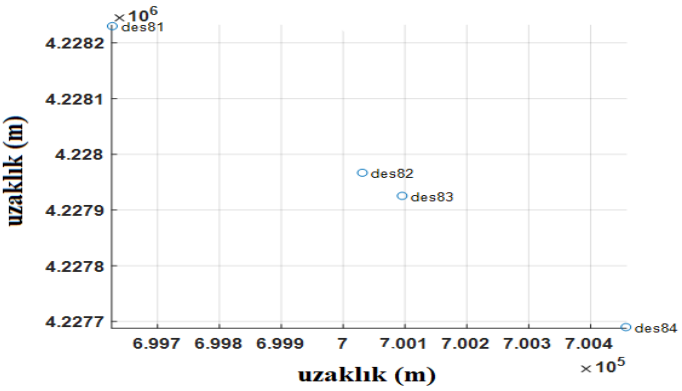
Profil 4 üzerinde 14000 m de (DES-75 ile DES-78) 16000 m arasında bir faylanma söz konusu olabilir ve bu fay Şekil 5.25'te kırmızı çizgiyle gösterilmiştir.



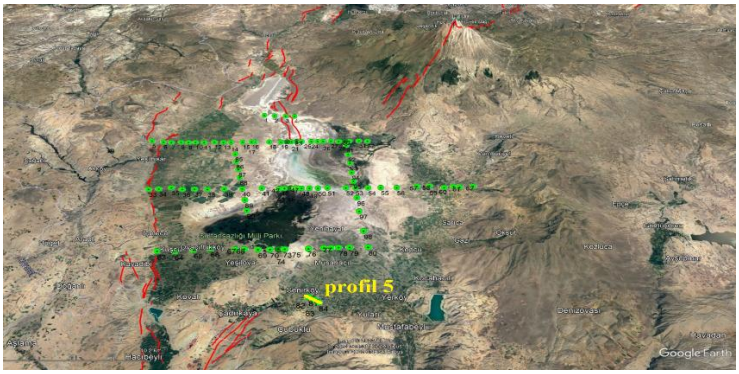
Şekil 5. 25. Profil 4 üzerinde gösterilen ölçü noktaları

5.6.5. Profil 5 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu

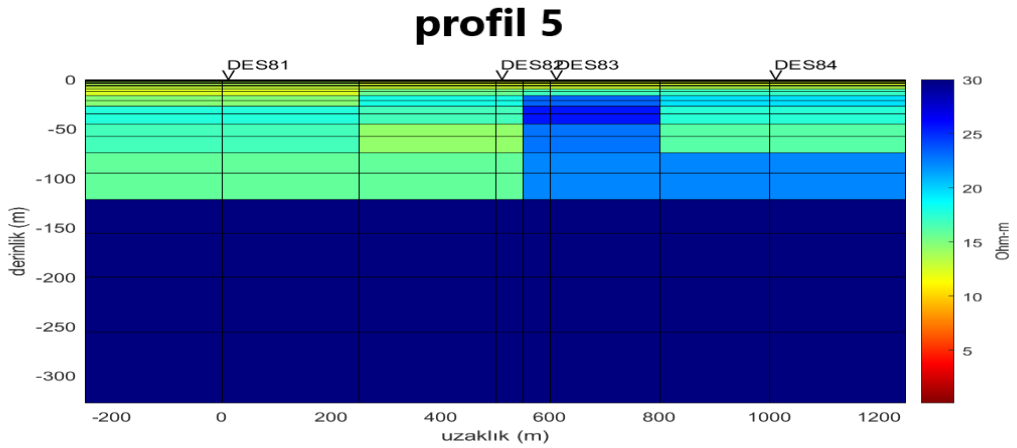
Bu profil 4 noktada ölçülen DES verileri değerlendirilmiştir. Noktaların uzaklıkları (DES-81: 0 ilk nokta olmak üzere), DES-82: 482, DES-83: 558, DES-84: 990 m'dir. Şekil 5.26'de ölçü noktaları gösterilmiştir. Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 30 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 4.2368 değerinden 0.10448 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.00088572 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 1.5894 ve 159 olarak bulunmuştur.



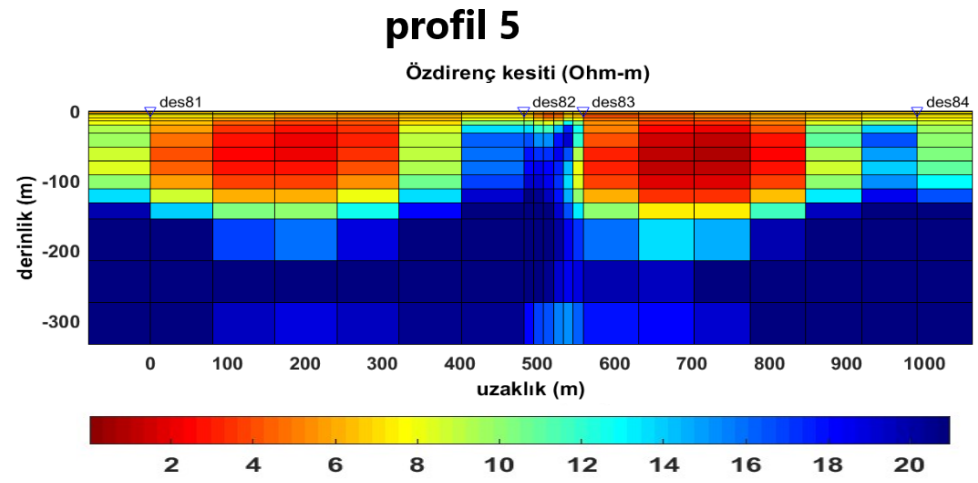
Şekil 5. 26. Profil 5 üzerinde bulunan ölçü noktaları



a)



b)



c)

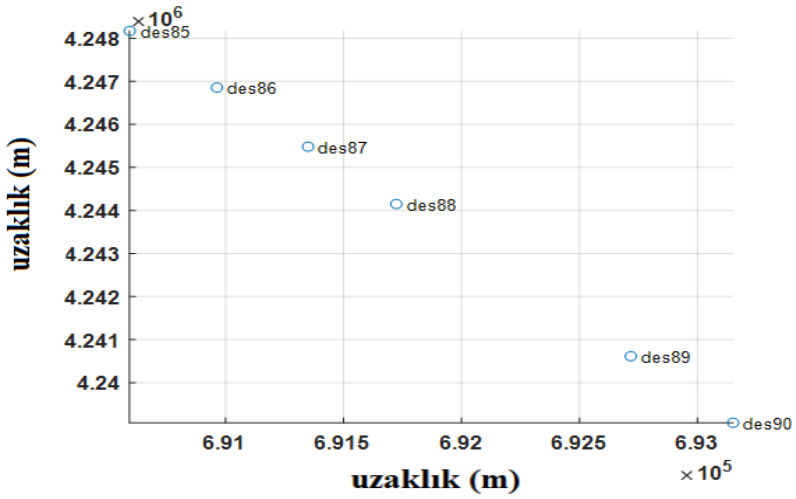
Şekil 5. 27. a) Profil 5'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları

Bu ölçüler 2B ters çözüm tekniğine göre değerlendirilerek yeraltı yapısı ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Söz konusu profilin uzunluğu 1 km olup sahanın en güneyinde yer almaktadır. Profil boyunca 300 m derinliğe kadar alüvyon birimler olduğu söylenebilir. Yaklaşık 150 m derinliğe killi iletken birimler yer alırken akiferin Profil boyunca 150 m'den daha derinde olduğu düşünülmektedir. Yüzeydeki killi birimler yass'nin beslenmesine izin vermese de akiferin yanal olarak beslenebileceği düşünülmektedir.

Ek-16'da profil 5'in 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami, (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamana Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir.

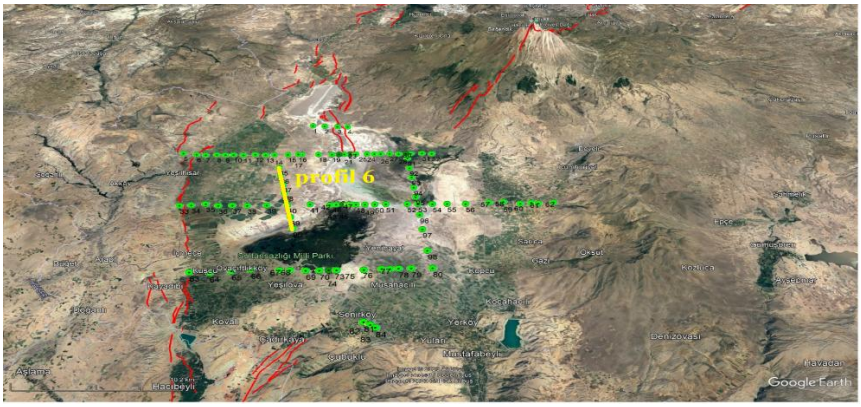
5.6.6. Profil 6 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu

Profil 6; yaklaşık olarak kuzey güney doğrultusunda uzanan, 6 DES'ten (DES-85 ile DES-90 arası) oluşan, toplam 10 km uzulugundadır. Noktaların uzaklıkları (DES-85: 0 ilk nokta olmak üzere), DES-86: 1365, DES-87: 2792, DES-88: 4175, DES-89: 7847, DES-90: 9452 m'dir. Ölçü noktalar ve alanı şekil 5.29'de gösterilmiştir.

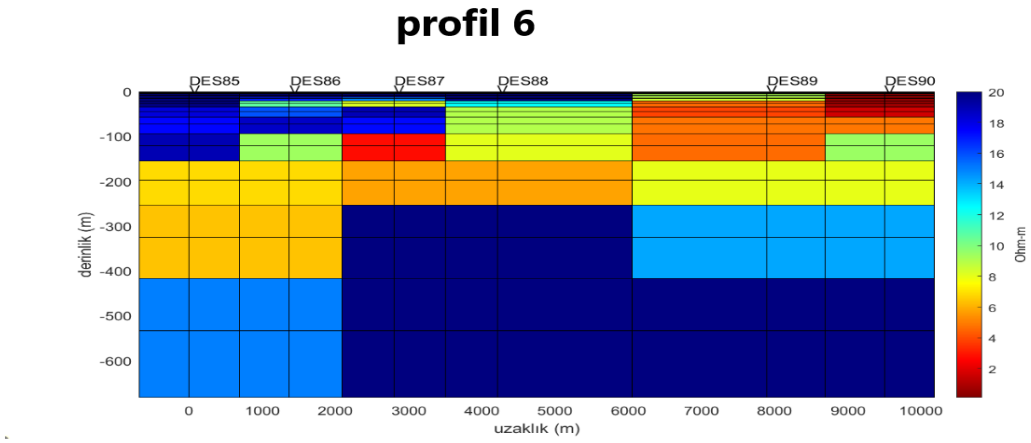


Şekil 5. 28. Profil 6 üzerinde bulunan ölçü noktaları

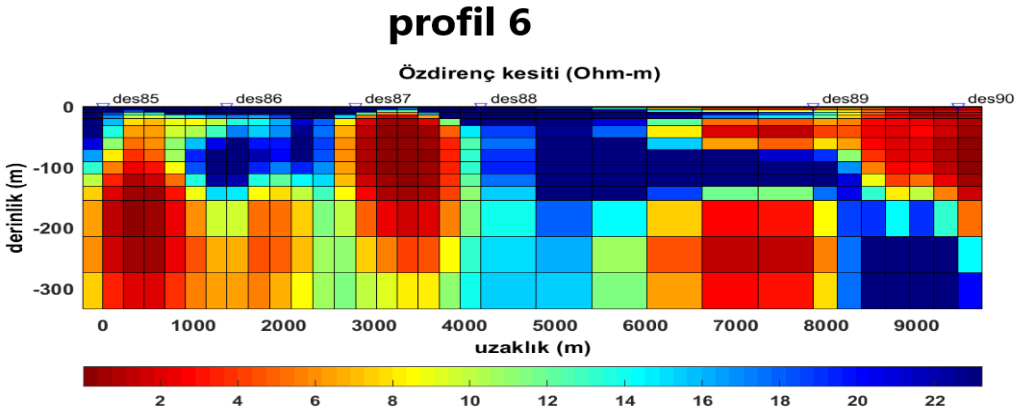
Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 77 yineleme gerçekleştirilmiştir ve uyum (misfit) 57.2461 değerinden 2.8283 değerine inmiştir. Son



a)



b)



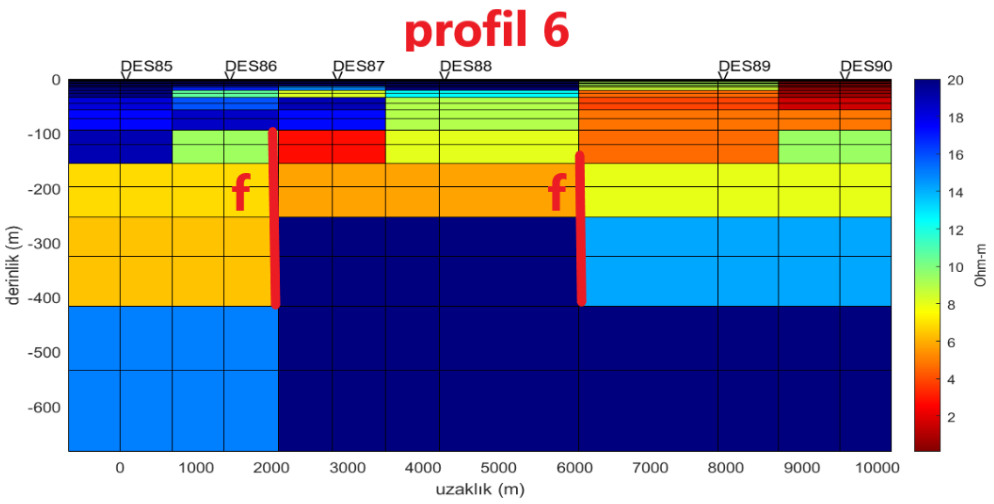
c

Şekil 5. 29. a) Profil 6'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları

uyum değişimi = 0.00081679 olarak elde edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.090438 ve 1139 olarak bulunmuştur.

Profil boyunca düşük özdirenç değerleri ile temsil edilen (iletken) killerin hem yanal hem de düşey ygönde egemen birim olduğu söylenebilir. 2B'lu ters çözüm DES-87 - DES-88 arasında bir gömülü fayın varlığını göstermektedir. Bu profilde DES-88 civarında akifer niteliğinde birimler olabilir.

Ek-17'de profil 6'nın 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami, (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamana Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir.

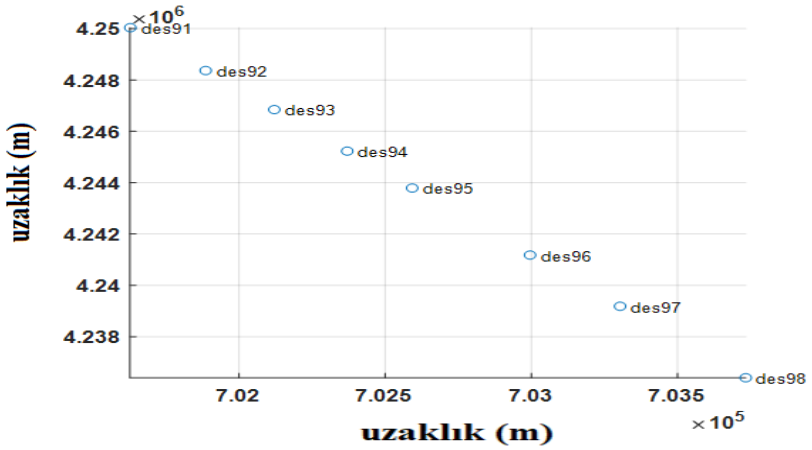


Şekil 5. 30. Profil 6 üzerinde gösterilen faylar

5.6.7. Profil 7 İçin 2-B Ters Çözüm Yorumu

Profil 7, DES-90'dan başlayıp DES-98'e kadar kuzey güney doğrultusunda uzanan toplam 8 DES'den oluşmuştur. Profilin uzunluğu ise 14500 m'dir. Noktaların uzaklıkları (DES-91 ilk nokta olmak üzere), DES-92: 1690, DES-93: 3230, DES-94: 4866, DES-95: 6322, DES-96: 8964, DES-97: 10984, DES-98: 13801 m dir. Ölçü noktaları ve DES'lerin konumu şekil 5.31'de gösterilmiştir. Ters çözümde model yumuşatma katsayısı 0.25 seçilmiştir. 25 yineleme gerçekleştirilmiştir ve misfit 40.1561 değerinden 3.9304 değerine inmiştir. Son uyum değişimi = 0.00019265 olarak elde

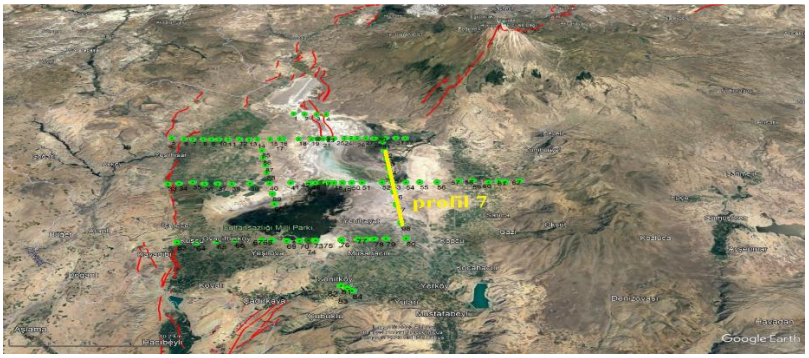
edilmiştir. Elde edilen modelde en küçük ve en büyük özdirenç değerleri 0.030378 ve 178 olarak bulunmuştur.



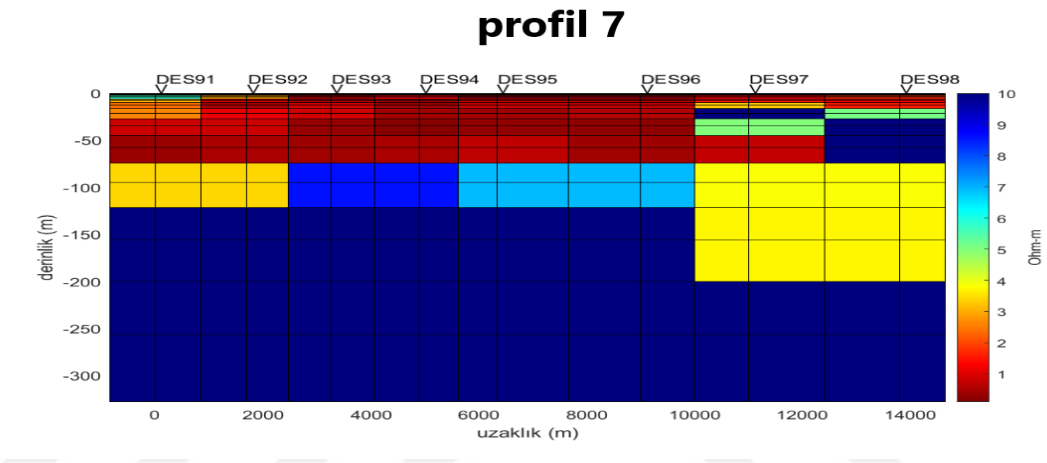
Şekil 5. 31. Profil 6 üzerinde bulunan ölçü noktaları

Bu profil, sazlık alanlara karşılık gelmekte olup yaklaşık olarak yer yüzeyinden 100 m derinliklere kadar devam eden ve güneye doğru nispeten sığlaşan killerin egemen olduğu bir sedimanter ortamı temsil etmektedir. Söz konusu kil ve kumlu kil yapısının DES-96 – DES-97 arasında bir bariyer gibi 300 m derinliklere kadar ulaştığı söylenebilir. Burada iki gömülü faydan söz etmek de mümkündür. Profil 6'nin harita üzerinde konumu, Uchida ve Murakami, (1990) ve Ulugergerli (2017) 2-B ters çözüm sonuçları Şekil 5.33'de gösterilmiştir.

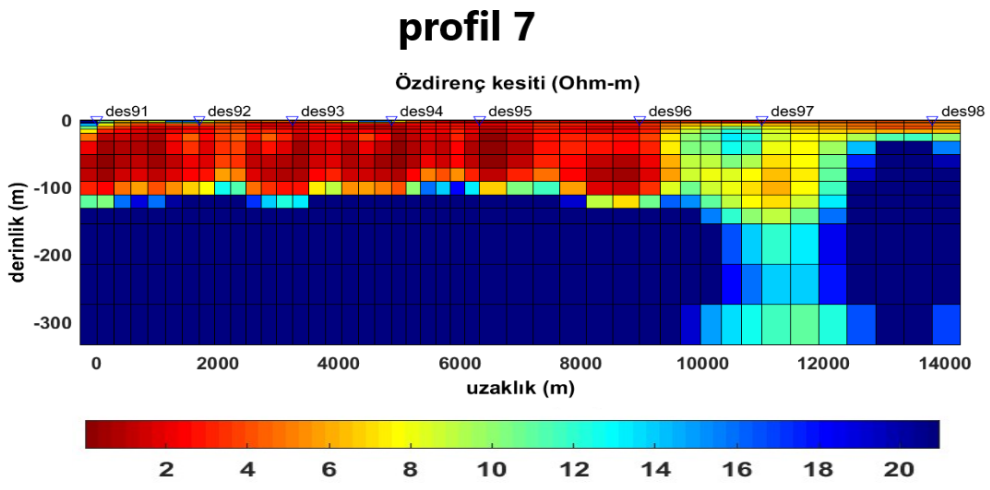
Şekil 5.34'te 10 km'de (DES-96) kırmızı çizgi ile faylanma gösterilmiştir. Ek-18'de profil 7'nin 2-B ters çözüm Uchida ve Murakami, (1990) ile gösterilmiştir. Aynı zamana Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları (özdirenç kesitleri ve eş-özdirenç eğrileri) gösterilmiştir



a)

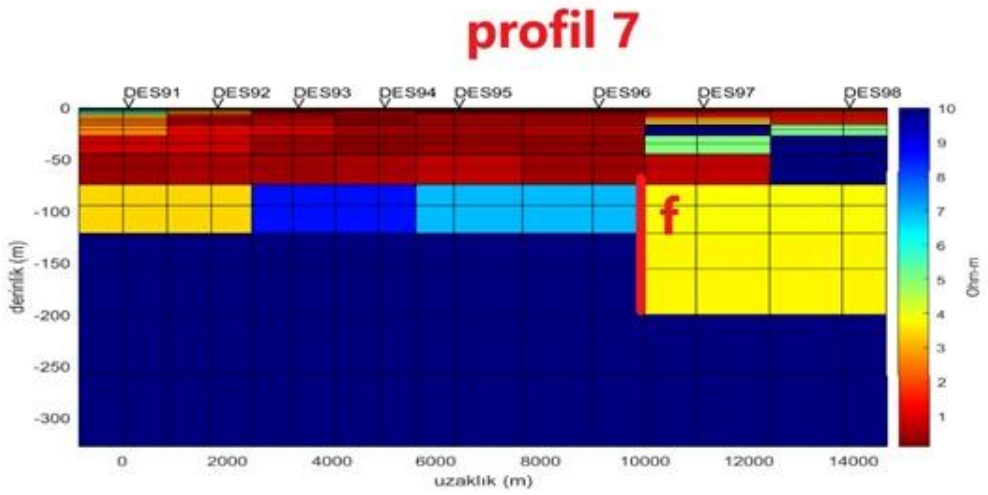


b)



c)

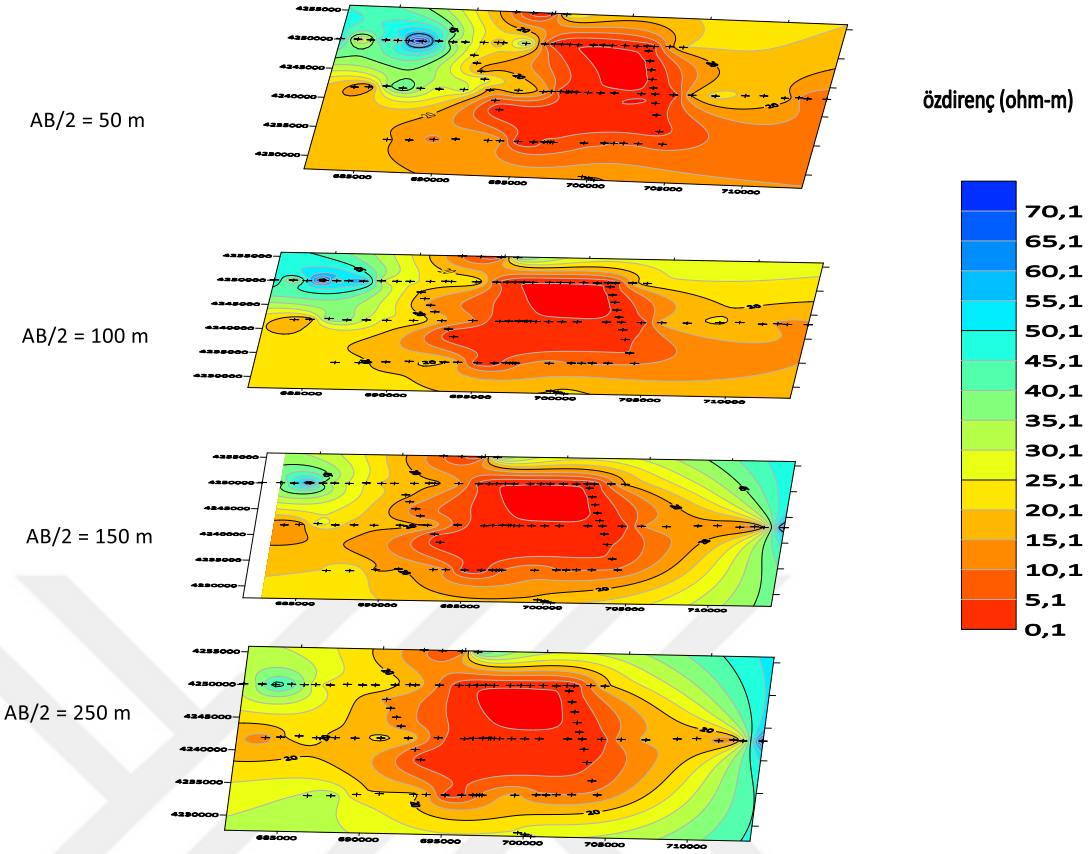
Şekil 5. 32. a) Profil 7'in harita üzerinde konumu ve b) Uchida ve Murakami, (1990) ile elde edilen c) Ulugergerli (2017) ile elde edilen 2-B ters çözüm sonuçları



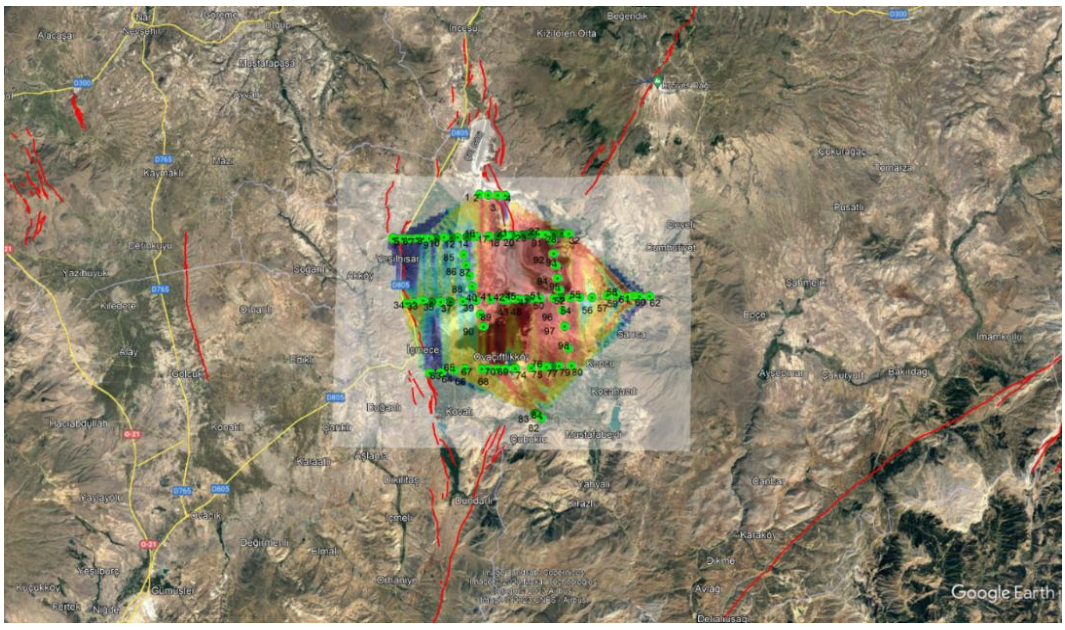
Şekil 5. 33. Profil 6 üzerinde gösterilen faylar

5.7. Yatay Kesit Haritası (Contour Map)

Yatay Kesit Haritası, toplanan DAÖ DES verilerinin bir başka sunum şeklidir. Bu haritalarda seçilen herhangi (AB/2) değeri için alanda ölçülen GÖ ilgili DES noktasına atanarak eş özdirenç eğrileri çizilmektedir. Çalışma alanında AB/2= 50 m, AB/2= 100 m, AB/2= 150 m ve AB/2= 250 m için yatay kesit haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.35). Şekilden de görüleceği gibi, alanın orta kısımları düşük özdirenç değerleri ile karakterize edilmektedir ki, bu alanlar tuzlanmanın da etkisindeki kil birimlerini temsil etmektedir. Aynı şekilde tüm profillerin özdirenç dağılımı 3-B olarak harita üzerinde şekil 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5. 34. Üç farklı AB/2 seviyeler için yatay kesit haritası



Şekil 5. 35. Harita üzerinde çalışma alanının 3-B özdirenç dağılımı

5.8. Profiller Üzerinde Bulunan Sondajların Litolojisi

Sultan Sazlığı çalışma alnında farklı tarihlerde açılmış olan sondaj kuyuları profil 2 ve profil 3 üzerinde mevcuutur. Bu tez çalışmasında elde edilen ters çözüm sonuçlarının test etmek için sondajların litolojik birimleri ile ilk önce 1-B ve daha sonra 2-B olarak incelenmişitr. Bu bağlmada belirtilmiş olan bu kuyuların litolojik birimleri detaylı bir şekilde aşağıda mevcuttur.

5.8.1. Profil 2 Üzerinde Bulunan Sondajlar

Bu profil üzerinde DES-7 ve DES-9 ölçülerinde sondajlar mevcuttur. İlk olarak DES-7 üzerinde olan sondaj SK-1 şeklinde tanımlanmış ve çizelge 5.3'te açıklanmıştır. Bu çizelgede görüldüğü üzere 1 m'ye kadar nebati toprak bulunmaktadır. 1 m'den sonra 12 m'ye kadar killi kumlu çakıl, volkanik elemanlı kum ve çakıl kuvarslı birimler söz konusudur. 12 m'den 32 m'ye kadar iri kumlu ve çakıllı birimlerde siyah renkli, volkanik elemanlı ve bol kuvarslı olduğu tespit edilmiştir. 32 ve 49 metrelik birimin volkanik elemanlı killi çakıl kahverengi olduğu gözlemlenmiştir. 49 ve 67 metrelik volkanik elemanlar, kum ve çakıl karışımıdır. 67-92 m aralığındaki jeolojik birimde, killi kum ve çakıl karışımı radarda çok ince bantlar halinde kil ve siyah renkli volkanik elemanlı çakıllar tespit edilmiştir. 92-120 m arasındaki jeolojik birimde, bantlar halinde kahverengi killerin ve bazalt elemanlı çakıllar bulunmaktadır. 120-131 m arasında açık kahverengi kil ve volkanik elemanlı çakıl gözlemlenmiştir. 131-170 m arasında kil, bantlar halinde ve siyah renkli andezit bazalt elemanlı çakıllar, sondaj sonucunda saptanmıştır. Aynı zamanda Şekil 5.36'da sondajların litolojik birimleri çizilerek gösterilmiştir.

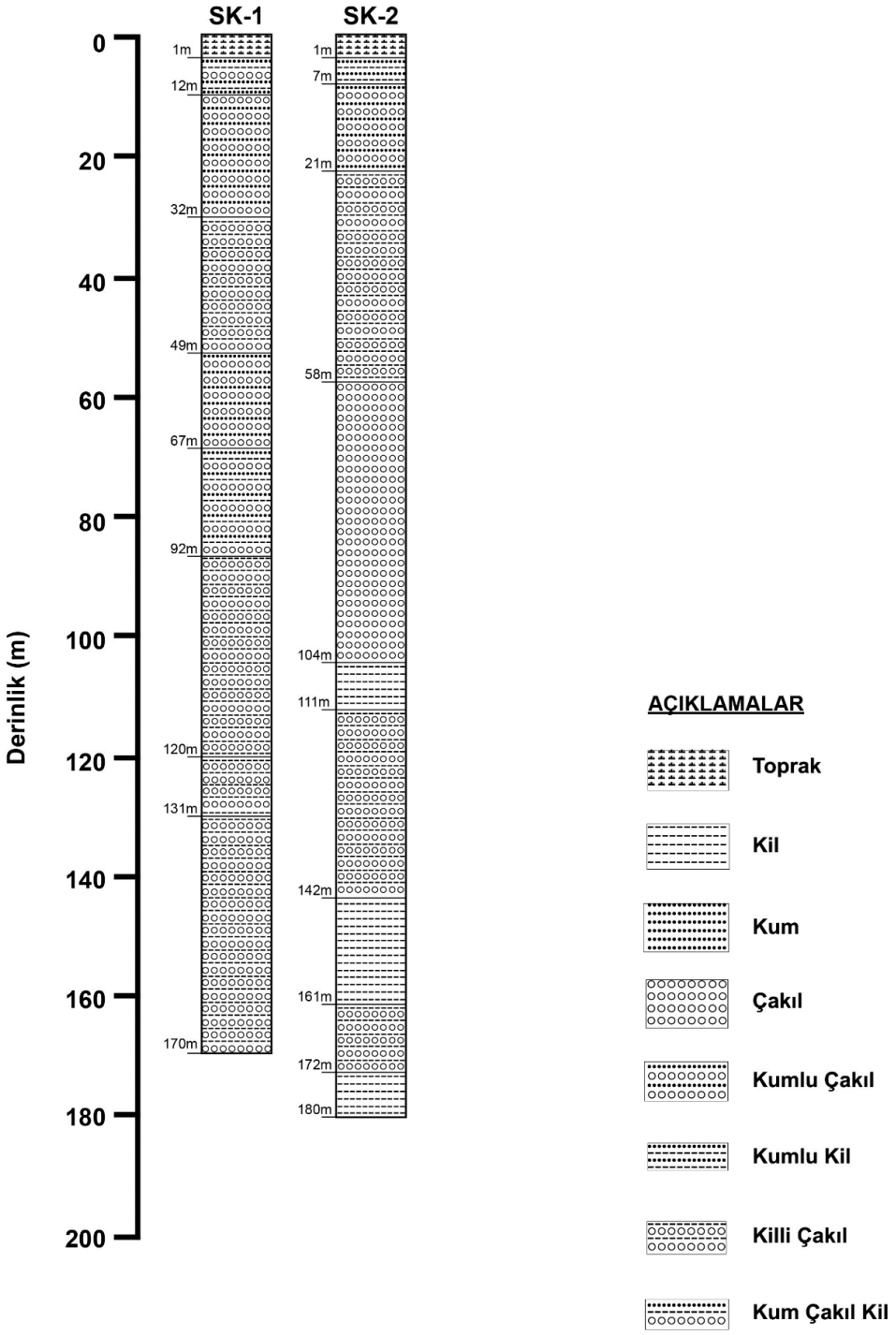
Çizelge 5. 3. SK-1 litolojik birimi

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-1 m.	:	Toprak
1-12 m.	:	Killi kum ve çakıl
12-32 m.	:	Kaba kum ve çakıl
32-49 m.	:	Killi çakıl
49-67 m.	:	Kum ve çakıl
67-92 m.	:	Killi kum çakıl
92-120 m.	:	Çakıl ve kil
120-131m.	:	Killi çakıl
131-170m.	:	Çakıl ve kil

Profil 2 hattında bulunan ve DES-9 üzerine denk gelen kuyu numarası (SK-2)'dir. toplam 180 m derinliğinde açılan kuyunun birim detayları çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Bu sondaj kuyusunda 1 m derinliğinde nebati toprak kumlu şeklindedir. 1-7 m mesafede killi kum ortaya çıkmıştır. 7-21 m arasında volkanik elemanlı kaba kum ve çakıl kuvarslı tespit edilmiştir. 21-58 m derinlikte yoğun olarak ufak taneli çakılların ve az killi çakılların yer aldığı belirlenmiştir. 58-104 m derinlikte andezit, bazalt elemanlı ve bol kuvarslı çakıllar gözlemlenmiştir. 104 -111 m derinlikte krem ve bej renkli kil ve az çakıl tespit edilmiştir. 11-142 m arasında kilin ince bantlar halinde olduğu ve volkanik elemanlı çakıllar saptanmıştır. 142 - 161 m kil, krem ve bej renkli olup ayrıca yapışkandır. 161-172 m derinlikte bantlar halinde çakıl ve kil tespit edilmiştir. 172 -180 m arasında krem ve bej renkli, az çakıllı kil gözlenmiştir.

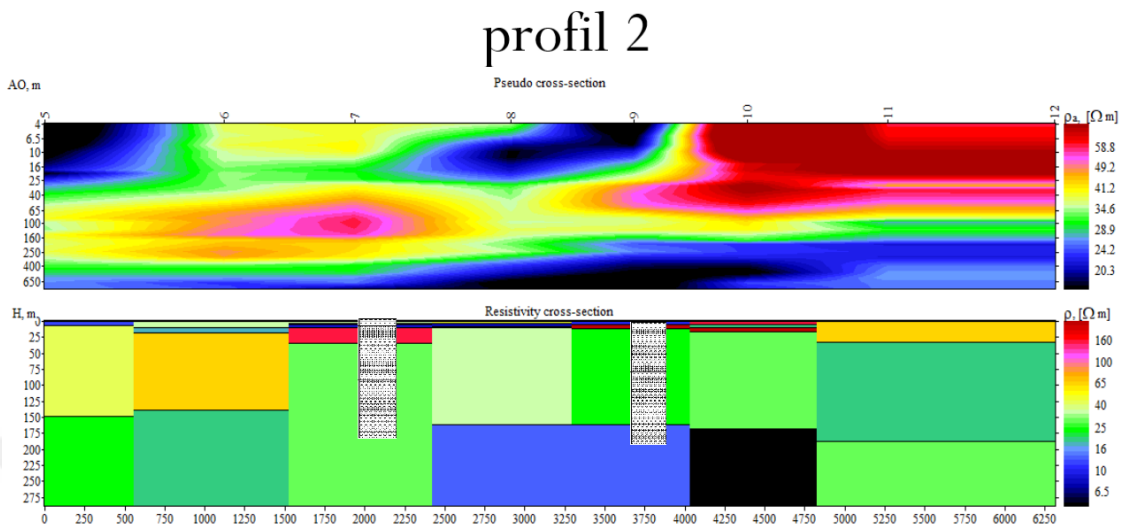
Çizelge 5. 4. SK-2 sondaj kuyusunun litolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-1 m.	:	Toprak
1-7 m.	:	Killi kum
7-21 m.	:	Kaba kum ve çakıl
21-58 m.	:	Az killi çakıl
58-104 m.	:	Çakıl
104-111 m.	:	Kil
111-142 m.	:	Çakıl ve kil
142-161m.	:	Kil
161-172 m.	:	Çakıl ve kil
172-180 m.	:	Kil



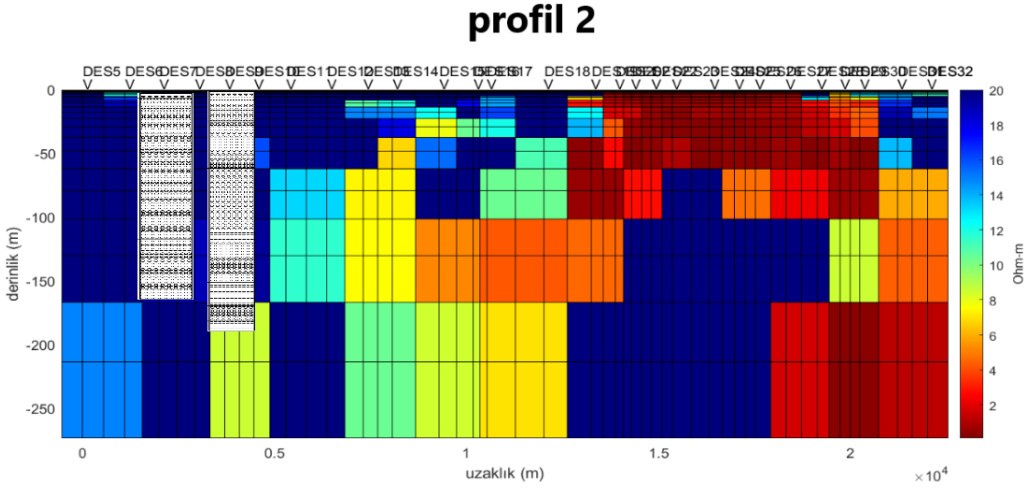
Şekil 5. 36. Profil 2 Üzerinde Bulunan SK-1 ile SK-2

Şekil 5.37'te 1-B ters çözüm sonucu (IPI2win programı) ile sondajlar litolojik birimleri kıyaslanmıştır.



Şekil 5. 37. Profil 2 üzerinde (1-B olarak) bulunan sondajlar

Profil 2 üzerinde bulunan sondajların litolijik birimi Şekil 5 38'de detaylı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5. 38. Profil 2 (2-B olarak) üzerinde bulunan sondajların litolijisi

5.8.2. Profil 3 üzerinde bulunan Sondajlar

Profil 3 üzerinde olan ve DES-33'e denk gelen sondaj (SK-3) ile gösterilmiş ve jeolojik birimleri çizelge 5.5'te açıklanmıştır. Aynı zamanda sondajın litolojik birimleri Şekil 5.39'de çizilerek gösterilmiştir.

Çizelge 5. 5. SK-3 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-12 m.	:	Silt (Az killi)
12-18 m.	:	Az killi kum
18-24 m.	:	Kumlu kil
24-35 m.	:	Killi kum
35-47 m.	:	Çok az çakıllı killi kum
47-52 m.	:	Çakıllı kil
52-63 m.	:	Kumlu kil
63-71 m.	:	Çok az çakıllı kumlu kil
71-92 m.	:	Kumlu kil
92-101 m.	:	Altere olmuş tüf
101-150 m.	:	Kil ve kum

DES-35 üzerinde bulunan su sondajının (SK-4) birimleri çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5. 6. SK-4 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-1 m.	:	Toprak
1-8 m.	:	Kil
8-21 m.	:	Çakıl
21-25 m.	:	Çakıllı kil
25-31 m.	:	Çakıl
31-41 m.	:	Çakıl
41-200.m	:	Kil

DES-36 üzerinde olan SK-5 toplam 162 m açılmıştır. Bu açılımda 3 m kadar olarak toprak, 3-34 m arasında killi çakıltaşı, çakıllar bazalt beyaz tüf kuvarsit ve yeşil taş elemanlar gözlenmiştir. 34-61 m çakıllı kiltaşları, kil gri renkte çakıllar bazalt, beyaz tüf ve kuvarsit elemanlar olarak gözlemlenmiştir. 61-78 m arasında çakıllı kiltaşı, çakıllar bazalt, beyaz ve kahverengi tüfler şeklinde tespit edilmiştir. 78-98 metre arası çakıl bantlı kiltaşı, çakıllar bazalt, beyaz ve kahverengi tüflü ve kuvarsit yeşiltaş elemanlıdır. 98 ile

108 m çakıltaşı ve kiltaşı ve 108 ile 162 metre çakıllı kiltaşı olarak tespit edilmiştir. Çizelge 5.7 de jeolojik açıklamaları bulunmaktadır.

Çizelge 5. 7. SK-5 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-3 m.	:	Toprak
3-34 m.	:	Killi Çakıltaşı
34-61 m.	:	Çakıllı kiltaşı
61-78 m.	:	Çakıllı kiltaşı
78-98 m.	:	Çakıl bantlı kiltaşı
98-108 m.	:	Çakıltaşı-kiltaşı
108-162 m.	:	Çakıllı kiltaşı

Profil 3 üzerinde bir diğer sondaj kuyusu, DES-57 ölçüsüne denk gelen SK-6 olarak çizelge 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5. 8. SK-6 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-3 m.	:	Toprak
3-10 m.	:	Killi çakıl ve kum
10-20 m.	:	Çakıl
20-35 m.	:	Kaba çakıl
35-43 m.	:	Killi çakıl
43-45 m.	:	Kum
45-60 m.	:	Kumlu çakıl
60-64m.	:	Kum, silt ve kil
64-68 m.	:	Kil
68-73 m.	:	Çakıl
73-77 m.	:	Kum, silt ve kil
77-83 m.	:	Çakıl
83-87 m.	:	Çakıllı kum
87-125 m.	:	Silt ve kil

Çizelge 5. 9. SK-7 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-2 m.	:	Toprak
2-61 m.	:	Çakıl
61-115 m.	:	Kil
115-120 m.	:	Killi çakıl
120-170 m.	:	Çakıl
170-212 m.	:	Çakıllı kil

SK-7 olarak tanımlanan ve DES-58 üzerinde bulunan sondajın jeolojik açıklamaları, çizelge 5.9'da gösterilmiştir. Profil 3 üzerinde bulunan sondaj (SK-8), 196 m derinliğine kadar açılmıştır. Burada ilk 3 m toprak, 3-6 m kil, 6-12 m kum ve kil, 12-43 m arasında çakıl, andezit bazalt ve tüfler bulunup genel olarak da tüf hâkimdir. 43-57 m'de tüf, krem ve beyaz renkli, 57-71 metre derinlikte tüf killi olup bazalt ve tüf elemanlı, çakıl ise bantlar halinde 0.5 cm ebadında krem renkli olarak tespit edilmiştir. 71-76 arasında silt tüf elemanı, 76-80 m arası tüf krem-beyaz renkli, alt kısmı kil halinde bulunmuştur. 100-118 m arası killi çakıl yer yer çakıl yapılı ve açık kahverengi, hafif yapışkan ve çakıl içerisinde bantlar halindedir. 118- 131 m arası çakıl bazalt ve tüf elemanlıdır. Yer yer silt ve çok az kil malzemesi mevcuttur. Krem ve gri renklidir. 131-171 metre civarı kil grimsi, koyu renkte, %10 ve %20 nispetinde çakıl mevcuttur. Çakıl yer yer bantlar halinde az yapışkandır. Sonunda ise 171-194 metre arasında kum ilk metreler siltli dokuda ve yer yer az miktarda kil bandı mevcuttur. Elemanları bazalt ve andezitik 1-2 mm büyüklükte yuvarlak şekilde tespit edilmiştir.

Profil 3 üzerinde bulunan sondaj kuyularından SK-8, SK-9 ve SK-10 sırasıyla çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Çizelge 5. 10. SK-8 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-3 m.	:	Toprak
3-6 m.	:	Kil
6-12 m.	:	Kum ve silt
12-43 m.	:	Çakıl
43-57 m.	:	Tüf
57-71 m.	:	Tüf ve çakıl
71-76 m.	:	Silt
76-80 m.	:	Tüf
80-100 m.	:	Kumlu kil
100-118 m.	:	Killi çakıl
118-131 m.	:	Çakıl
131-171 m.	:	Kil
171-194 m.	:	Kum
194-196 m.	:	Andezit

Çizelge 5. 11. SK-9 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

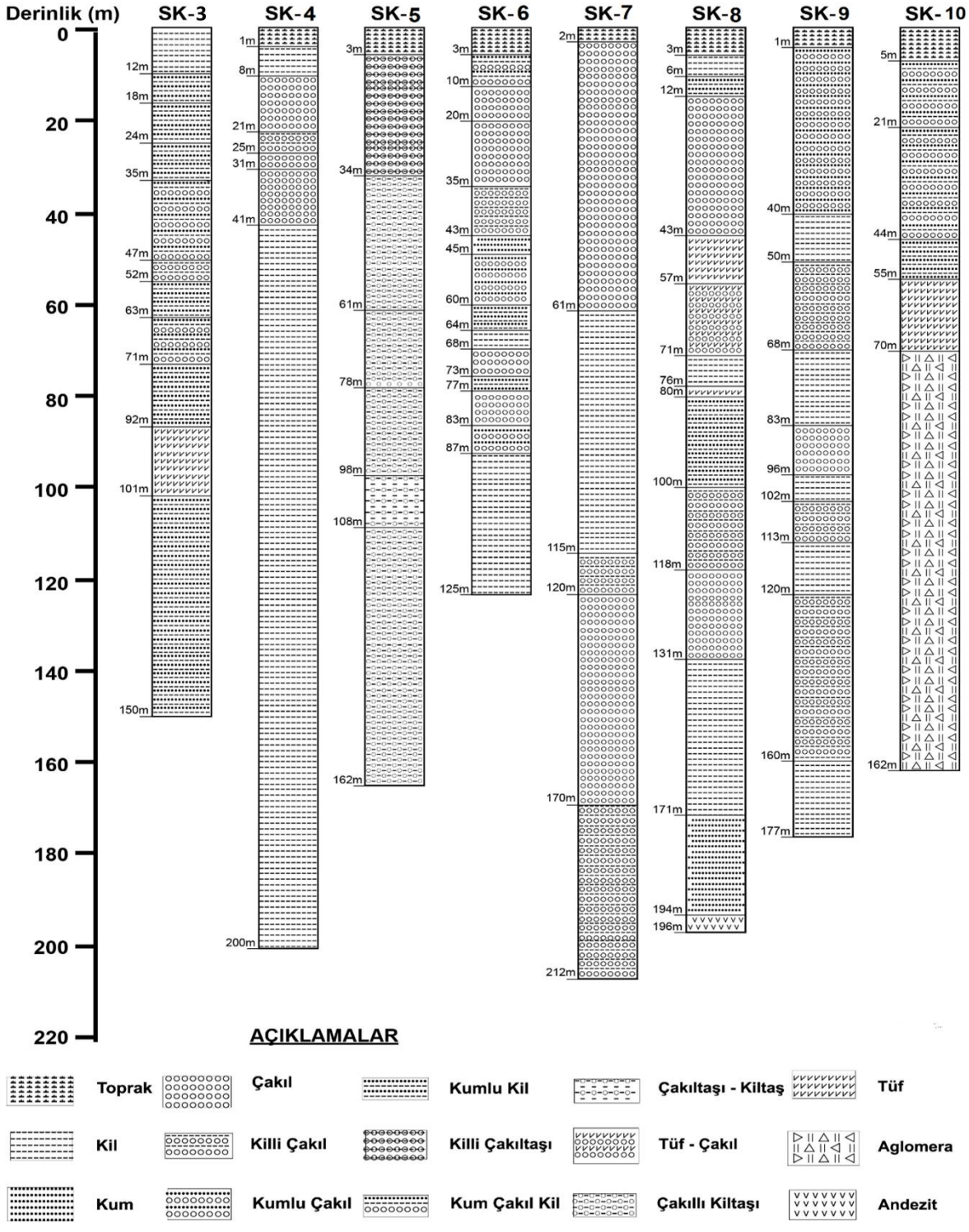
Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-1 m.	:	Toprak
1-40 m.	:	Kum-çakıl
40-50 m.	:	Kil
50-68 m.	:	Çakıllı kil
68-83m.	:	Kil
83-96 m.	:	Çakıl
96-102 m.	:	Kil
102-113 m.	:	Çakıllı kil
113-120 m.	:	Kil
120-160 m.	:	Çakıllı kil
160-177.3 m.	:	Kil

Çizelge 5. 12. SK-10 sondaj kuyusunun jeolojik birimleri

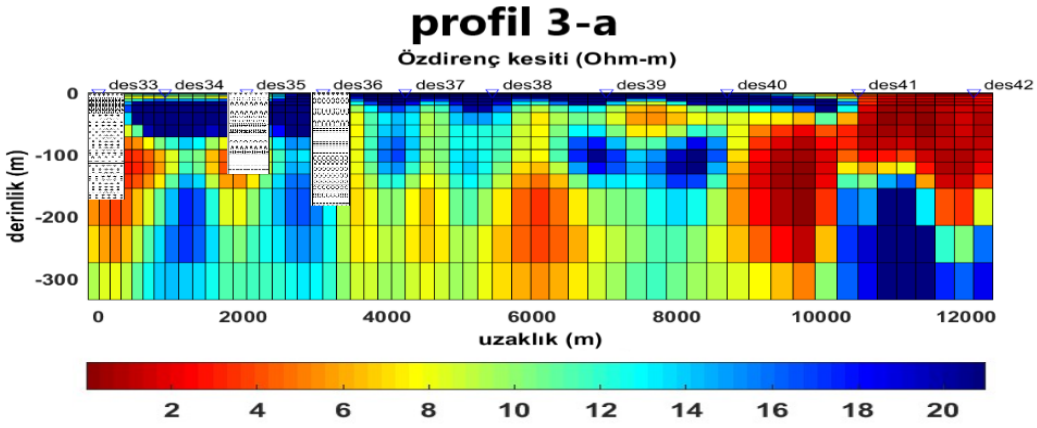
Derinlik		**Jeolojik Birim**
0-5 m.	:	Toprak
5-21 m.	:	Çakıllı siltli kum
21-44 m.	:	Çakıllı kumlu silt
44-55 m.	:	Kumlu silt
55-70 m.	:	Tüf
70-162 m.	:	Aglomera

Profil 3 üzerinde denk gelen sondajlar, DES-33 DES-35 ve DES-36 olmak üzere Ulugergerli (2017) 2-B ters çözüm sonucunda test edilmiştir ve şekil 5.39'da gösterilmiştir.

Profil 3 üzerinde bulunan sondajların litolijik birimi Şekil 5.40'de detaylı şekilde gösterilmiştir.

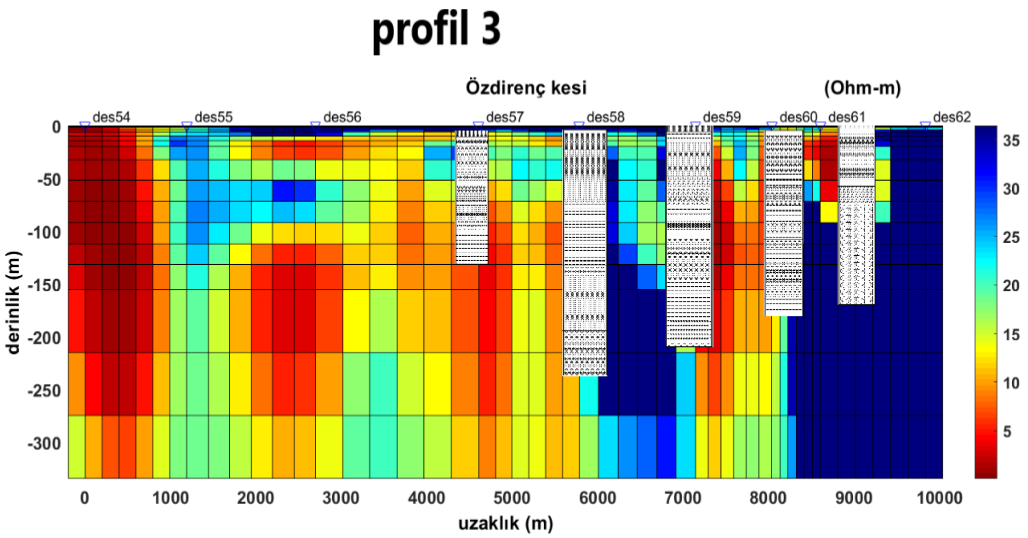


Şekil 5. 39. Profil 3 üzerinde bulun sondajların litolijisi



Şekil 5. 40. Profil 3 üzerinde bulunan sondajlar

Profil 3'ün doğusunda bulunan sondajların litolojik birimleri ulugergerli (2017), 2-B ters çözüm sonuçlarında şekil 3.41'de gösterlmiştir.



Şekil 5. 41. Profil 3 üzerinde bulunan sondajlar

Genel olarak kuyu sondajların litolojik birimleri, 1-B ve 2-B ters çözüm sonuçlarına göre uygulandığı zaman 2-B başarılı bir şekilde özdirenç değerlerin jeolojik birimler ile örtüştüğü görülmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

1-B DES eğrilerinin ters çözüm ile oluşturulan profilleri ve yer elektrik kesitleri, yeraltının jeolojisini ortaya koymaktadır. Bu durum, 2000'li yıllara kadar tek çözüm şeklinde görülmüştür. Kuşkusuz eğer varsa mekanik sondajlar da bu yer elektrik kesitleri desteklenmektedir.

1-B ters çözümün bilgisayar destekli uygulamaları, 1980 yıllarında başlatılmıştır. Buna karşılık 2-B arazi uygulamaları ve ters çözümü 1990'lı yılların sonundan itibaren DAÖ uygulamalarında gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu tez çalışmasında ortaya konulduğu gibi 2-B, 3-B ters çözüm uygulamaları yer altının jeolojisini temsil etmede 1-B DES çalışmalarından elde edilen yer elektrik kesitlere göre daha başarılıdır.

2000'li yıllardan sonra belirli kurallara göre toplanan DES verilerine 2-B ters çözümün uygulanabileceği farklı araştımalarca ortaya konulmuştur. Bu bağlamda Sultan Sazlığı sulak alanında 2009 yıllında DSİ tarafından toplanan 98 adet DES verilerine 2-B ters çözümü uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

1-B ters çözüm değerlendirilmesinde yanal süreksizlikler elde edilmediğinden dolayı sonuçlar hayalı yapılar üretir. Aynı zamanda 1-B ters çözüm programında her ne kadar MN aralığı kullanılmasa da Ulugergerli (2017) 2-B ters çözüm sonuçlarına göre MN'nin küçük olması gerektiğini aktarır. Uchida ve Murakami (1990) algoritmasında çok geniş bloklar ve belirtilmiş parametreler kullanılmıştır. Ayrıca her bir parametre için sadece 6 hücre bulunmaktadır. Ancak Ulugergerli'nin ters çözüm algoritmasında her bir hücrenin kendisi bir parametredir. Bu sebepten dolayı jeolojik birimlerin yanal süreksizliklerini daha iyi bir şekilde ortaya koymuştur.

Bu bağlamda jeoloji haritasında gösterilen fayları kesen profillerde fay belirtileri görülmüş ve bu karakteristik özellikten yararlanarak yüzeyde görülmeyen ve jeoloji haritasında da çizilmeyen yeraltındaki gömülü faylar, görüntülenmiş ve olası yerleri belirtilmiştir. Hem alanın jeolojisi ve hidrojeolojisi hem de koruma programı açısından söz konusu fayların belirlenmesi önemlidir.

Araştırma alanında bulunan ve araştırma profilleri üzerinde bulunan sondajlar, derinlik olarak, çoğunlukla, alüvyonun içinde kalmıştır. Bu da yaklaşık 300 m derinlikleri

araştırdığımız çalışmamızın sonuçlarını doğrular niteliktedir. Profillerin sazlık alanlara rastlayan kısımları tuzlanmayı da işaret eden kil seviyeleri ile karakterize edilmektedir. 0.1 ohm m gibi çok düşük özdirenç değerleri tuzlu killerden kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, sulak alanın korunması açısından önemlidir. Zira daha derinlerde yer alan akifer seviyelerinin bu kil bariyerini aşıp yüzeye ulaşması mümkün görünmediğinden varolan yüzey sularının korunması ve akışında süreklilik sağlanması sazlık alan ve ekosisteminin (doğal hayatın) korunması açısından değerlidir.

Yeraltusuyundan yararlanma açısından incelendiğinde; her bir profilin yorumlanmasında belirtildiği gibi, araştırma alanı yeraltısuyu bulundurmakla birlikte akifer niteliği taşıyan alüvyon seviyeleri derinlerdedir. Yeraltusuyu amaçlı sondajların uygun yerlerden ve uygun derinliğe kadar (çoğunlukla 150 m'den daha derin) yapılması gerekmektedir.

Kapalı havza özelliğinin bir göstergesi olan buharlaşma ve buna bağlı tuzlanma olayı, çok düşük özdirenç (yüksek iletken) değerleri ve renk olarak da koyu kırmızı ile temsil edilmektedir. 2-B'lu özdirenç çalışması aynı zamanda alandaki tuzlanmayı da açık olarak ortaya koymuştur. Alanın hidrojeolojik olarak yönetiminde söz konusu tuzlanmanın ve tuzlanmış alanların da dikkate alınması yararlı olacaktır.

Araştırmamızda yüzeyden görülmeyen derin vadiler de belirlenmiştir. Konu, jeoloji ya da morfoloji (coğrafya) açısından önemli olabilir. Ek olarak, Temel kaya olarak tanımlanabilecek kireçtaşı gibi sedimanter veya andezit gibi mağmatik kayaçlara dair özdirenç belirtileri görülmemiştir. Kuşkusuz 300 m'den daha derinlerde yer almaktadırlar.

KAYNAKLAR

Alao, J. O., Lawal, H. A., & Nur, M. (2023). Investigation of groundwater vulnerability to open dumpsites and its potential risk using electrical resistivity and water analysis. *Heliyon* (9), 1-13: e09855.

Akhtar, N., Syakir, M. İ., Anees, M. T., Qadir, A., Yusuff, M. S. (2020). Characteristics and assessment og groundwater. Ed. Bahareh Kalantar, *In groundwater Management and Resources* içinde (s. 3-22). *Intech open.*

Akın, M., Akın, G. (2007). Suyun önemi, Türkiye'de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih- Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47 (2), 105-118.

Alshehri, F., Abdelrahman, K. (2021). Groundwater resources exploration of Harrat Khaybar area, northwest Saudi Arabia, using electrical resistivity tomography. *Journal of King Saud Univrsity-Science*, 33(5), 1-7.

Apaydın, A. (2011). Groundwater legislation in Turkey: problems of conception and appilcation. *Water İnternational,* 36 (3), 314-327.

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

Balkaya, Ç. (2002). *Budur Kentinin Sığ Yerelektrik Yapısı*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Süleyman Demiral Üniversitesi/Fen bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Başokur, A. T. (2002). *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemlerin Ters Çözümleri*. Ankara: Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları.

Balkaya, Ç., Kaya, M. A., & Göktürkler, G. (2009). Delineation of shallow resistivity structure in the city of Burdur, SW Turkey by vertical electrical sounding measurements. *Environmental Geology*, *57*, 571-581.

Başokur, A. T. (2015). *Türev Tabanlı Parametre Kestirim Yöntemleri*. Ankara: JFMO Eğitim Yayınları.

Başokur, A.T. (2004). *Düşey elektrik sondajı verilerinin yorumu*. Ankara Üniversitesi/ Jeofizik Mühendisliği Bölümü.

Benson, A.K., Payne, K.L., Stubben, M.A. (1997). Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods-a case study. *Geophysics*, 62(1), 80-86.

Candansayar, M. E., Demirci , İ., Vafidis, A., Soupios, P., Andronikidis, N. (2013). Doğru akım özdirenç ve sismik kırılma verilerinin 2B bileşik ters çözümü ile tuzlu su girişimi probleminin araştırılması. *The 20Th internatinal geophyysical congress exhibition of Turkey*, 26-30.

Candansayar, M.E. (1997). *Doğru Akım Özdirenç Yönteminde Modelleme ve İki-Boyutlu Sığ Yapıların Aranmasında Elektrot Dizilimlerinin Ayrımlılıklarının* Karşılaştırılması. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Candansayar, M.E. (2007). II- *Doğru akım özdirenç yöntemi.* Ankara Üniversitesi/ Jeofizik Mühendisliği Bölümü. JFM 316 Elektrik yöntemler, Lisans ders notu.

Chen, X., Guo, Z., Liu, C., Liu, J., & Wu, Q. (2022). Groundwater detection using the pseudo-3d resistivity method: A history of case studies. *Applied Sciences*, *12*(13), 6788.

Çağlar, M. (2021). *Resistivite ve DES Yöntemleri ile Yeraltı Suyu Araştırılmasında Gölovası Örneği.* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi/Fen bilimleri Enstitüsü, Mersin.

DSİ. (1966). *Develi Yeşilhisar Ovası Jeofizik Rezistivite Etüdü Raporu.* DSİ Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.

DSİ. (1970). *Develi-Yeşilhisar Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu*. Ankara: DSİ Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı.

DSİ. (1995). *Kayseri Develi-Yeşilhisar Ovası Revize Hidrojeolojik Etüd Raporu*. DSİ XII. Bölge Müdürlüğü, Kayseri.

DSİ. (2010). Kayseri- Develi Yeşilhisar Ovası Jeofizik Etüt Raporu. Kayseri: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 12. Bölge Müdürlüğü.

Dursun, A.E., Doğan, K., Gökay, M.K. (2008). Zeminde su içerinin elektriksel direnç yöntemiyle incelenmesi: atık su havuz örneği. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 23(3), 61-72.

Ebraheem, A. A. M., Senosy, M. M., & Dahab, K. A. (1997). Geoelectrical and Hydrogeochemical studies for delineating ground-water contamination due to salt-water intrusion in the northern part of the Nile Delta, Egypt. *Groundwater*, *35*(2), 216-222.

ENCON (1999). *Uluslararası Önemi Olan Sulak Alanların Biyolojik ve Ekolojik Yönden Araştırılması Projesi, Alt Proje II. Nihai Rapor*. Ankara: Çevre Bakanlığı.

Ertekin, C., Ulugergerli, E. U. (2022). Geoelectrical Survey Over Perched Aquifers in the Northern Part of Upper Sakarya River Basin, Türkiye, *Journal of Groundwater Science and Engineering*, *10*(4), 335-352.

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

Frohlich, R. K., Urish, D. W., Fuller, J., & O'Reilly, M. (1994). Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment. *Journal of Applied Geophysics*, *32*(2-3), 139-154.

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

Genedi, M., Ghazala, H., Mohamed, A., Massoud, U., & Tezkan, B. (2021). Lateral constrained inversion of DC-resistivity data observed at the area north of tenth of Ramadan City, Egypt for groundwater exploration. *Geosciences*, *11*(6), 248.

Genedi, M. A., & Youssef, M. A. (2023). Application of geophysical techniques for shallow groundwater investigation using 1D-lateral constrained and 2D inversions in Ras Gara area, southwestern Sinai, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, *82*(5), 120.

Gleick, P. H. (1993). *Water in Crisis* (Vol. 100). New York: Oxford University Press.

Godio, A. & Naldi, M. (2003). Two-dimensional electrical imaging for dedection of hydrocabon contaminats near surface. *Geophysics*, 1(3), 131-137.

Gökkür S., 2016. Yeraltı su kaynaklarımızın önemi, Apelasyon, ISSN:2149-4908, 29.

Gündoğdu, N. Y. (2018). Elektrik yöntemlerinde veri toplama, veri sunumu, 1B-2B-3B modelleme ve yorum. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Hussein, M. J. (2020). *Somalıland'ta Sool ve Gebiley Bölgelerde Yeraltı Suyu Arama İçin Elektrik Özdirenç Yöntemi Kullanımı.* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Islami, N., Irainti, M., Fakhruddin, F., Azhar, A., Nor, M. (2020). Application of geoelectrical resistivity method fort the assessment of shallow aquifer in landfill areas. Springer Nature Switzerland AG. *Environ Monit Assess,* 192, 1-16.

Karaaslan, H. (2015). *Alaband Antik Kenti Meclis Binası İçindeki Gömülü Yapıların Elektrik Yöntemle Araştırılması.* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Kasidi, S. 2017. Groundwater exploration using electrical resistivity method a case study in federal capital territory (FCT) Abuja. *Nigeria, International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS),* 4 (10), 1-8.

Loke, M. H. (2022). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*.

Kaya, M. A., (1999). Elektrik prospeksiyon Ders notları (Yayınlanmamış).

Kaya, M. A., Özürlen, G., & Şengül, E. (2007). Delination of sail and groundwater contamination using gheophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey. *Environ Monit Assess,* 135, 441-446.

Kaya, M. A., Özürlan, G., & Balkaya, Ç. (2015). Geoelectrical investigation of seawater intrusion in the coastal urban area of Çanakkale. NW Turkey. *Environ Earth Sci,* 73, 1151-1160.

Kaya, S. (2020). *Doğru Akım Özdirenç Yöntemi ile Yeraltı Barajlarında Yer Seçimi Uygulaması.* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Keçeli, A. (2012). *Uygulamalı Jeofizik* (2.Baskı). Ankara: JFMO Eğitim Yayınları.

Keller, G.V., 1987. *Rock and Mineral Properties.* Misac N. Nabighian (Ed.), *Electromagnetic methods in applied geophysics* (Investigations in Geophysics) *içinde,* (s. 13-52). United States of America.

Kelly, W. E. (1976). Geoelectric sounding for delineating ground-water contamination. *Groundwater, 14*(1), 6-10.

Khalil, M. A., Sadeghiamirshahidi, M., Joeckel, R. M., Santos, F. M., & Riahi, A. (2022). Mapping a hazardous abandoned gypsum mine using self-potential, electrical resistivity tomography, and Frequency Domain Electromagnetic methods. *Journal of Applied Geophysics, 205*, 104771.

Kirsch, R. (2009). Aquifer Structures - Pore Aquifers. Reinhard Kirsch (Ed.), *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology içinde (341-342).* Berlin, Heidelberg: Springer.

Kopaçlı, A., Karakılıç, H. (2012). Hatayı ili Yayladağ ilçesinde özdirenç yöntemiyle yeraltı suyu aramaları. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 65-73.

Koray, M. (2006). *Çatalca- İstanbul Bölgesi'nde Yeraltı Suyu Araştırması ve Hidrojeolojik Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması.* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kurtuluş, C., & Bozkurt, A. (2010). Başiskele-Kocaeli civarında yer altı suyu akifelerinin tespiti için jeofizik ve sondaj araştırmaları. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 9 (2), 1-9.

Mahmoud, İ., & Dina , E. (2017). Application of electrical resistivity for groundwater exploration in Wadi Rahaba, Shalateen, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 6(1), 201–209.

Mahmud, S., Hamza, S., Irfan, M., Huda, S. N. U., Burke, F., & Qadir, A. (2022). Investigation of groundwater resources using electrical resistivity sounding and Dar Zarrouk parameters for Uthal Balochistan, Pakistan. *Groundwater for Sustainable Development, 17*, 100738.

Meriç, T. & Çağırankaya, S. (2013). *Sulak Alanlar*. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü.

Milsom, J. (2003). *Field Geophysics: The Geological Society of London handbook* (3. Edition). Wiley and Sons, Chichester: England: University College London.

NASA. (2021). https://earthobservatory.nasa.gov/images/147811/turkey-experiences-intense-drought.

Özesmi, U., Somuncu, M. & Tunçel, H. (1993). Sultan sazlığı ekosistemi. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Türkiye Coğrafyası Dergisi* (2), 275-289.

Palacky, G.J. (1987). *Resistivity characteristics of geologic targets. Nabighian, M.N.* (Ed)., *Electromagnetic Methods İn Applied Geophysics Theory, 1*, 52-129.

Pellerin, L., Holliger, K., Slater, L. & Yaramancı, U. (2009). *Hydrogeophysics–Methods and Processes*, EAGE.

Poeter, E., Fan, Y., Cherry, J., Wood, W. & Mackay, D. (2020*). Groundwater in Our Water Cycle*. Guelph, Ontario, Canada: Groundwater Project.

Poeter, E., Fan, Y., Cherry, J., Wood, W., Mackay, D. (2020). *Su Çevimimizdeki Yer Altı Suyu* (Çev. Alper Elçi). The Ground Water Project. Guelph, Ontario, Canada.

Rai, S., Thiagarajan, S., Shankar, G., Kumar, M., Venkatesam, V., Mahesh, G., & Rangarajan, R. (2015). Groundwater prospecting in Deccan traps covered Tawarja basing using electrical resistivity tomography. *J. İnd. Geophys. Union,* 19(3), 256-269.

Raju, N. & Reddy, T.V.K. (1998). fracture pattern and electrical resistivity studies for groundwater exploration. *Environmental Geology*, 34, 175-182.

Reynolds, J. M. (2011). *And Introduction to Applied and Environmental Geophysics.* USA: Wiley- Blackwel (1. Edition 1997).

Rubin, Y. & Hubbard, S.S. (eds). (2005). *Hydrogeophysics.* Netherlands: *Springer*.

Sarısoy, M. (2015). *Sultan Sazlığı Havzasının Ekosistem Coğrafyası.* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Sasaki, Y. (1989): Two-dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole-dipole resistivity data, Geophysics, 54, 254-262.

Shahrzad, S.M., Jisnxin, L., Shahzad, A., Reza, M.Sh., Ya,S., Meryem, F. (2018). Groundwater potential zone identification in unconsolidated aqoifer geophysical techniques around Tarbela Ghazi, District Haripur, Pakistan. *International Journal of Geological Environmental Engineering*, 12 (7), 469-476.

Sherrod, L., Simpson, E. L., Higgins, R., Miller, K., Morgano, K., Snyder, E., & Vales, D. (2016). Subsurface structure of water–gas escape features revealed by ground-

penetrating radar and electrical resistivity tomography, Glen Canyon National Recreation Area, Lake Powell delta, Utah, USA. *Sedimentary Geology*, *344*, 160-174.

Sikah, J.N., Aning, A.A., Danuor, S.K., Manu, E. & Okrah, C. (2016). Groundwater exploration using 1D and 2D electrical resistivity methods. *Journal of Environment and Earth Science,* 6 (7), 55-63.

Sömer, A., & Atasoy, E. (2010). Doğru akım özdirenç yöntemi ile yeraltı suyu aramaları. *3. Yer Elektrik Çalıştayı,* Çankırı, 182-196.

Sönmez, M. & Somuncu, M. (2016). Sultansazlığının alansal değişiminin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi (66),* 1-10.

Şeker, E. (2019). *Afyonkarahisar İli Jeotermal Alanlarının Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Değerlendirlmesi ve Yorumu* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Süleyman Demiral Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Şengül, E. (2004). *Çanakkale Düzensiz Atık Depolama Sahasının Yüzey ve Yeraltı Sularına Etkisinin Uygulamalı Jeofizik Yöntemlere Araştırılması* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

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

Theophilus, A., Margaret, A., Lokman, A., Ahzegbober, P., Kehinde, D., & Felicia, O. (2018). Groundwater Exploration in Aaba Residential Area of Akure, Nigeria. *Frontiers in Earth Science*, 6(66), 1-112.

Uchida T., & Murakami Y., (1990). Development of a Fortran Code for the Two Dimensional Schlumberger Inversion, *Geological Survey of Japan Open-File Report*, 150.

Ulugergerli E. U. (2017). Marine Effects on Vertical Electrical Soundings Along Shorelines. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 1-16.

Varlı, T. B. (2005). *Şehir Alt Yapı Planlanmasında Özdirenç Yöntemi ve İki Boyutlu Özdirenç Ters Çözüm Uygulamaları* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Vereecken, H., Binley, A., Cassiani, G., Revil A. & Titov K. (2006). Applied Hydrogeophysics. In: Vereecken H., Binley A., Cassiani G., Revil A., Titov K. (Eds). *Applied Hydrogeophysics* (pp. 1-8). Netherlands: Springer.

Ward, S. H. (1990). Resistivity and induced polarization methods. In Geotechnical and Environmental Geophysics. *Investigations in Geophysics*, *5*, 147-190.

Ward, S.H. (Ed). (1990). *Geotechnical and Environmental Geophysics: Volume I-III.* Tulsa, Okla: Society of Exploration Geophysicists.

Yıldırım, E. (2021). *Afyonkarahisar- Emirdağ (Karaağaç) Yeraltı Suyu Potansiyelinin Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntemi ile Araştırılması* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Süleyman Demiral Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yıldırım, E. (2021). *Afyonkarahisar-Emirdağ (Karadağ) Yeraltı Suyu Potansiyelinin Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntem İle Araştırılması.* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yıldız, E. F. (2007). *Kayseri Sultansazlık Alanında Yeraltı ve Yerüstü Suları İlişkisinin Belirlenmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yıldız, F. E., Ünsal, N., Gürer, N. & Pelen, İ. (2010). Develi Kapalı Havzası'nda Yapılan Jeofizik Etüt Çalışmaları. DSİ içinde, DSİ Teknik Bülteni (s. 13-22). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Yılmaz, S., Yıldırım, E. (2021). Emirdağ- Karaağaç yeraltı suyu potansiyelinin elektrik özdirenç, *Mühendislik Bilimleri ve Tarım Dergisi*, 9 (4), 1267-1275.

Yılmaz. M. (2021). Türkiye'de yeraltı suları yönetiminin yasal ve kurumsal açıdan incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (27), 134-150.

Zohdy, A. A., Hershey, L. A., Emery, P. A., & Stanley, W. D. (1971). *Resistivity Sections, Upper Arkansas River Basin*. Colorado: Colorado District, Water Resources Division.

Zohdy, A. A., Bisdorf, R. J., & Dixon, G. L. (1992). *Geoelectrical exploration for ground water in northwest Las Vegas and vicinity, Nevada* (p. 111). Open-File Report 92-264: US Geological Survey.

İnternet Kaynakları

URL-1 Yolcubal, İ. (2008). https://docplayer.biz.tr/15652759-Ders-kitabi-doc-dr-irfan-yolcubal-kocaeli-universitesi-jeoloji-muhendisligi-bolumu-htpp-jeoloji-kocaeli-edu-tr.html.

URL-2**:** https://suder.org.tr/ambalajli-su/yeralti-sulari-nasil-olusur/Erişim tarihi: 11.01.2023 saat: 15:30.

URL-3: https://www.meteorologiaenred.com/tr/akifer-nedir.html

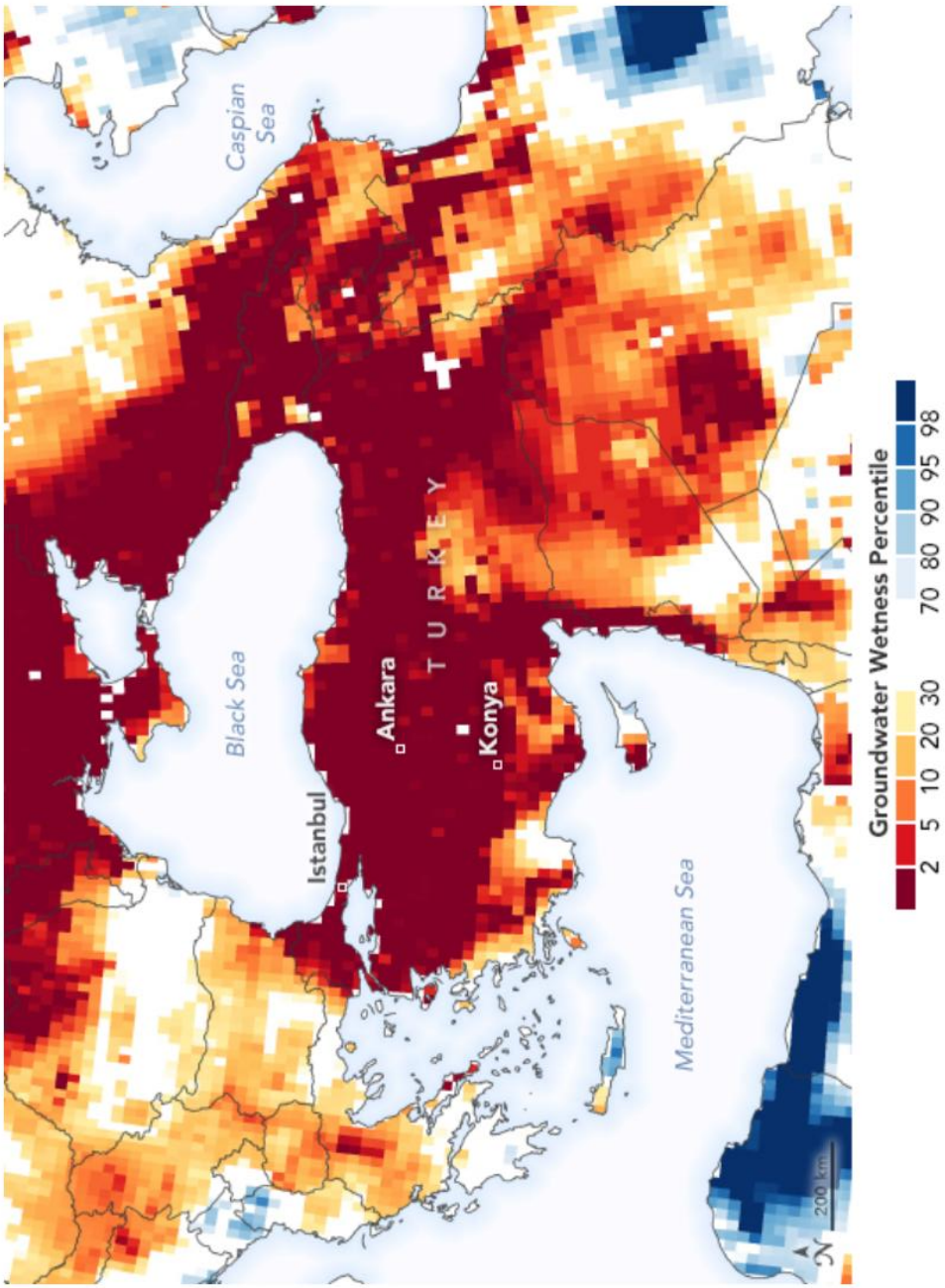
URL-4: https://www.dogadernegi.org/wp-content/uploads/2018/11/ort036-sultansazligi-onemli-doga-alanlari-kitabi.pdf.

URL-5: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/Kayseri.

URL-6 Candansayar, M,E. (2016). https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/8995/mod_resource/content/0/H9_B_JFM316_DAO_2016_51.pdf.

EKLER

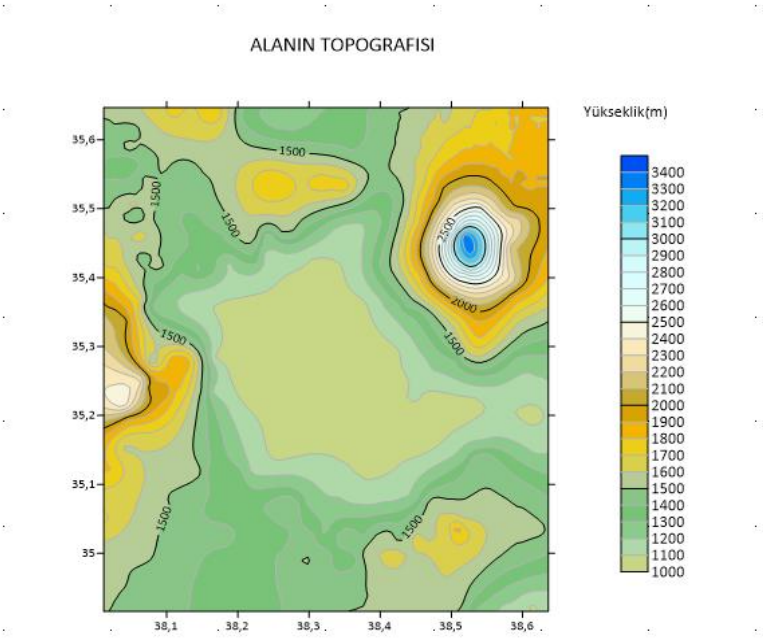
EK-1: Türkiye'nin Yeraltı Suyu ve Toprak Nemi (Nasa'ya Göre)

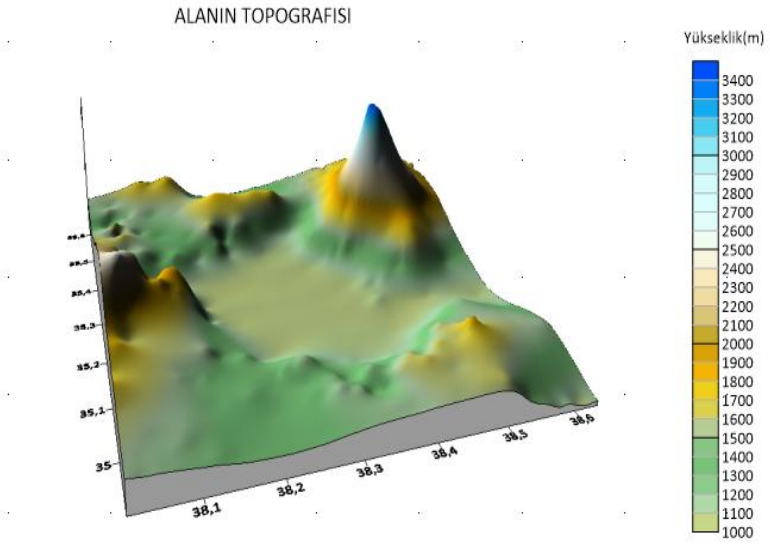


EK-2: Çalışma Alanı

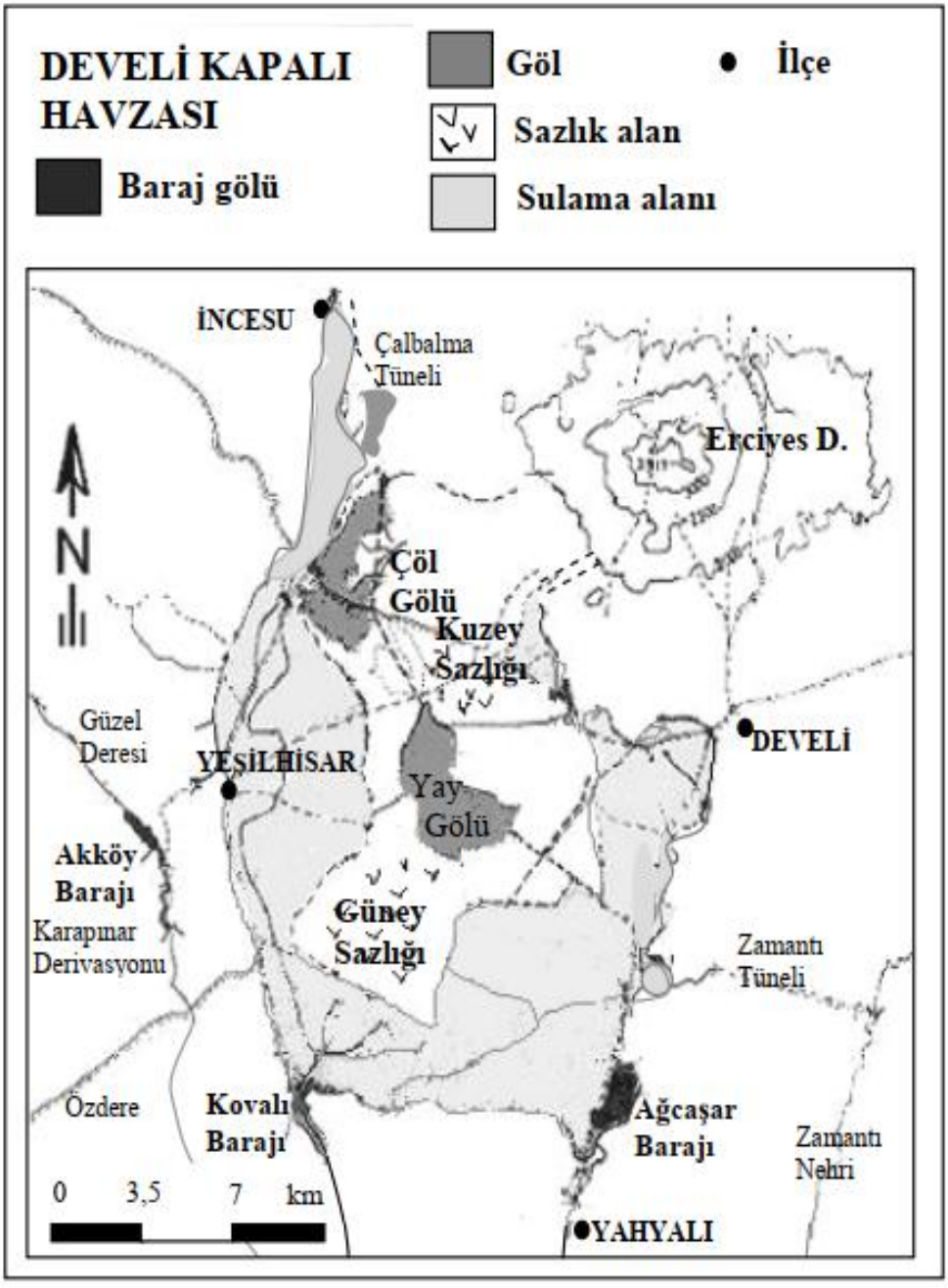


EK-3: Çalışma Alanın Topoğrafyası

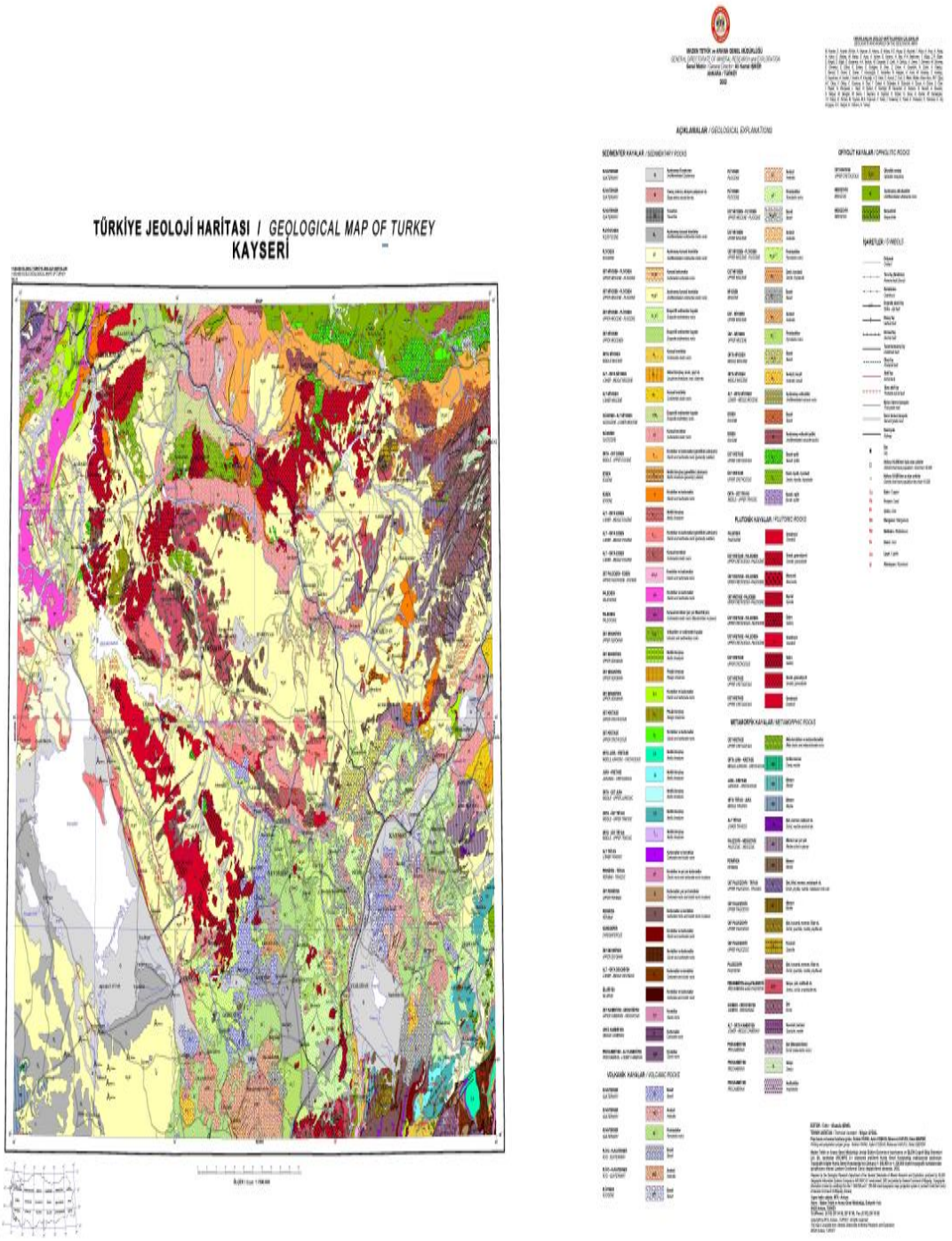




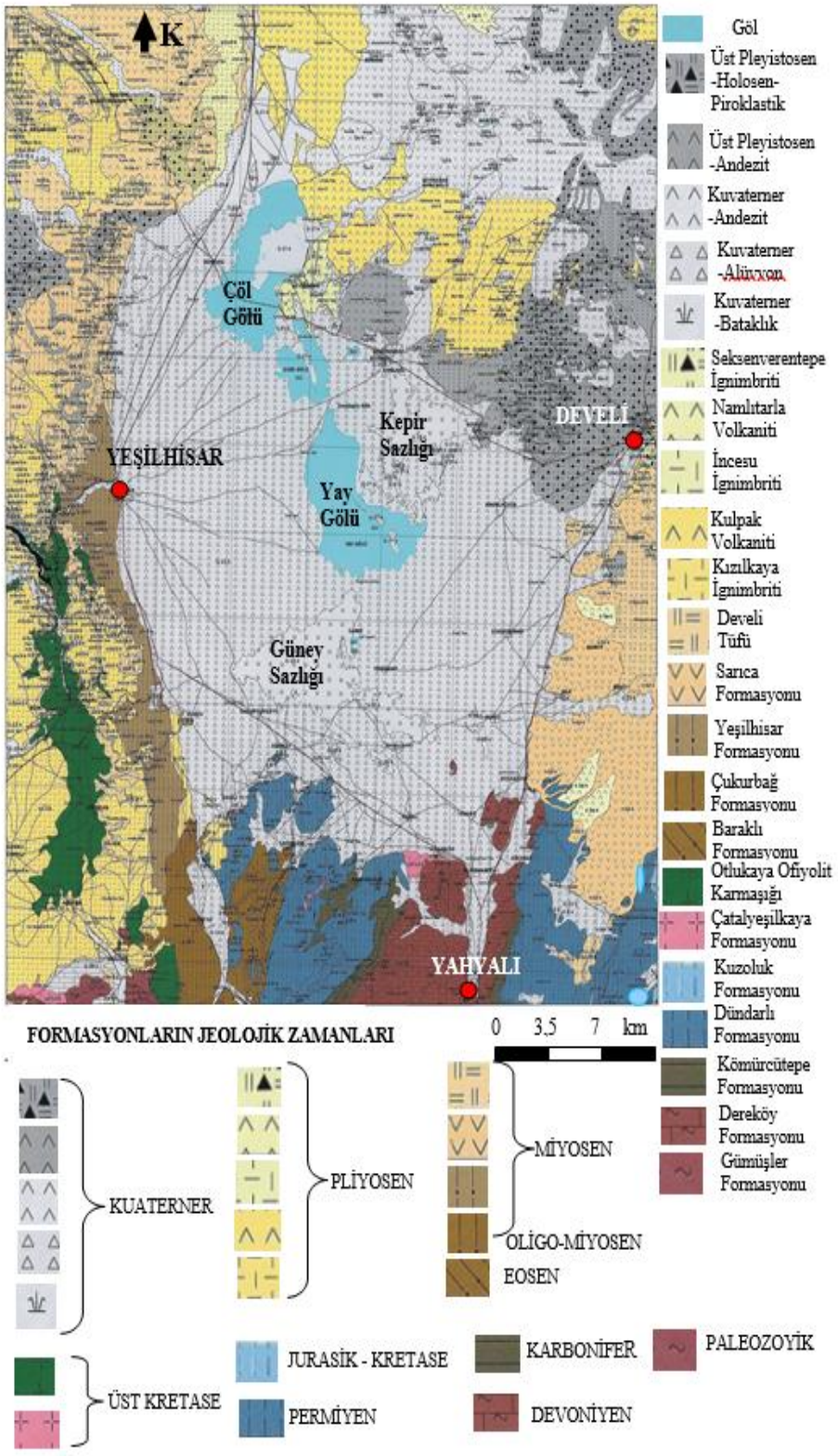
EK-4: Develi Kapalı Havzasının Haritası (Yıldız, 2007).



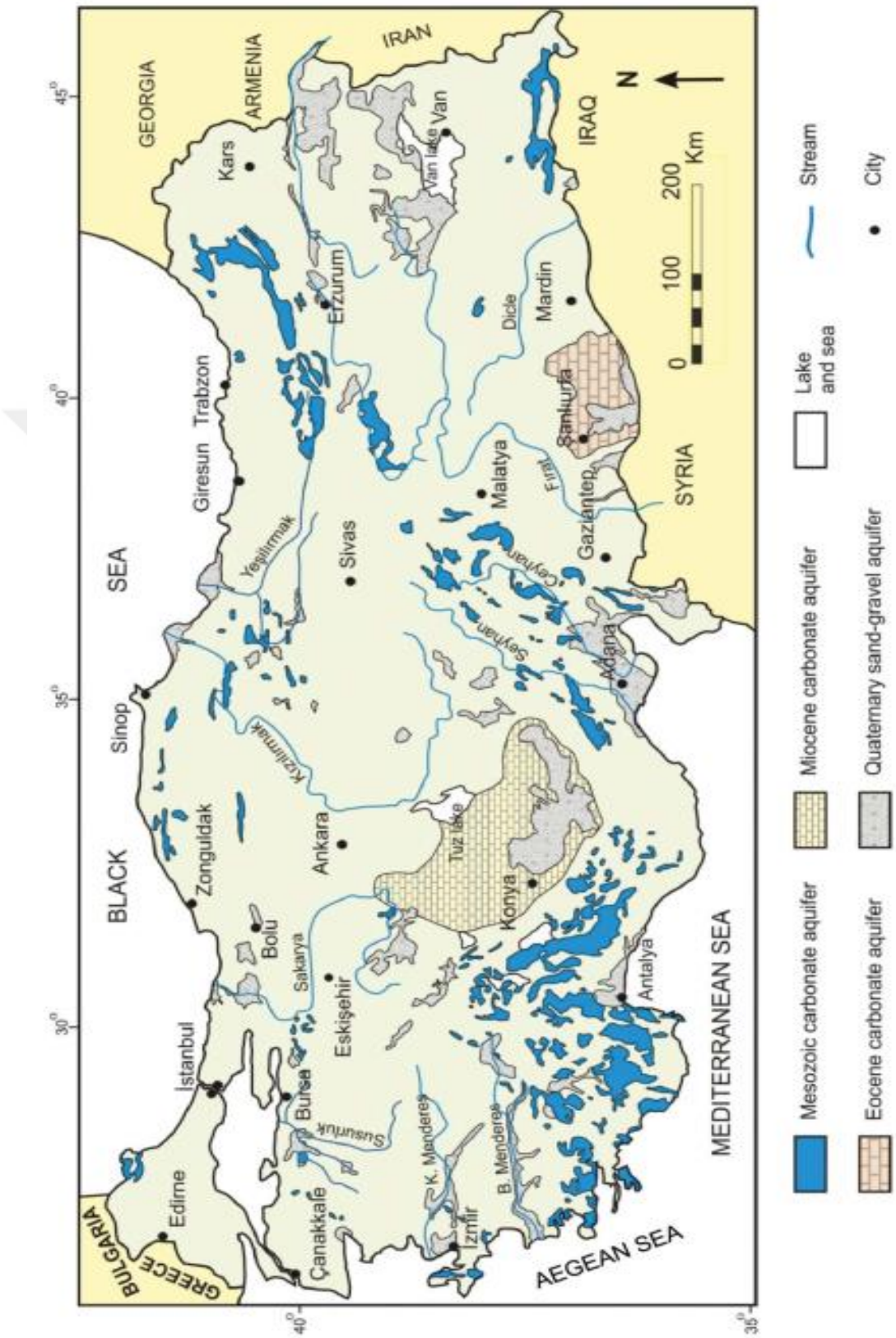
EK-5: Kayseri İlinin Genel Jeolojik Haritası (MTA ,2022)



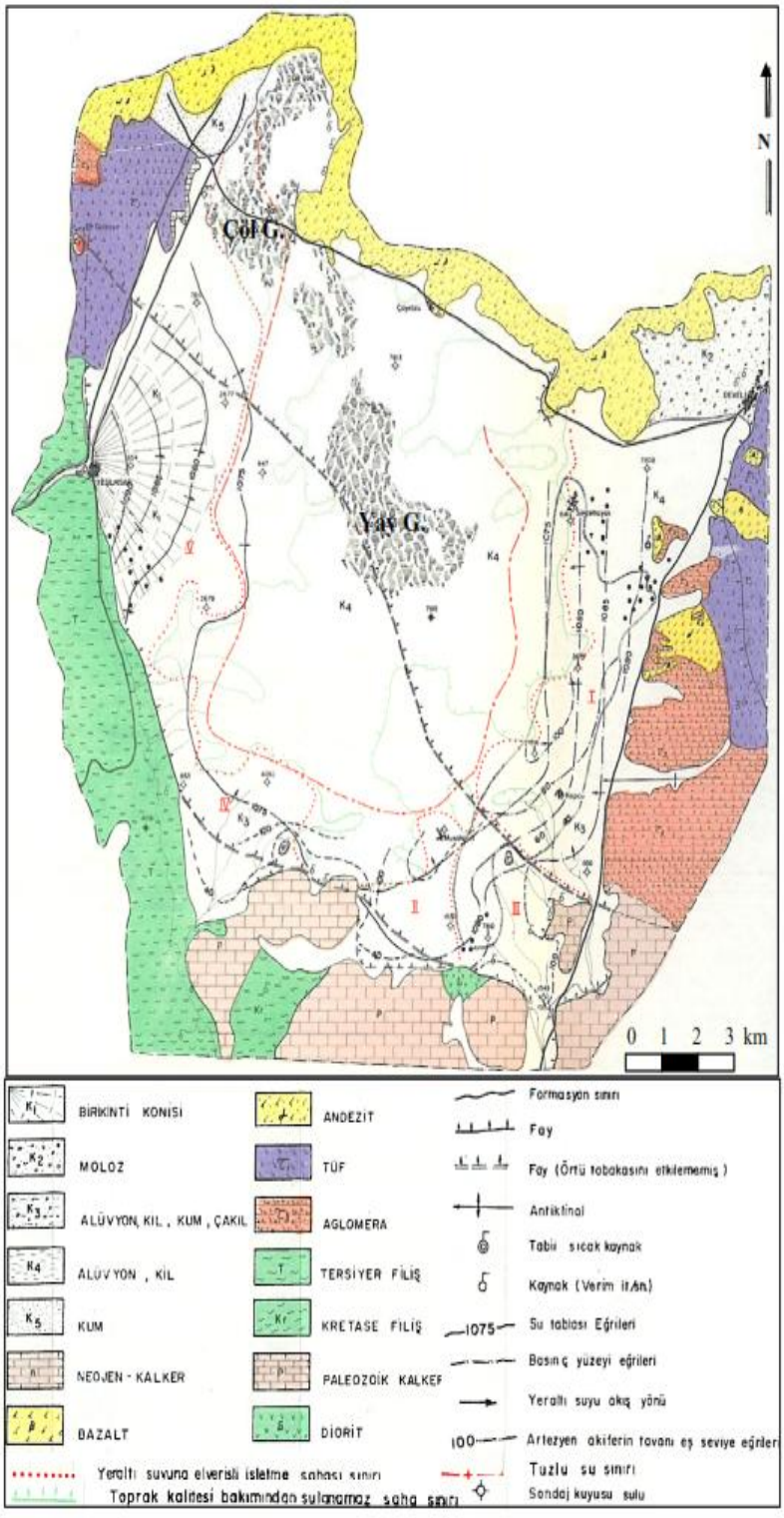
EK-6: Develi Kapalı Havzası'nın Jeoloji Haritası (MTA, URL-5)



EK-7: Türkiye'nin Genel Akifer Gösterimi (Apaydın, 2011).



EK-8: Sultan Sazlığı Hidrojeoloji Haritası (DSİ, 1970)



EK-9: Modelleme ve Maxwell Denklemleri

Jeofizik verileri 1-B, 2-B ve 3-B olarak yapılabilir. Modelleme yapabilmek için modeli tanımlayabilen matematiksel bağlantı gerekmektedir. 1-B modelleme bağlantısı için:

$$\varphi = \frac{I}{2\pi} \int_0^\infty T(\lambda)\, J_0\,(\lambda a) d\lambda \qquad (1)$$

şeklinde yazılır. Burada I yere verilen akım, T(λ) dönüşük özdirenç fonksiyonu, $J_0(\lambda a)$ sıfırıncı dereceden birinci cins Bessel fonksiyonu ve φ gerilim olacaktır.

2-B modellemede ise kullanılan bağlantı,

$$-\nabla\,(\sigma x, z).\nabla\varphi\,(x, z)) = I\,(x, z) \qquad (2)$$

Şeklinde tanımlanan Poisson denklemidir.

3-B modellemede ise:

$$-\nabla\left(\sigma\,(x, y, z).\nabla\varphi\,(x, y, z)\right) = I\,(x, y, z) \qquad (3)$$

şeklinde yazılır.

Genel Bağlantılar

Elektromanyetik (EM) yönteminin prensipleri Maxwell denklemlerine dayanır. Maxwell denklemleri kütlelerin özelliklerini belirlerken matematik olarak aşağıdaki denklemler ile açıklanır:

Amper kanunu: $\nabla\, x\, H = J_c + J_s = J_c + \frac{\partial D}{\partial t}$ (4)

Faraday kanunu : $\nabla\, x\, E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ (5)

Gauss kanunu $\nabla . B = 0$ (6)

Coulımb kanunu: $\nabla . D = q$ (7)

Burada ;

E : elektrik alanın şiddeti (V/m),

B : manyetik alanın yoğunluğu (Weber / m^2),

H : manyetik alan şiddeti (A/ m),

D : elektrik akım yoğunluğu (C / m^2),

J_C : iletkenlik elektrik akım yoğunluğu (A/ m^2),

J_s : yer değiştirme elektrik akım yoğunluğu (A/ m^2),

Q : hacım başına düşen birim yük yoğunluğu (A/ m^2)

t : zaman (S)

dir. DAÖ verilerinin modellemesinde kullanılan Poisson Denklemi, EM alanları tanımlayan Maxwell denklemleri kullanarak elde edilir. Bu bağıntının çıkarılması konuda, akımın süreklilik denklemi ve E'nin konservatif olması özelliklerinden kullanılarak uygulanır.

Akımın süreklilik denklemi, Maxwell'in 3 ve 7 denklemleri kullanılarak çıkarılabilir. Maxwell denkleminde amper kanununa göre değişen bir elektriksel alan varsa iletkenlik akımından ayrı bir daha yer değiştirme akımı vardır ve bu iki akımın bileşeni manyetik alanı oluşturur. Amper kanunun (denklem 3) eşitliğinin sağ tarafın birinci terimi (J_c) iletkenlik akımı ve ikinci terim (J_s) ise yer değiştirme akımını ifade etmektedir. Coulımb kanunu denklemine göre elektrik akım yoğunluğu diverjansının yük yoğunluğu ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Bu bağlama göre (7), elektrik yük yer değiştirme akımının bir kaynağıdır. Eğer denklem 3'ün her iki tarafından diverjans alınışa:

$$\nabla.\nabla\, x\, H = \nabla.\left[J_c + \frac{\partial D}{\partial t}\right] = \nabla.J_c + \frac{\partial\, \nabla.D}{\partial t} \qquad (8)$$

Şeklinde yazılır. Bu bağlamda $\nabla.\nabla\, x\, H = 0$ kullanılarak, denklem 7, 8 yerine konursa;

$$\nabla.J_c = -\frac{\partial q}{\partial t} \qquad (9)$$

biçiminde yazılır ve burada akım yoğunluğu ile yük yoğunluğu arasında doğrusal şeklinde olur ve akımın süreklilik denklemi olarak bilinmekte ve kapalı bölgede akımın yük hareketinden oluştuğunu ve bu yüklerin korunduğunu ifade etmektedir.

Denklem 9'a göre kaynak civarında yer değiştirme akımı, iletkenin akımına ($\nabla.J_c = \nabla.J_s$) yani eşittir. Bu denklem 3-B uzayda merkezdeki (0,0,0) nokta akım kaynağı için, I nokta akım kaynağından uygulanan akım olmak üzere,

$$\nabla.J_c = \frac{\partial q}{\partial t}.\delta(x)\,\delta(y)\,\delta(z) = I\,\delta(x)\delta(y)\delta(z) \qquad (10)$$

biçimde ifade edilir. Burada δ birim impuls (dirac delta function) fonksiyonudur. Eğer nokta akım kaynağı 3-b uzayda herhangi bir (x_s, y_s , z_s) noktasında ise denklem;

$$\nabla . J_c = I . \delta\ (x - x_s)\delta(y - y_s)\delta\ (z - z_s) \qquad (11)$$

şeklindedir. Bu denklem de f (x, y, z) üç boyutlu bir fonksiyon olmak üzere, birim impuls fonksiyonunun;

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} f\ (x,y,z).\delta(x - x_s).\delta\ (y - y_s).\delta(\ z -\ z_s).dx.dy.dz = f(x_s, y_s, z_s)$$

12

Homojen ve izotrop bir ortamda iletkenin akım yoğunluğu ile elektrik alan şiddeti;

$$J_c = \ \sigma\ .E \qquad (13)$$

şeklinde doğrusal bir ilişki var ve bu ***ohm kanunu*** olarak bilenmektedir. Denklem 13'de σ (Siemens / m) ortamın izotropik iletkenliktir. İletkenliğin tersine özdirenç (ρ = 1/ σ) (ohm-m) olarak bilinir.

Statik elektrik alanın konservatif olması nedeni ile;

$$E = - \nabla\varphi \qquad (14)$$

İfade edilir. Burada φ gerilim farkı olaraktır. φ skaler bir büyüklük ve birimi Volt'tur. Denklem 14'te kapalı alanda E nin, skaler gerilimi gradyentinin negatif işaretlisine eşit olduğunu göstermektedir. Denklem 14'ü denklem 13'te yerleştirerek;

$$J_c = \ -\sigma\ .\nabla\varphi \qquad (15)$$

Şeklinde yazılır. Denklem 15, 11'de yerine yazılırsa;

$$-\nabla.[\sigma(x,y,z)\nabla\varphi(x,y,z)] = I.\delta(x - x_s).\delta(y - y_s).\delta(z - z_s) \qquad (16)$$

olur, bu denklem Poisson denklemi olarak bilinir ve sadece kaynak civarında geçerlidir ve 3-B uzay için gereçlidir. 2-B modellemelerde ise iletkenlik dağılımının y yönünde değişmediği kabul edilir ve aşağıdaki ifade şeklinde yazılır;

$$\frac{\partial}{\partial y}[\sigma(x,y,z)] = 0 \qquad (17)$$

biçiminde yazılır. Denklem 17, denklem 16'ya uygulanırsa;

$$-\nabla.[\sigma(x,z)\nabla\varphi(x,y,z)] = I.\delta(x - x_s).\delta(y - y_s).\delta(z - z_s) \qquad (18)$$

şeklindedir. Bu denklem de nokta akım kaynağı ve gerilim; x, y ve z değişkenlerinin fonksiyonu iken iletkenlik x ve z değişkenlerinin fonksiyonudur. Burada hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi için Fourier dönüşümü kullanılarak (x, y, z) yerine (x, k_y, z) uzayında işlemler uygulanır.

$$\tilde{f}(\mathrm{x}, k_y, \mathrm{z}) = \int_0^{\infty} \mathrm{f}(\mathrm{x}, y, \mathrm{z}) \cos(\mathrm{y}\, k_y)\mathrm{dy} \qquad (19)$$

$$\mathrm{f}(\mathrm{x}, k_y, \mathrm{z}) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} \tilde{f}(\mathrm{x}, k_y, \mathrm{z}) \cos(\mathrm{y}\, k_y)\, dk_y \qquad (20)$$

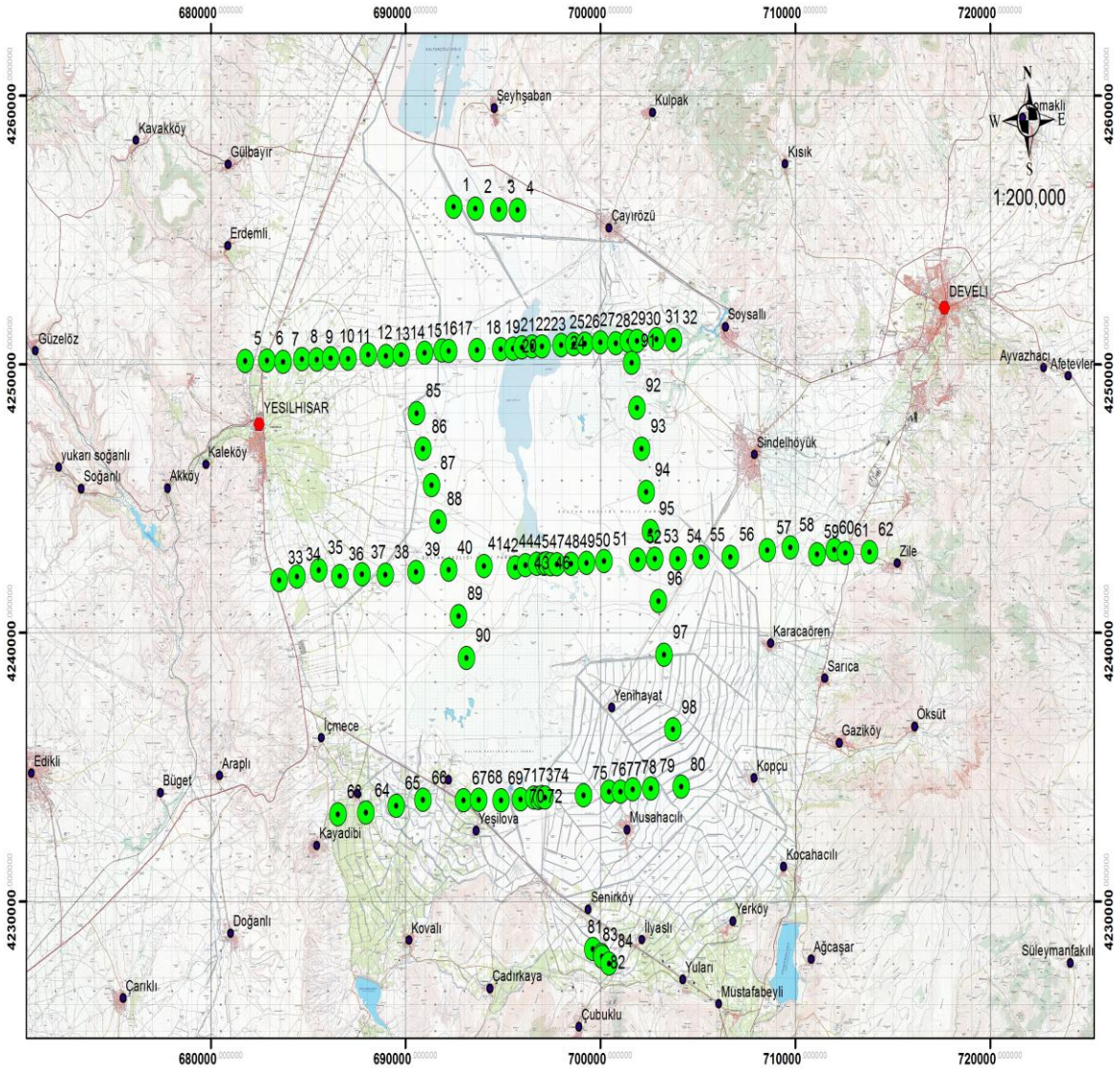
dönüşüm çifti kullanılır. Burada f (x, y, z) ve $\tilde{f}(\mathrm{x}, k_y, z)$ çift fonksiyonudur. Denklem 19'da (x_s, y_s, z_s), noktadaki nokta kaynak için ve iki boyutlu iletkenlik $\sigma(x, z)$ dağılımından oluştuğu varsayılan, 3-B gerilimi ise $\varphi\ (x, y, z)$ dağılımının 2-B gerilim dağılımına $\varphi\ (x, k_y, z)$ dönüşür.

Denklem 18 ve Fourier dönüşümün yazarak;

$$-\nabla.\left(\left(\sigma(\mathrm{x}, \mathrm{y}, \mathrm{z})\nabla\tilde{\varphi}(x, k_y, z)\right)\right) + k_y^2\sigma(x, z)\tilde{\varphi}(x, k_y, z) = I\delta(x - x_s).\delta(z - z_s) \qquad (21)$$

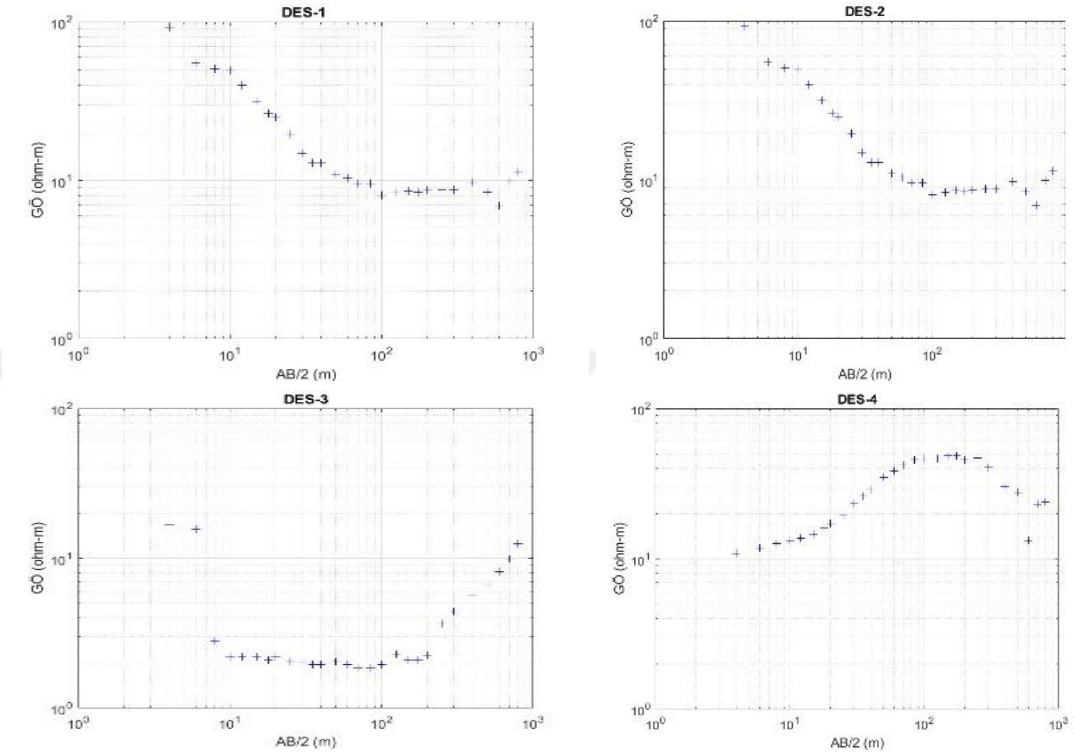
Bu denklem de k_y Fourier dönüşümü olacaktır (Candansayar, 1997).

EK-10: Çalışma Alanın Harita Üzerinde Ölçü Noktaları

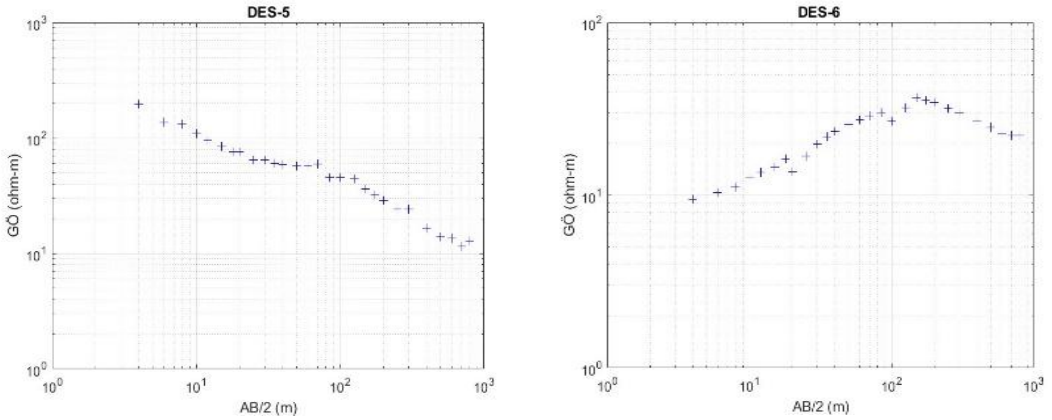


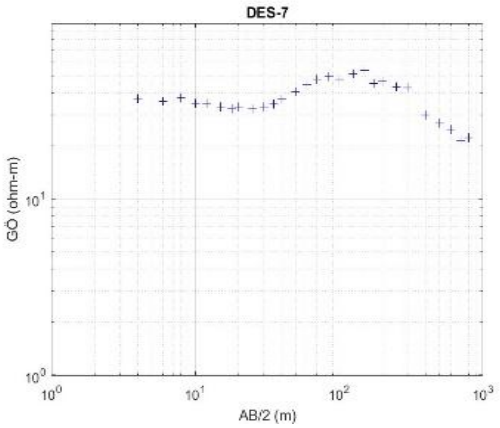
EK-11: Tüm DES'lerin Arazi Ölçüleri

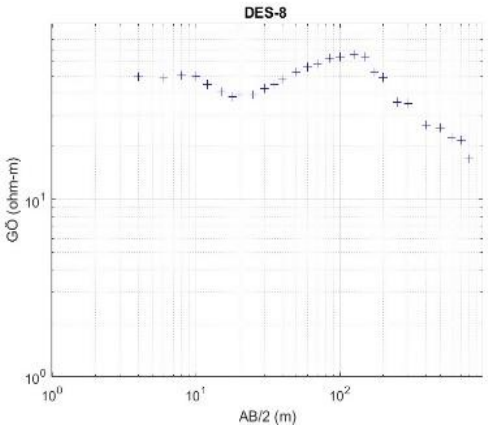
A- Profil 1 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

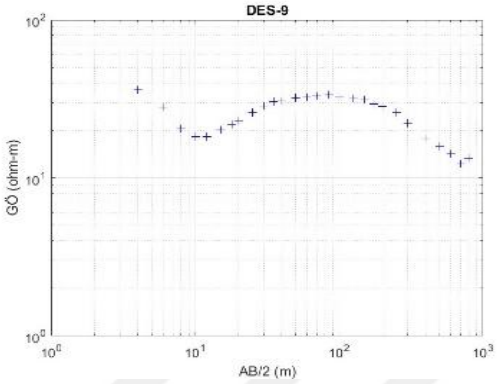


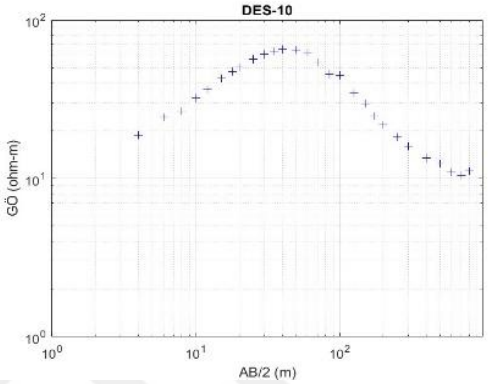
B- Profil 2 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

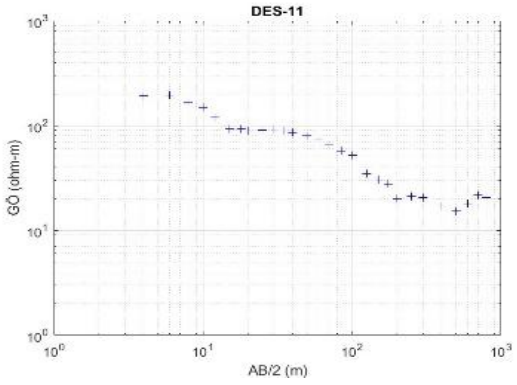


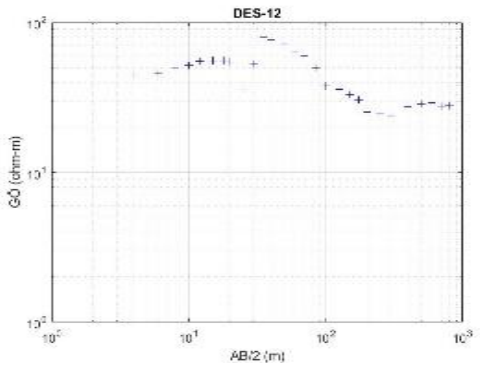

DES-7
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

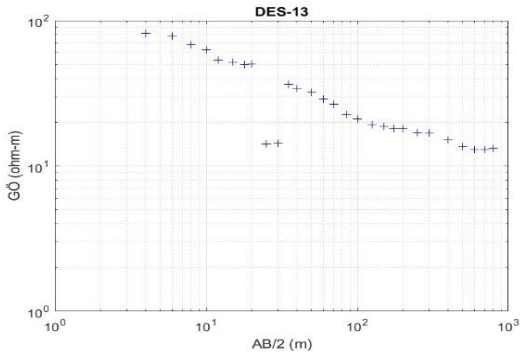

DES-8
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

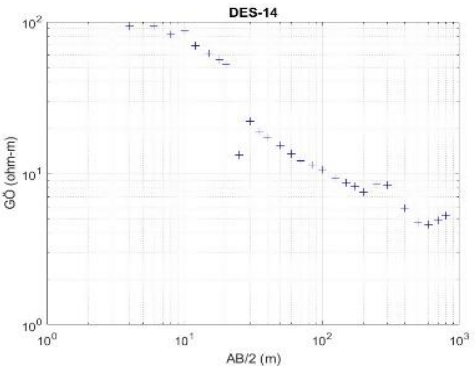

DES-9
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

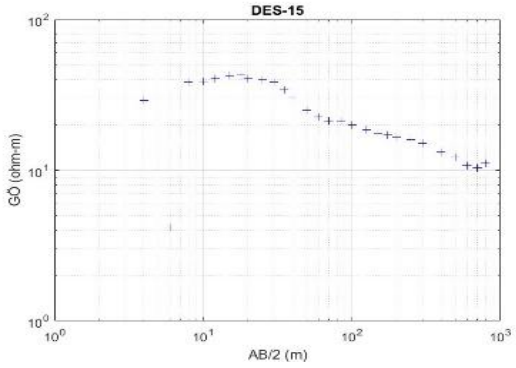

DES-10
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

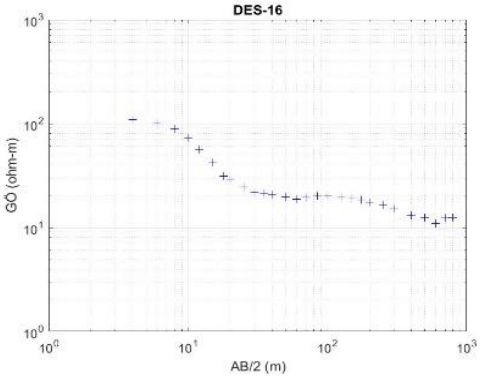

DES-11
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

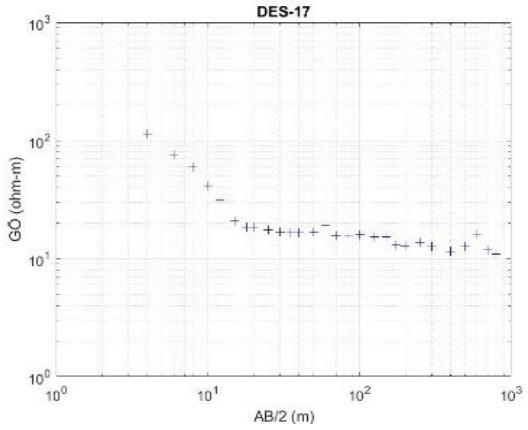

DES-12
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

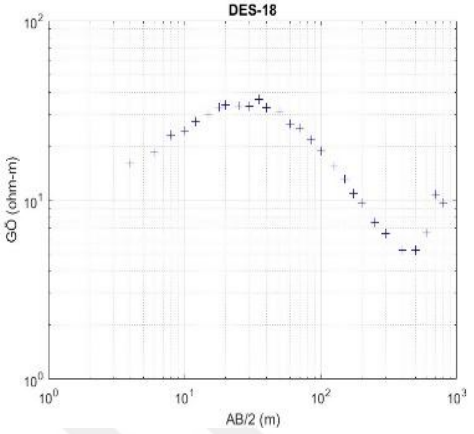

DES-13
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

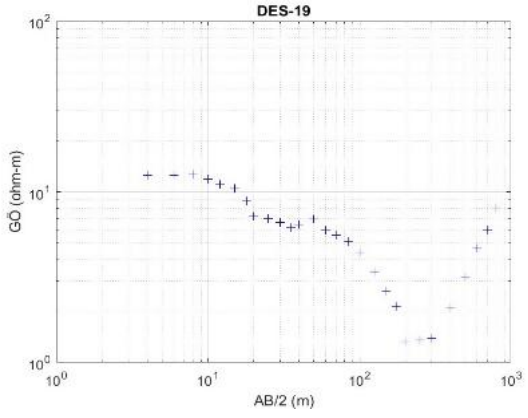

DES-14
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

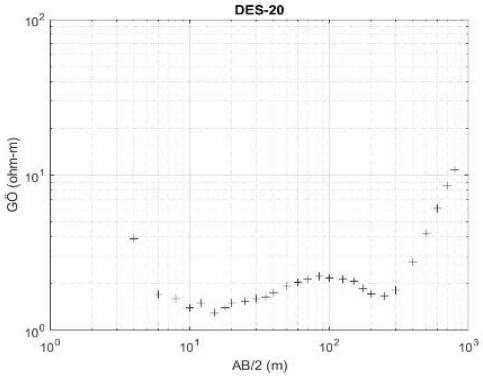

DES-15
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

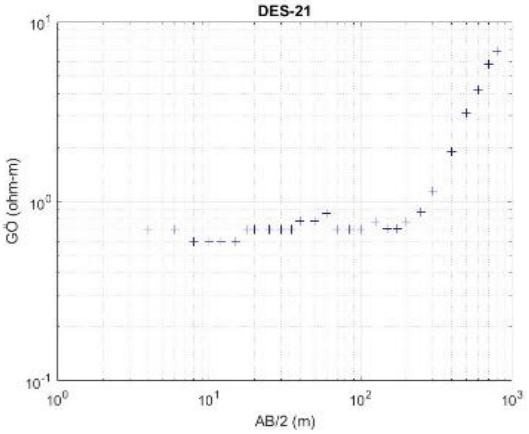

DES-16
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

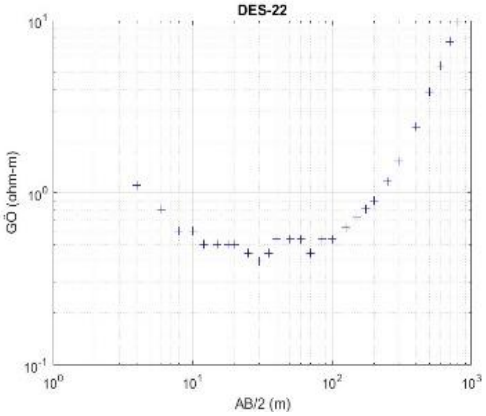

DES-17
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

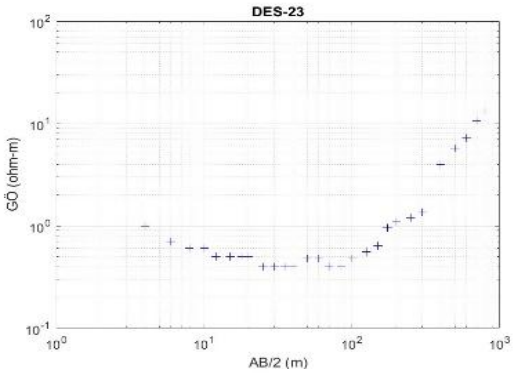

DES-18
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

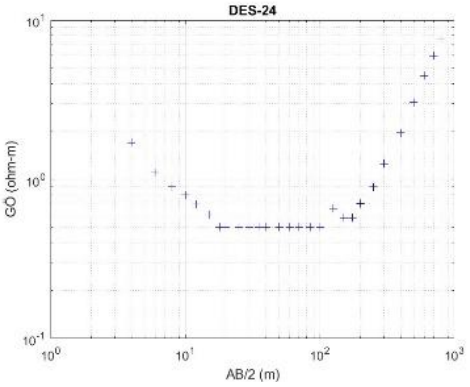

DES-19
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

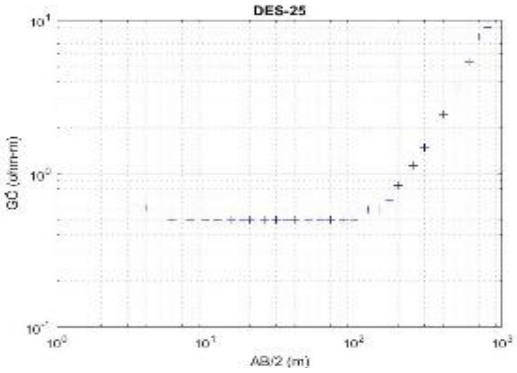

DES-20
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

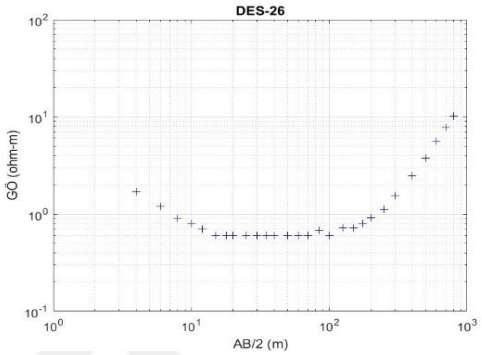

DES-21
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

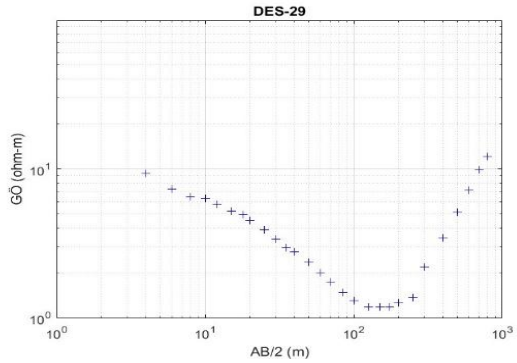

DES-22
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

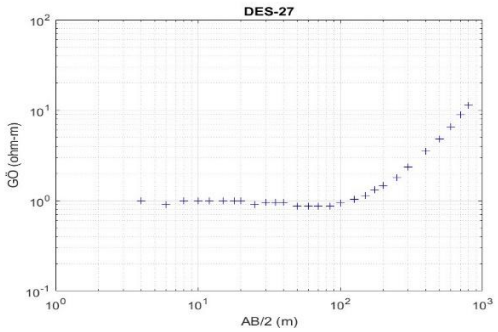

DES-23
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

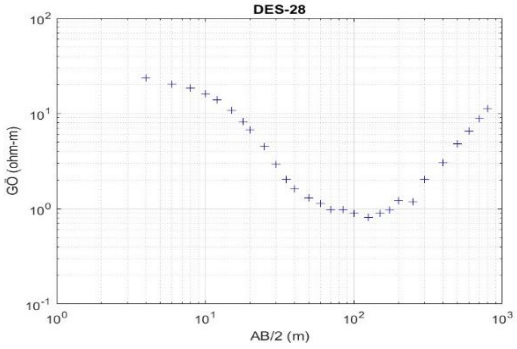

DES-24
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

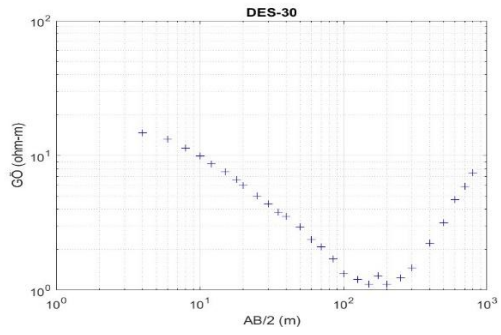

DES-25
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

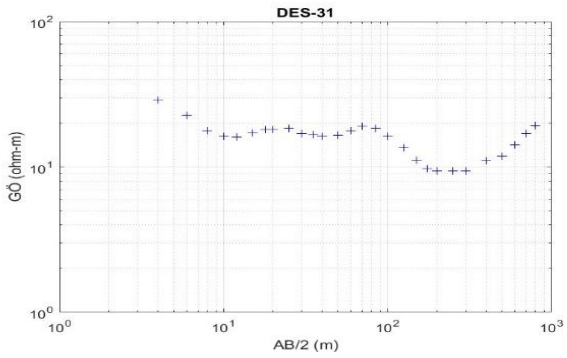

DES-26
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

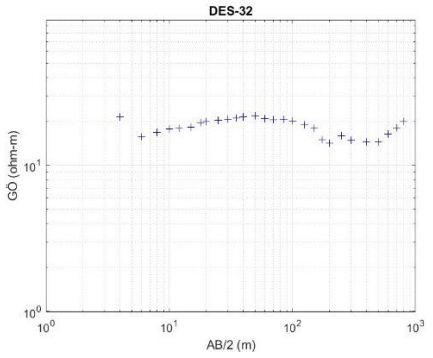

DES-29
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)


DES-27
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

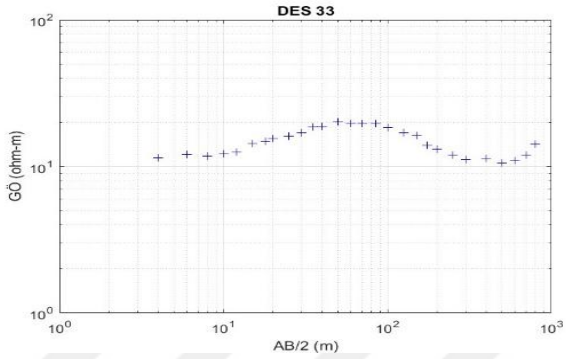

DES-28
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

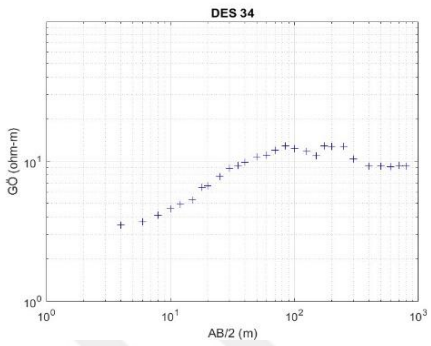

DES-30
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

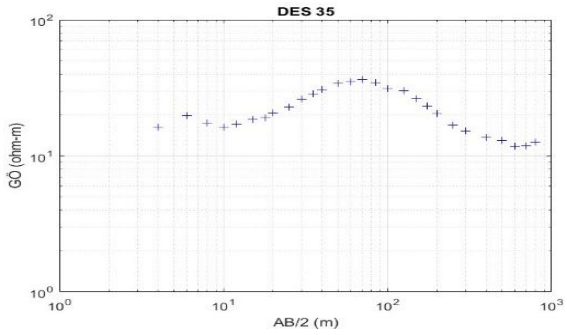


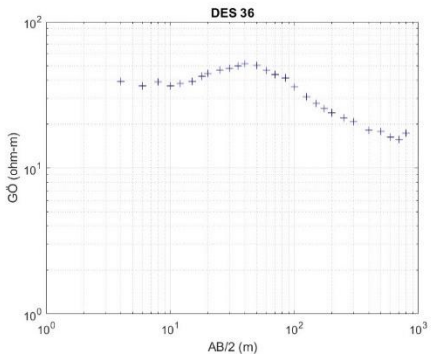


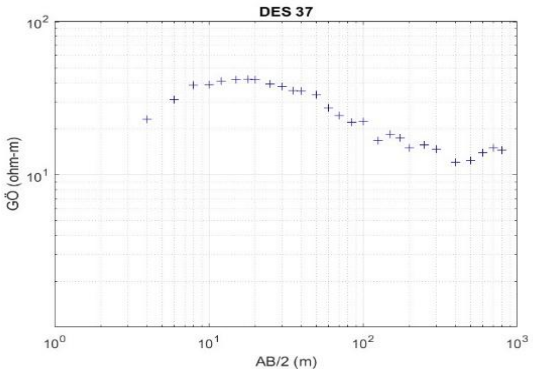
C- Profil 3 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

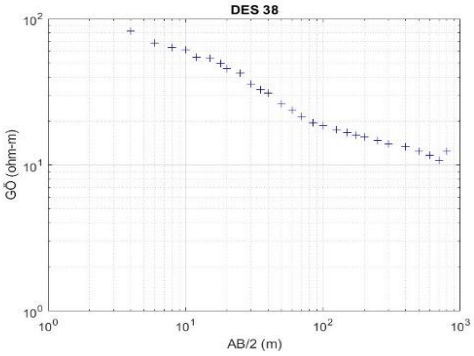


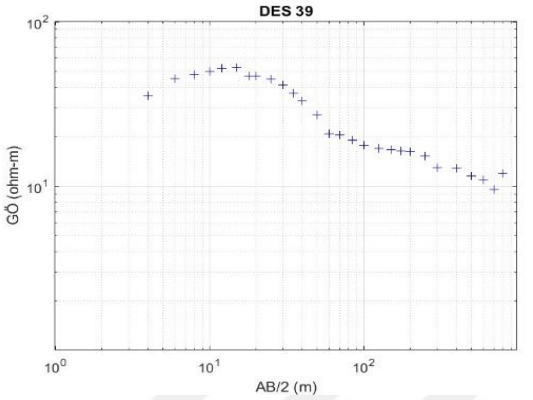


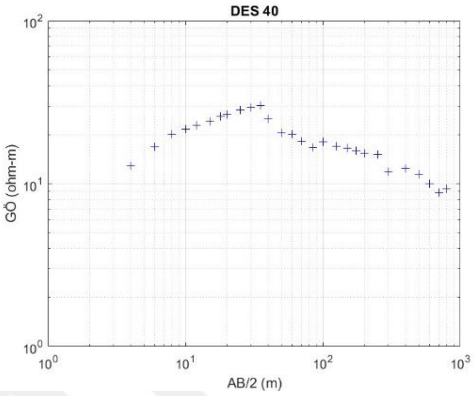


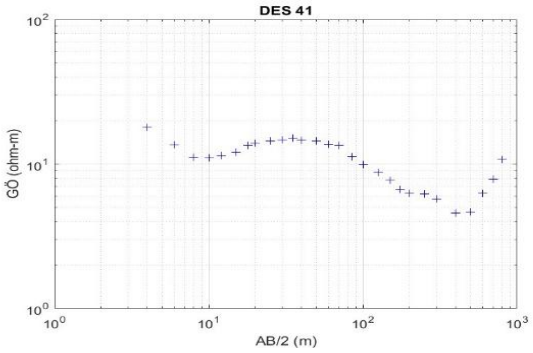


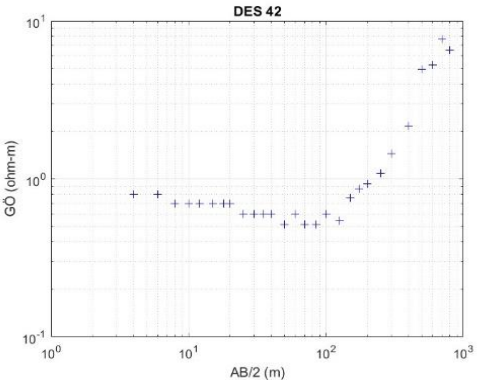

DES 37
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

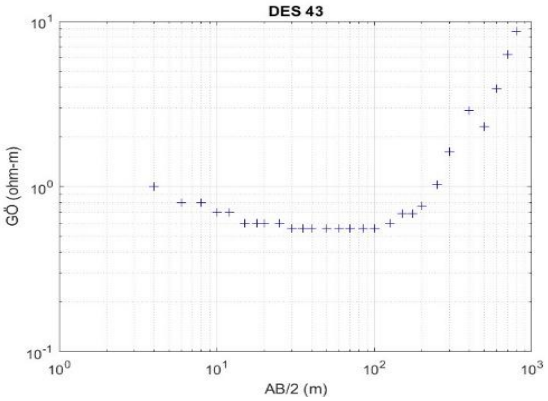

DES 38
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

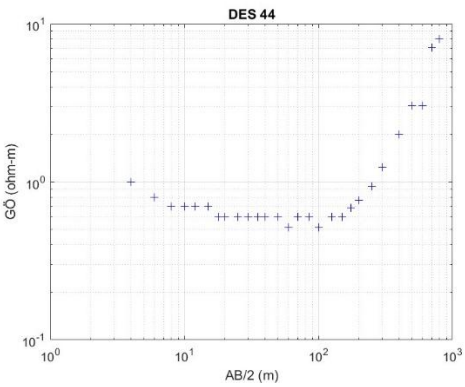

DES 39
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

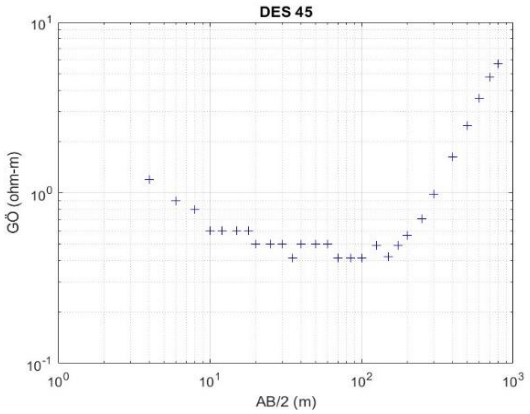

DES 40
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

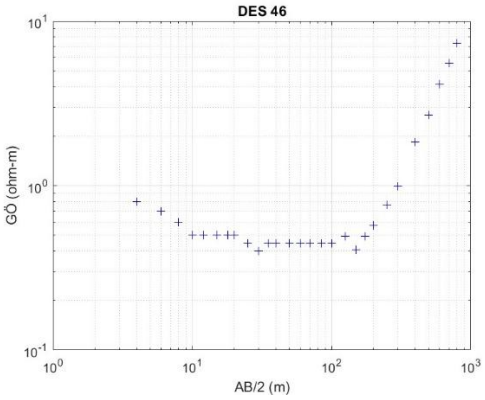

DES 41
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

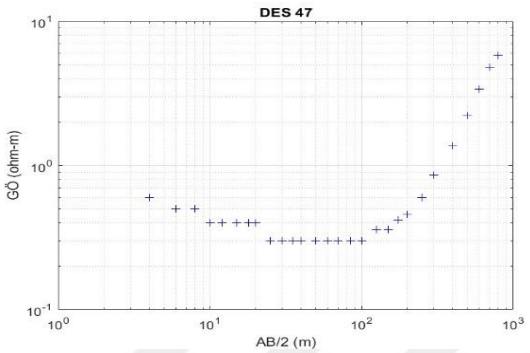

DES 42
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

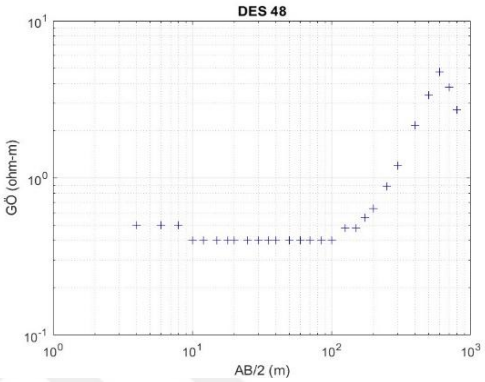

DES 43
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

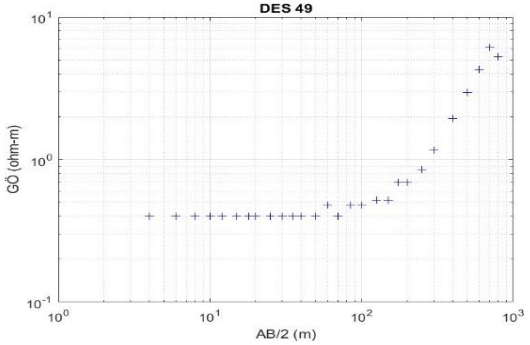

DES 44
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

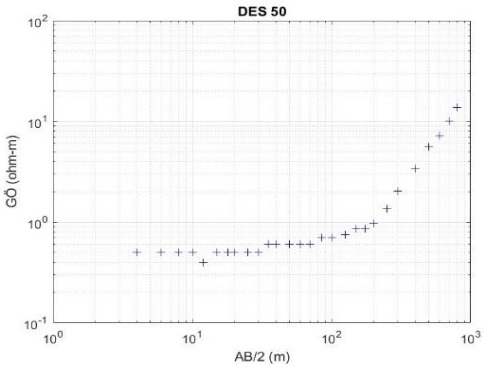

DES 45
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

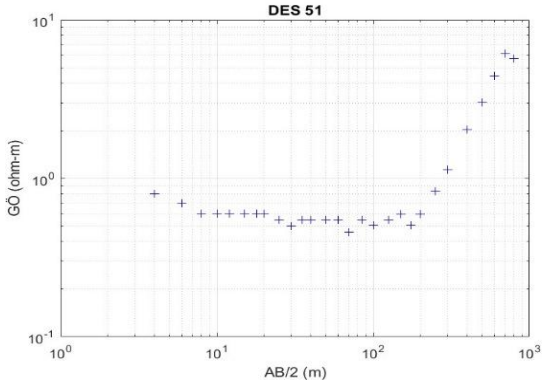

DES 46
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

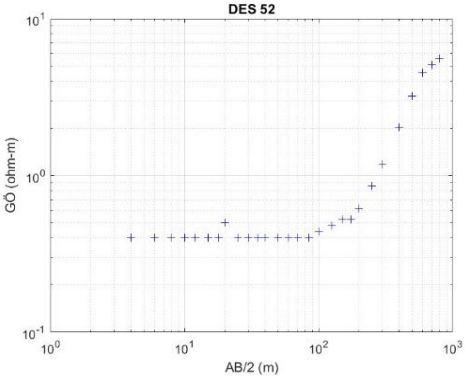

DES 47
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

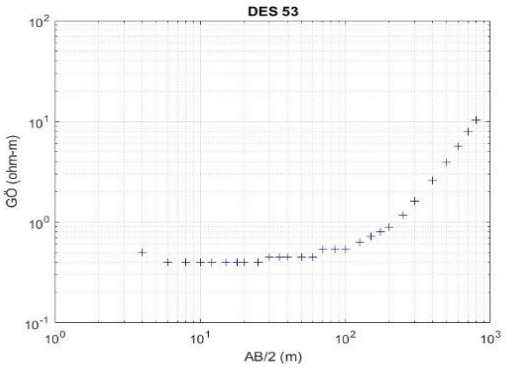

DES 48
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

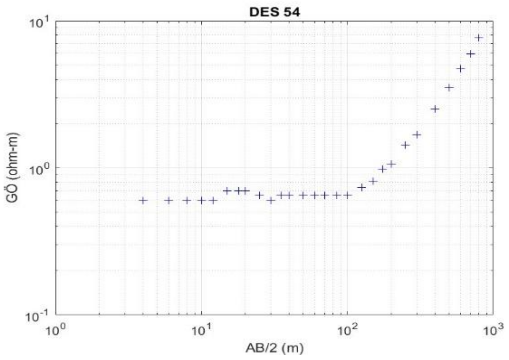

DES 49
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

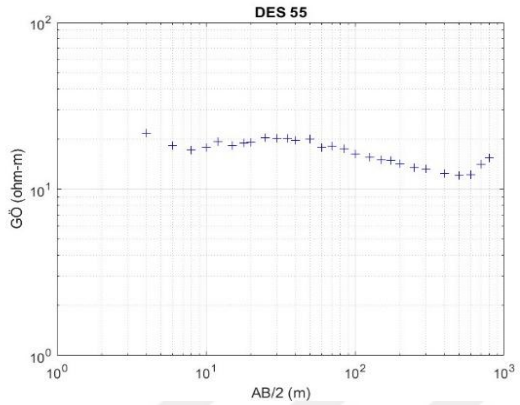

DES 50
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

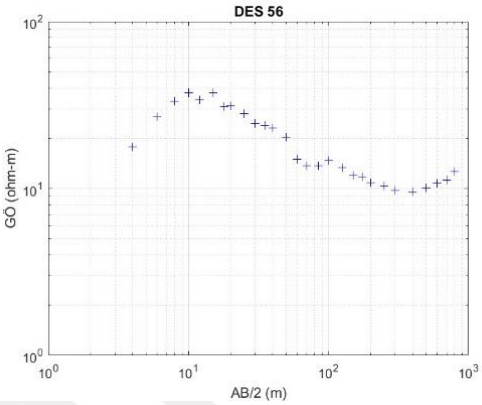

DES 51
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

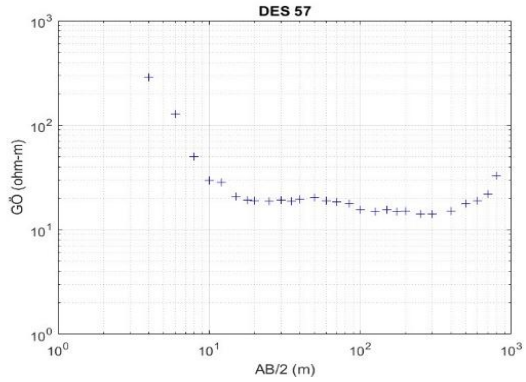

DES 52
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

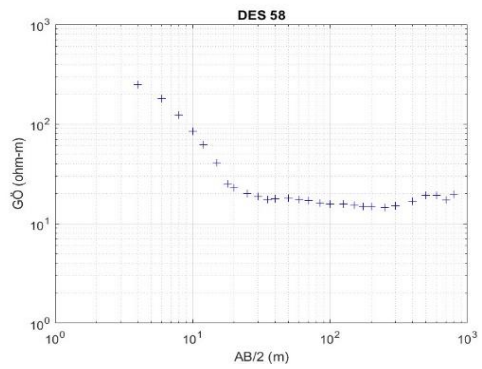

DES 53
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

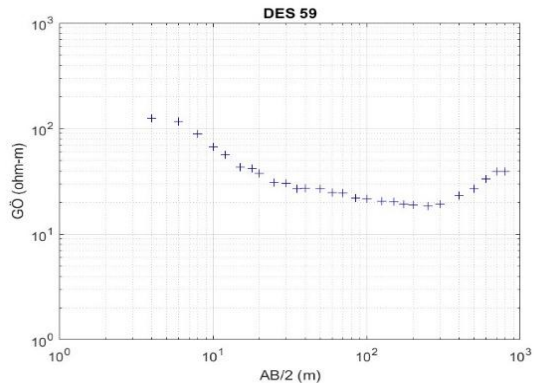

DES 54
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

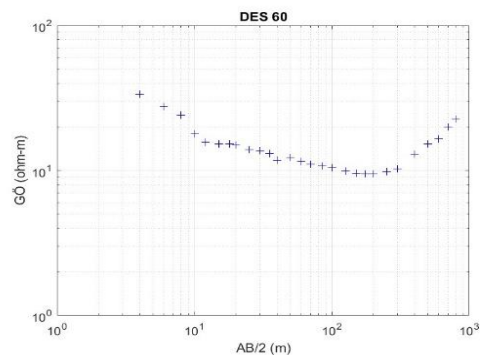

DES 55
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

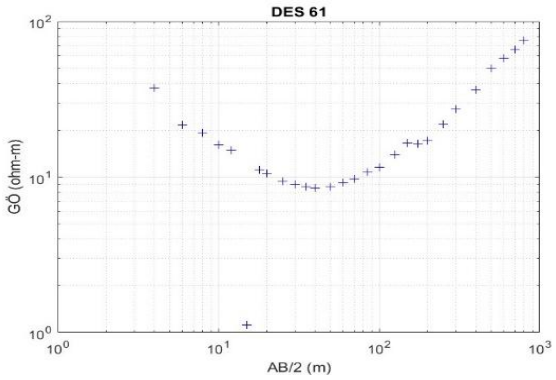

DES 56
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

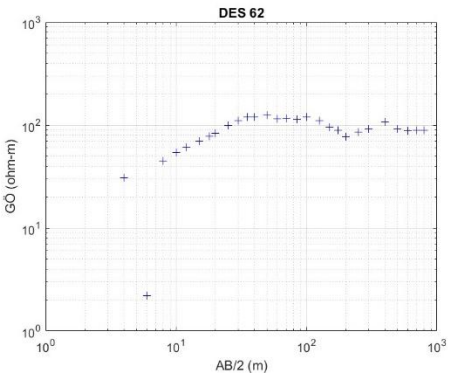

DES 57
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)


DES 58
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

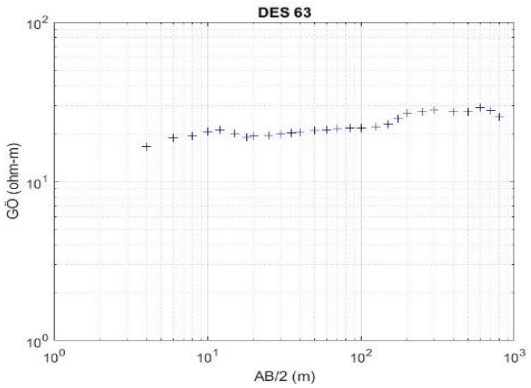

DES 59
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

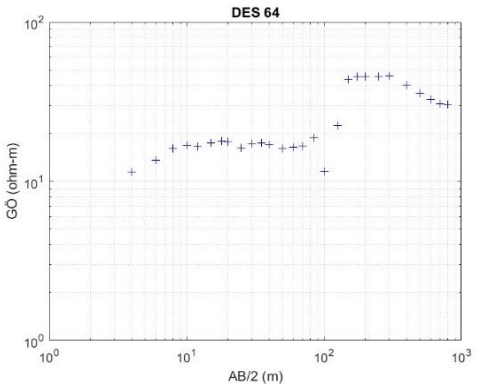

DES 60
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

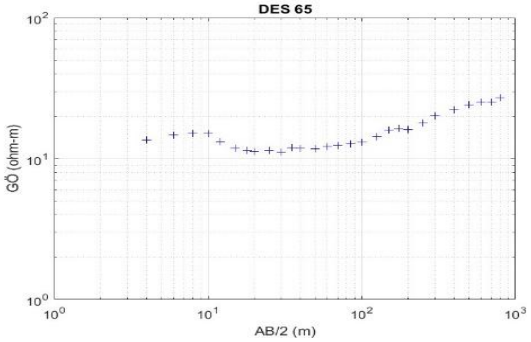


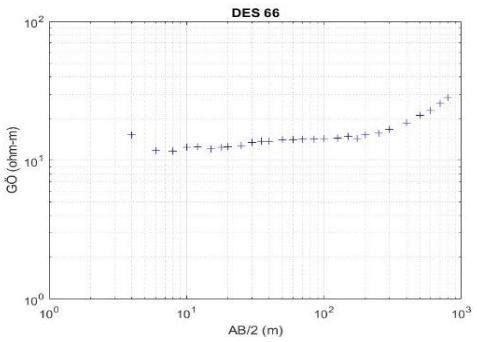


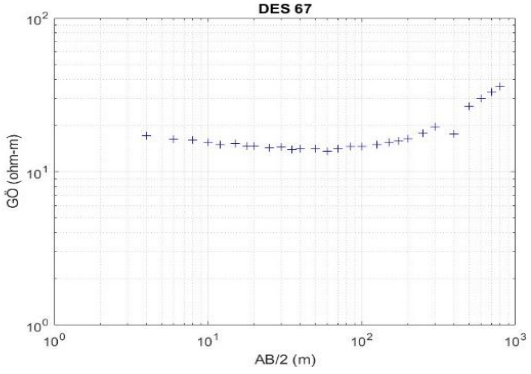
D- Profil 4 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

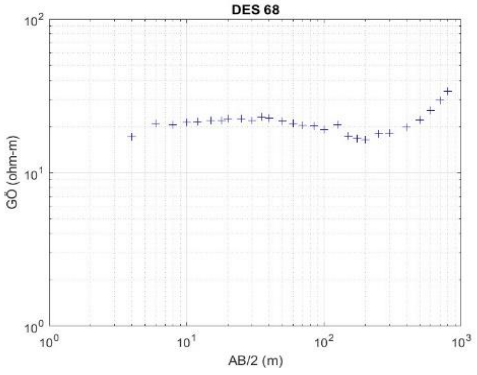


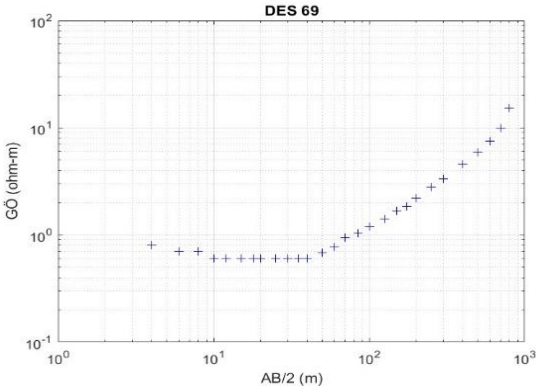


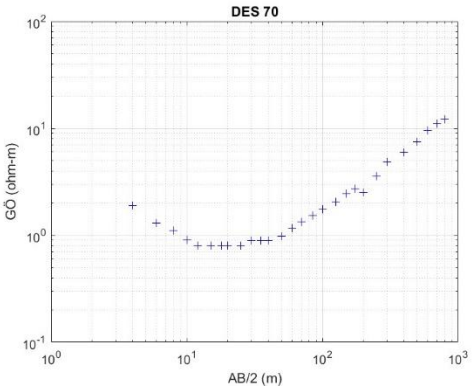


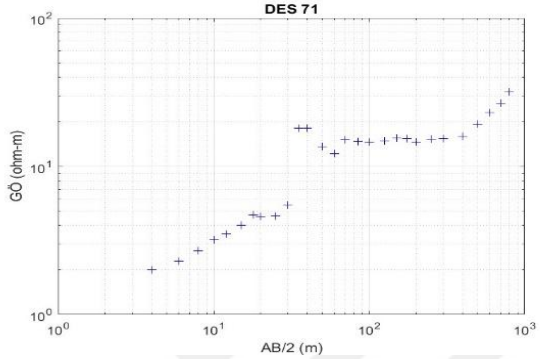


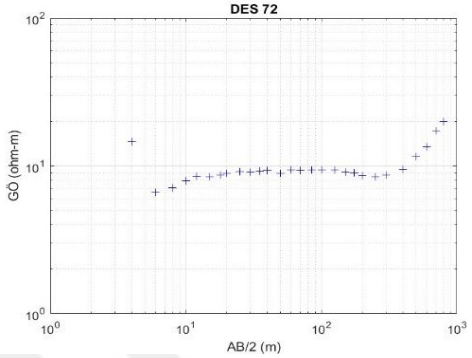


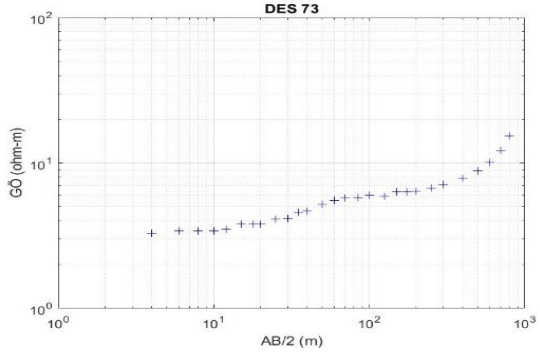


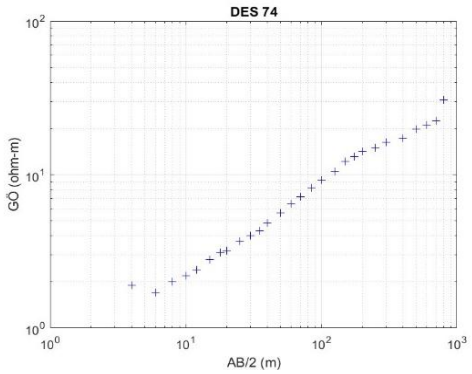

DES 69
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

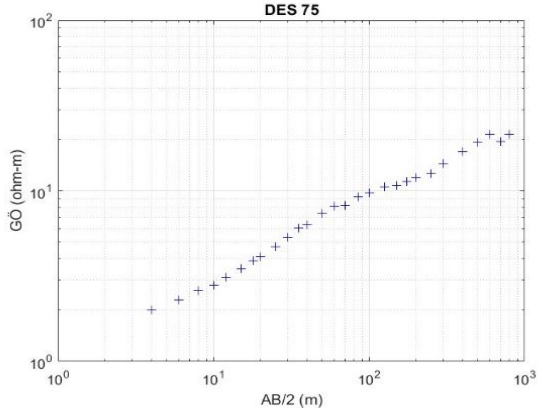

DES 70
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

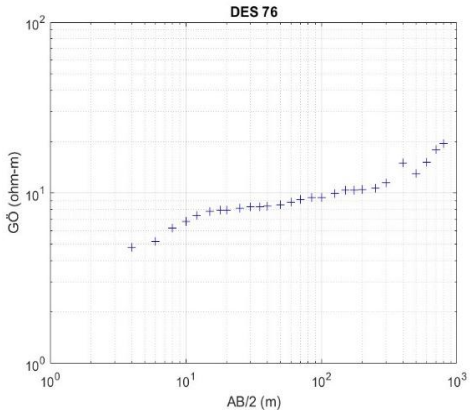

DES 71
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

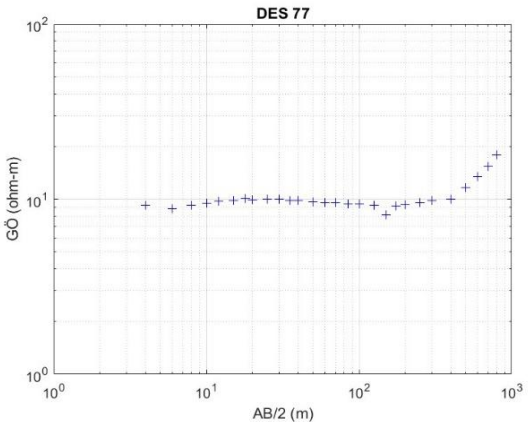

DES 72
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

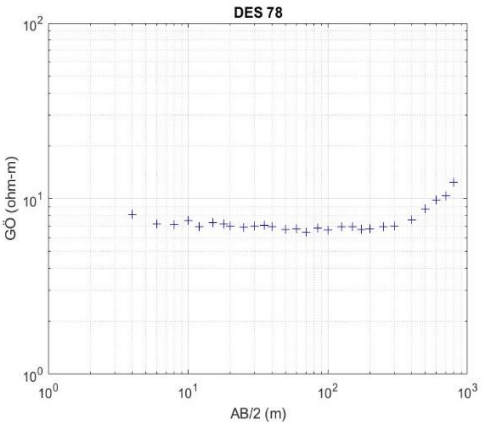

DES 73
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

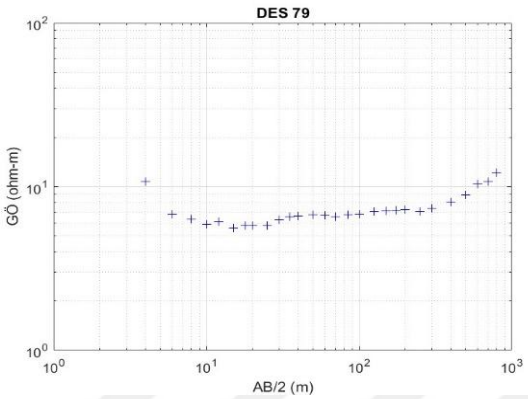

DES 74
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

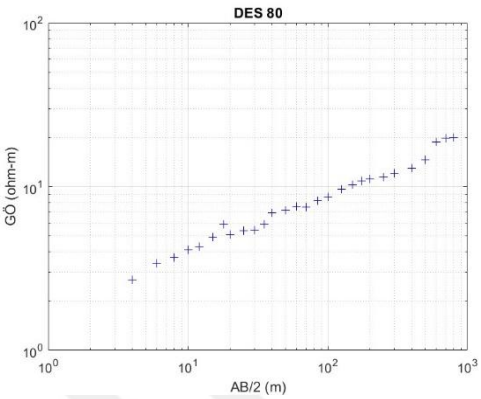

DES 75
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)


DES 76
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

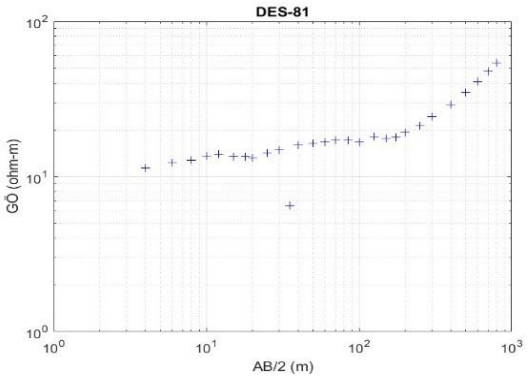


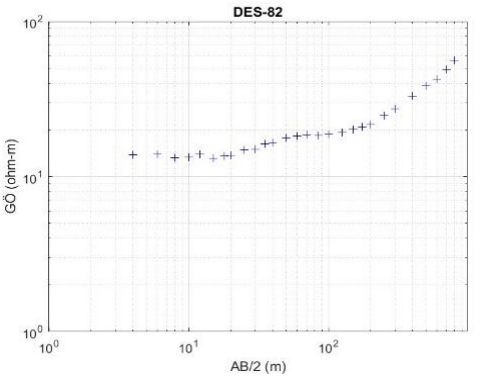


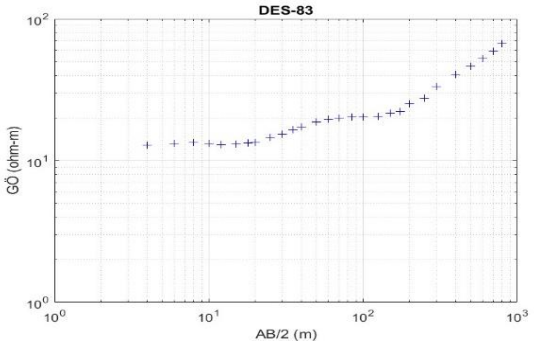


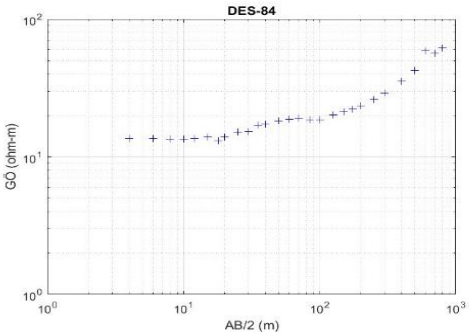


E- Profil 5 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

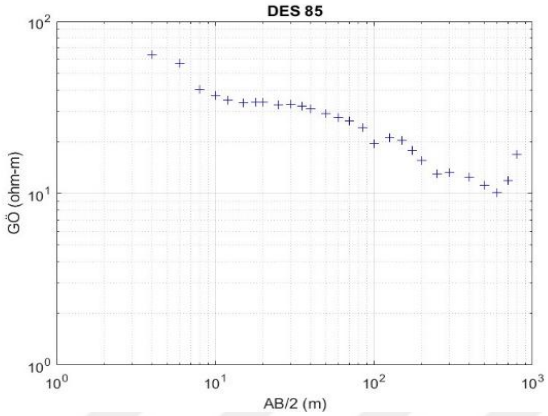


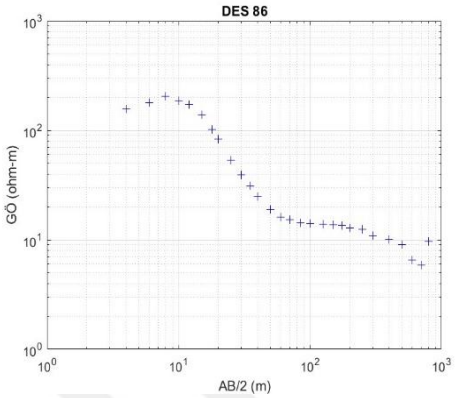


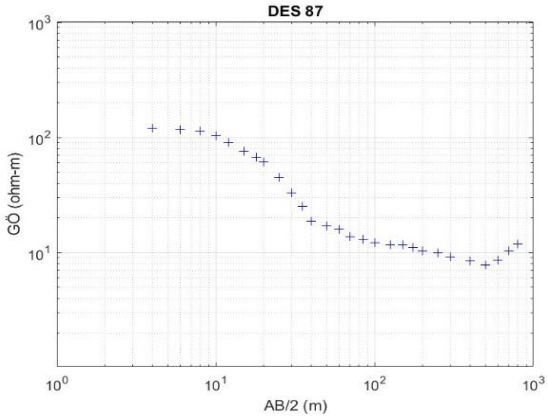


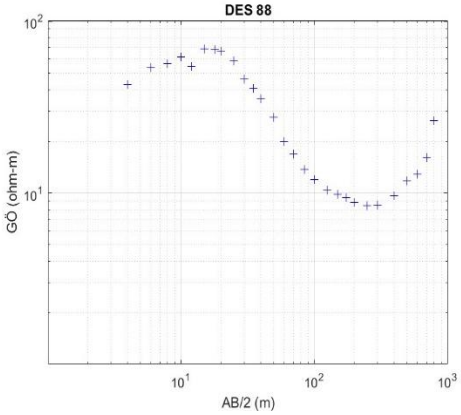


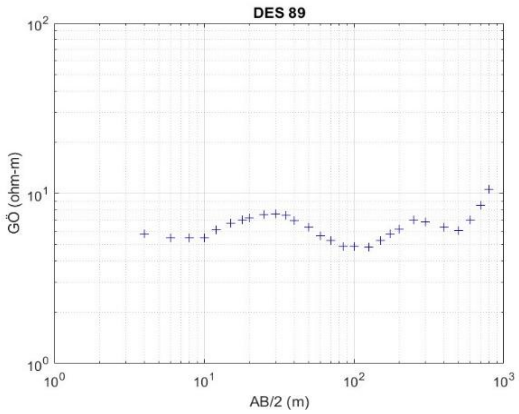
F- Profil 6 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

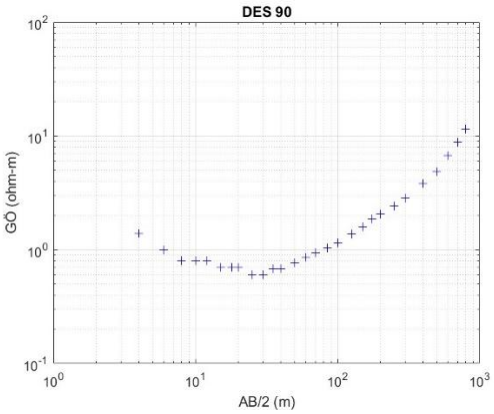




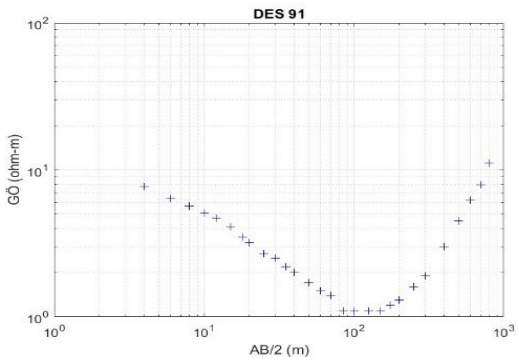


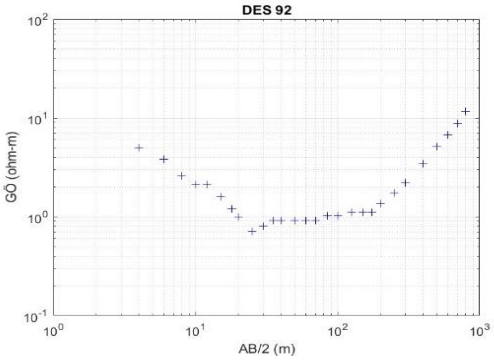


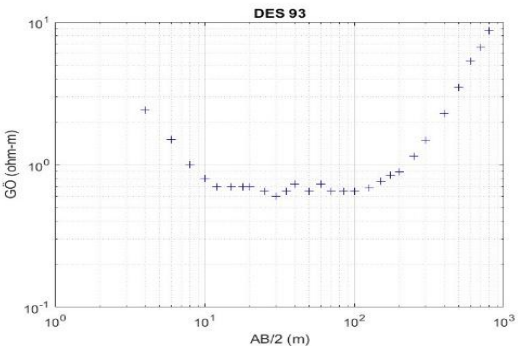


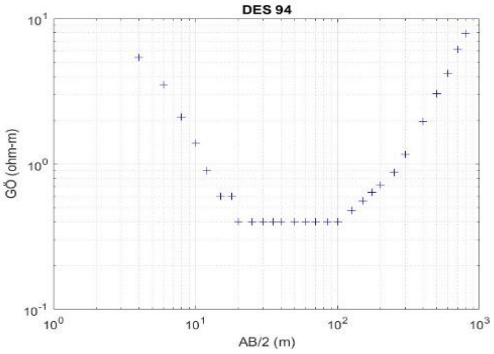


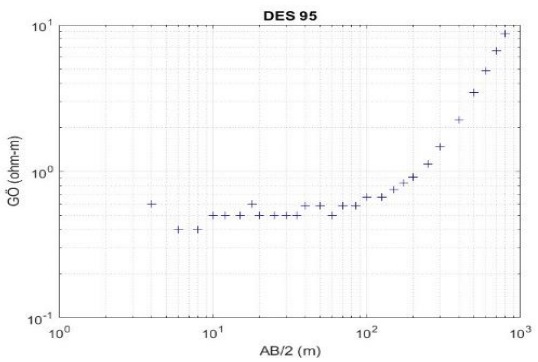
G- Profil 7 Üzerinde Bulunan Arazi Ölçüleri

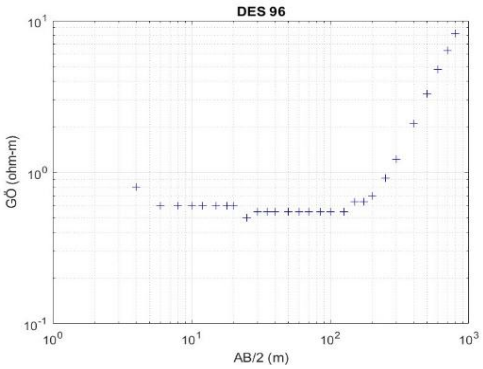


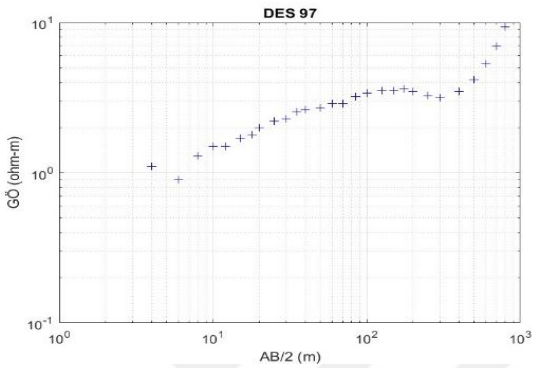


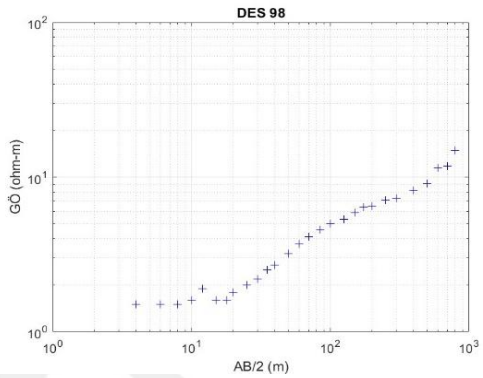





DES 95
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

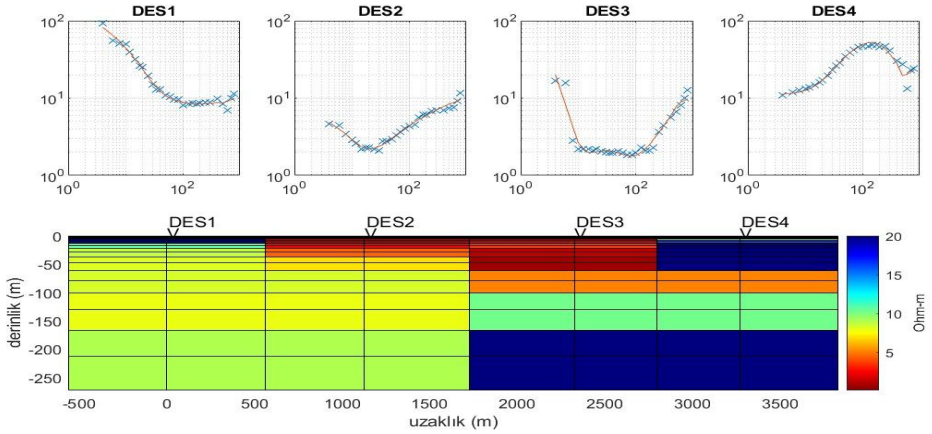

DES 96
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)


DES 97
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

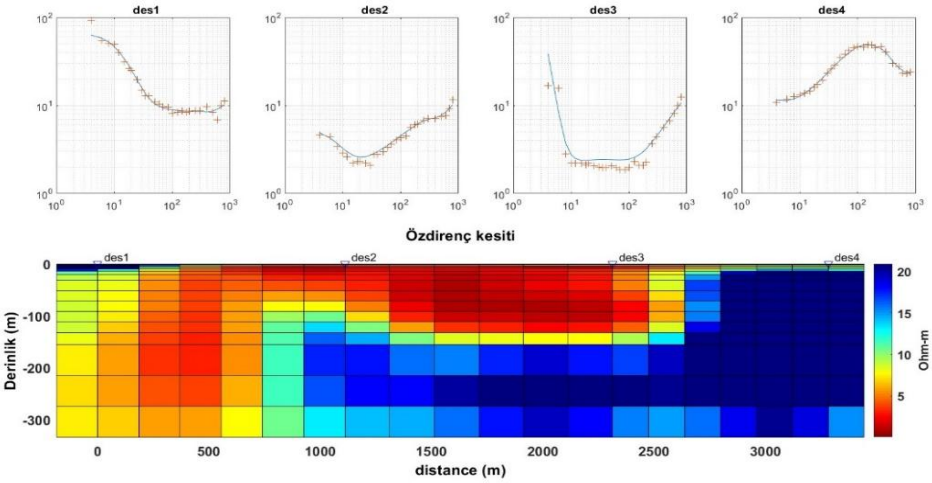

DES 98
GÖ (ohm-m)
AB/2 (m)

EK-12: Profil 1'in 2-B Ters Çözüm Sonuçları

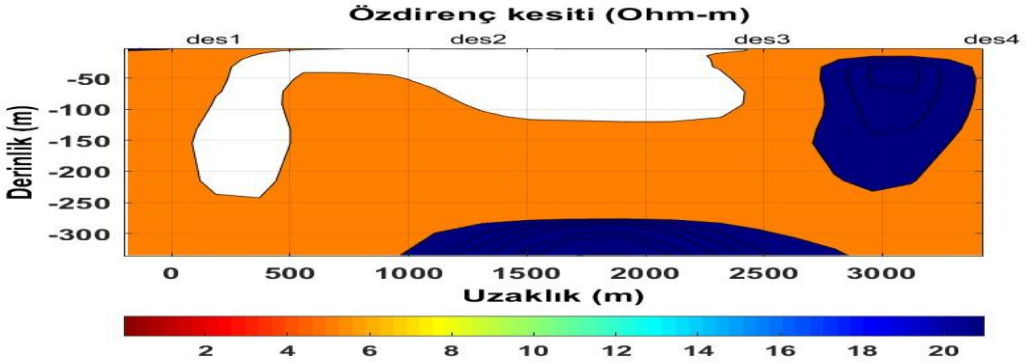
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



B- Ulugergerli (2017) ters çözüm sonucunun gösterimi

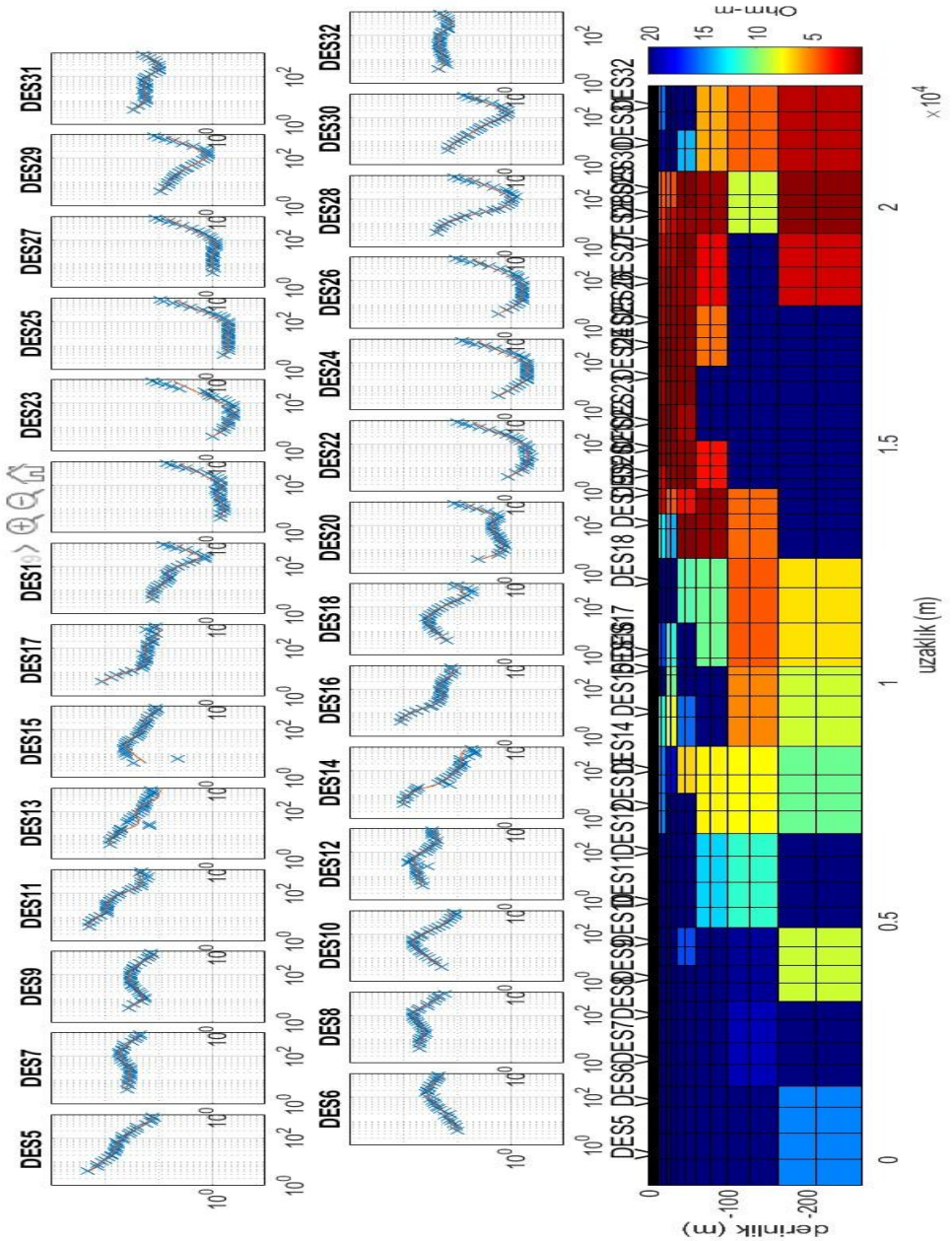


C- Ulugergerli (2017) ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi

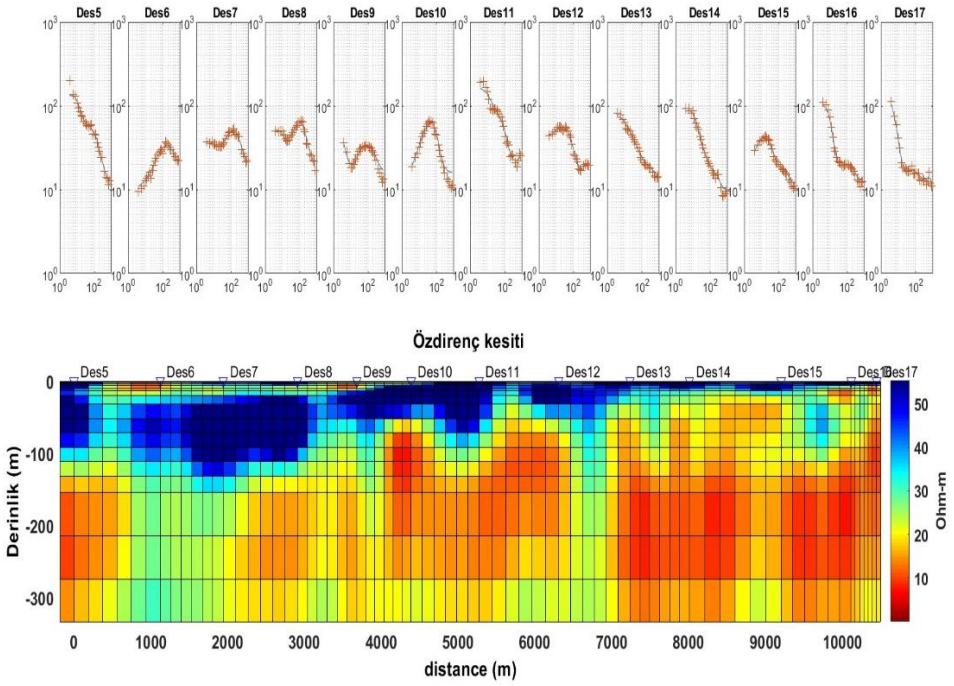


EK-13: Profil 2'nin 2-B Ters Çözüm Sonuçları

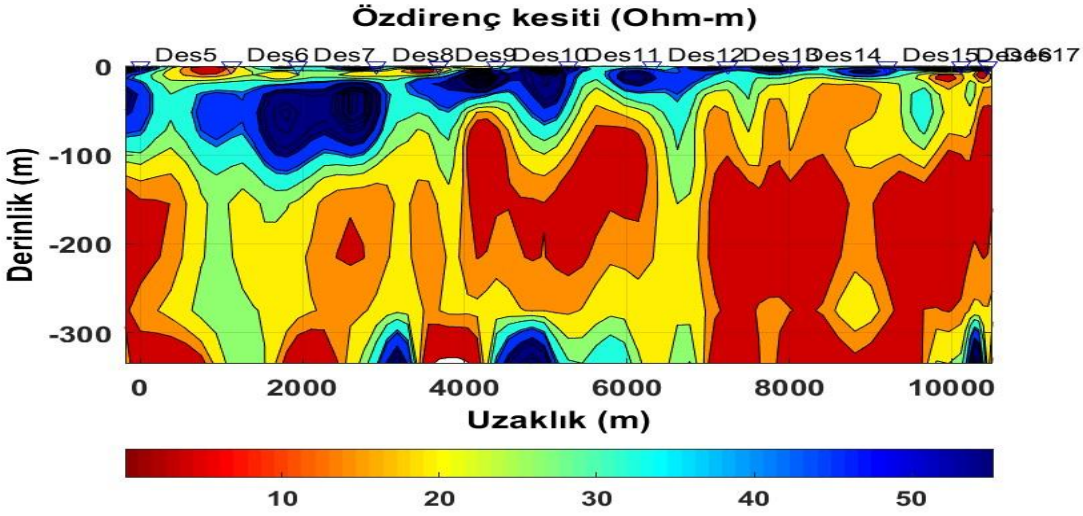
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



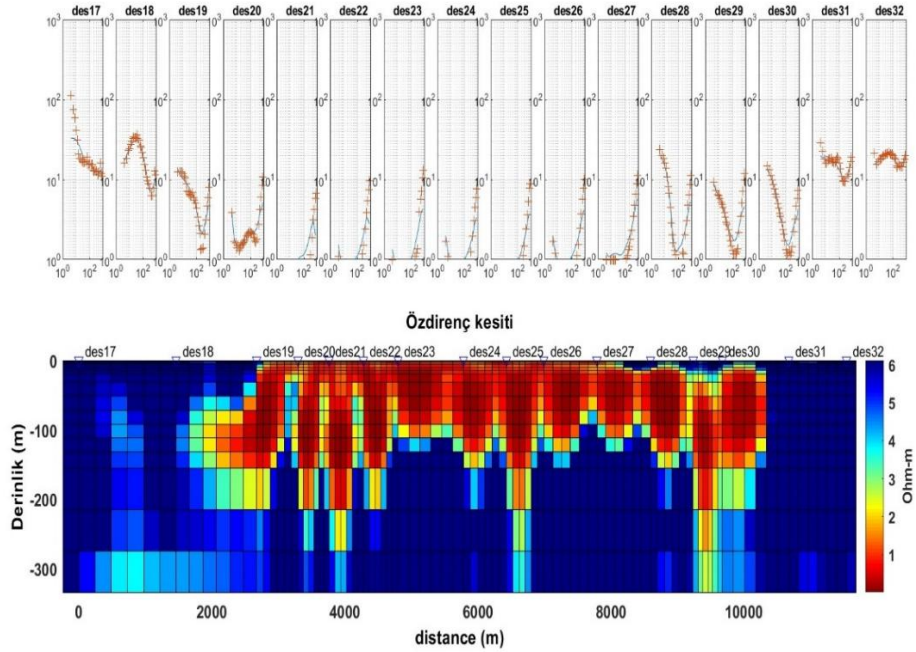
B- Profil 2-a için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017)



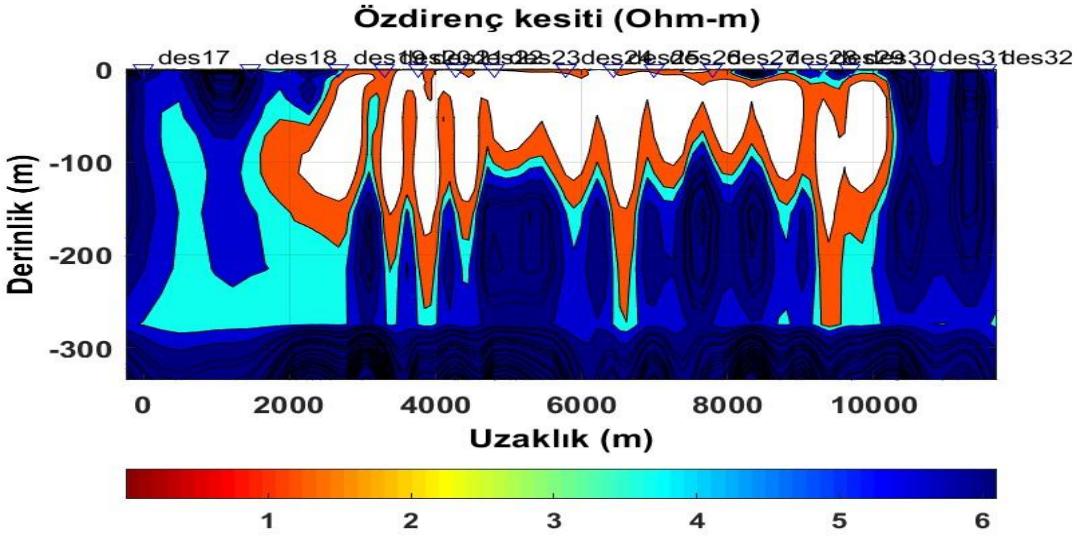
C- Profil 2-a ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017)



D-Profil 2-b için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017)

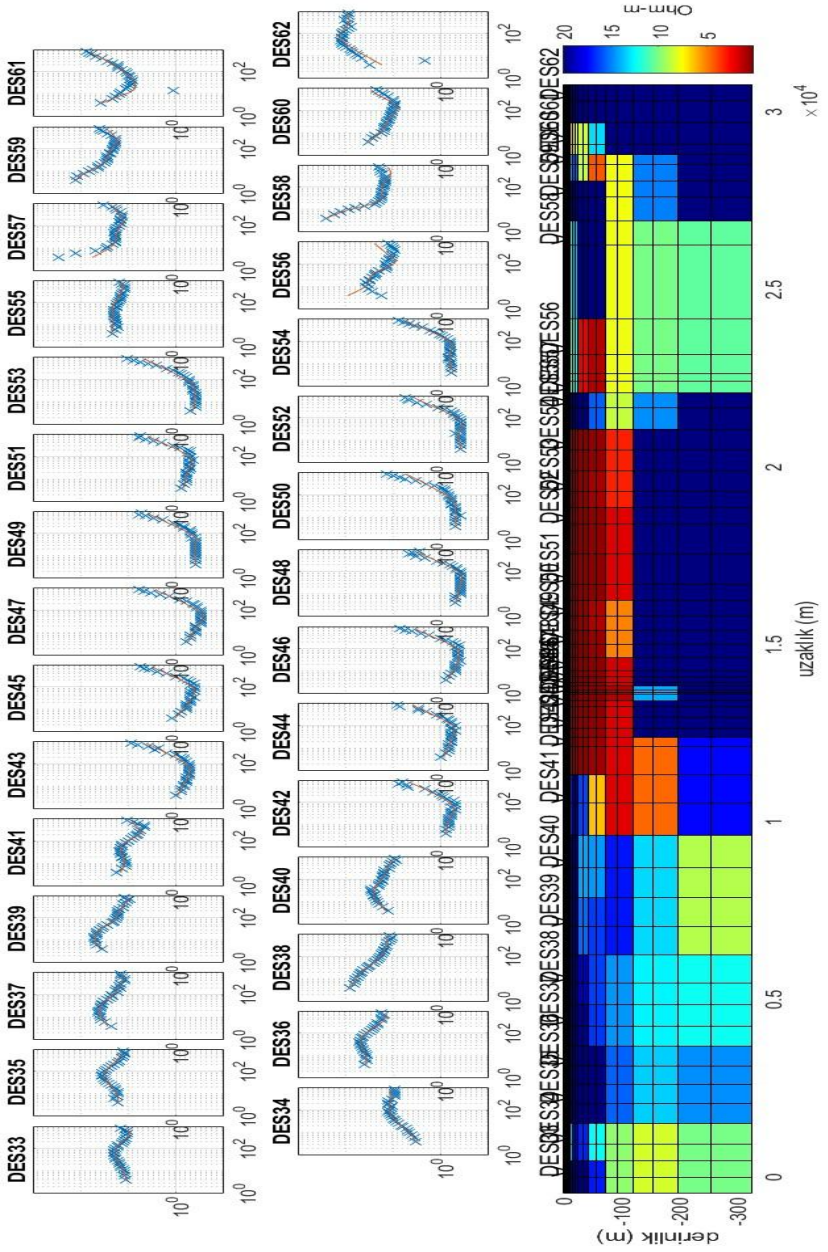


E - Profil 2-b ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017)

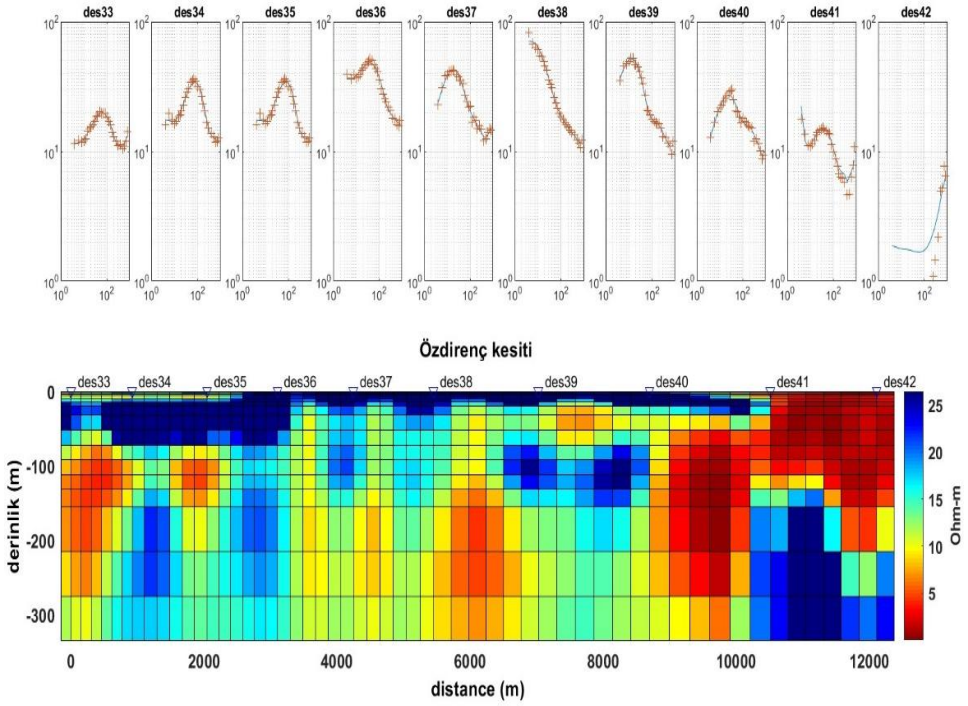


EK-14: Profil 3'ün 2-B Ters Çözüm Sonuçları

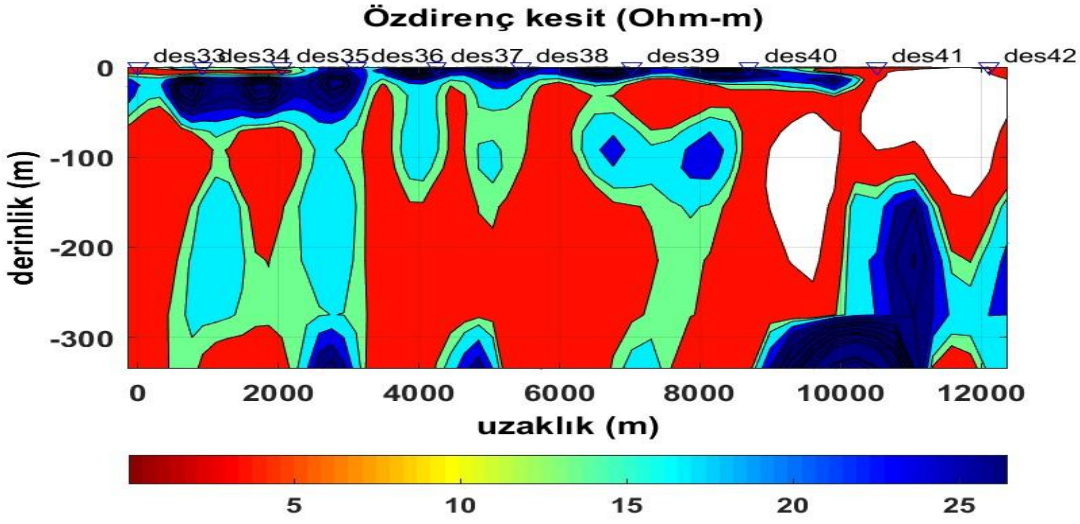
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



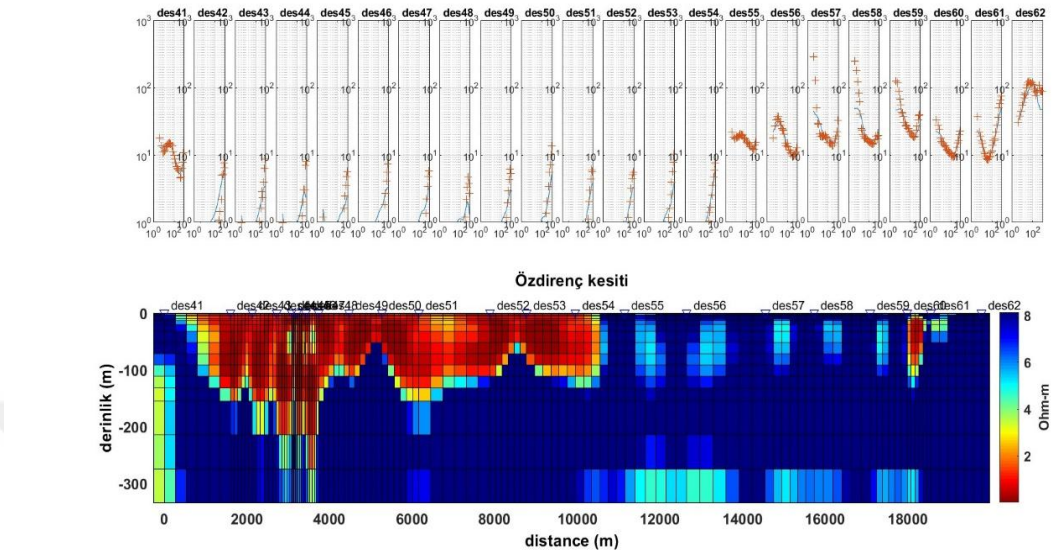
B-Profil 3-a için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017)



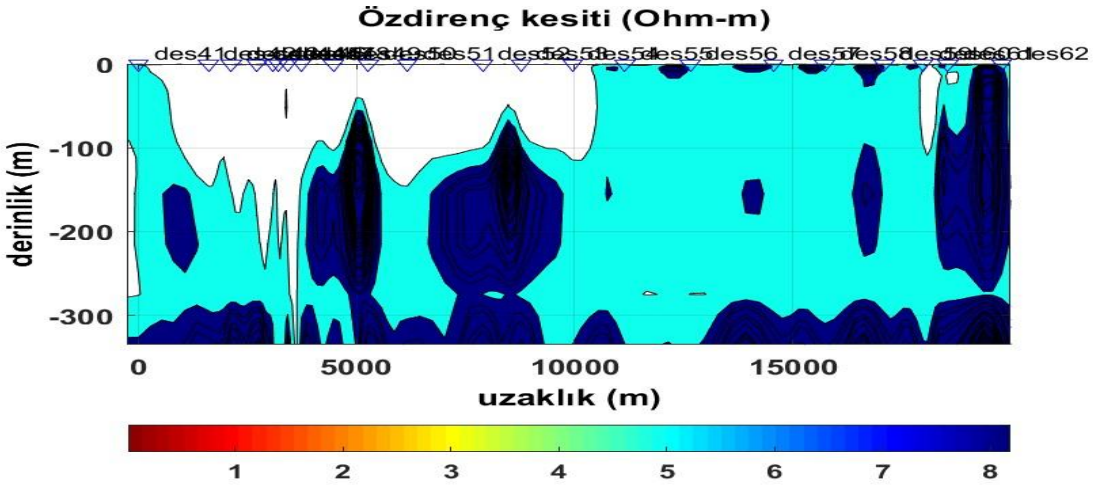
C - Profil 2-b ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017)



D -Profil 3-b için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017)

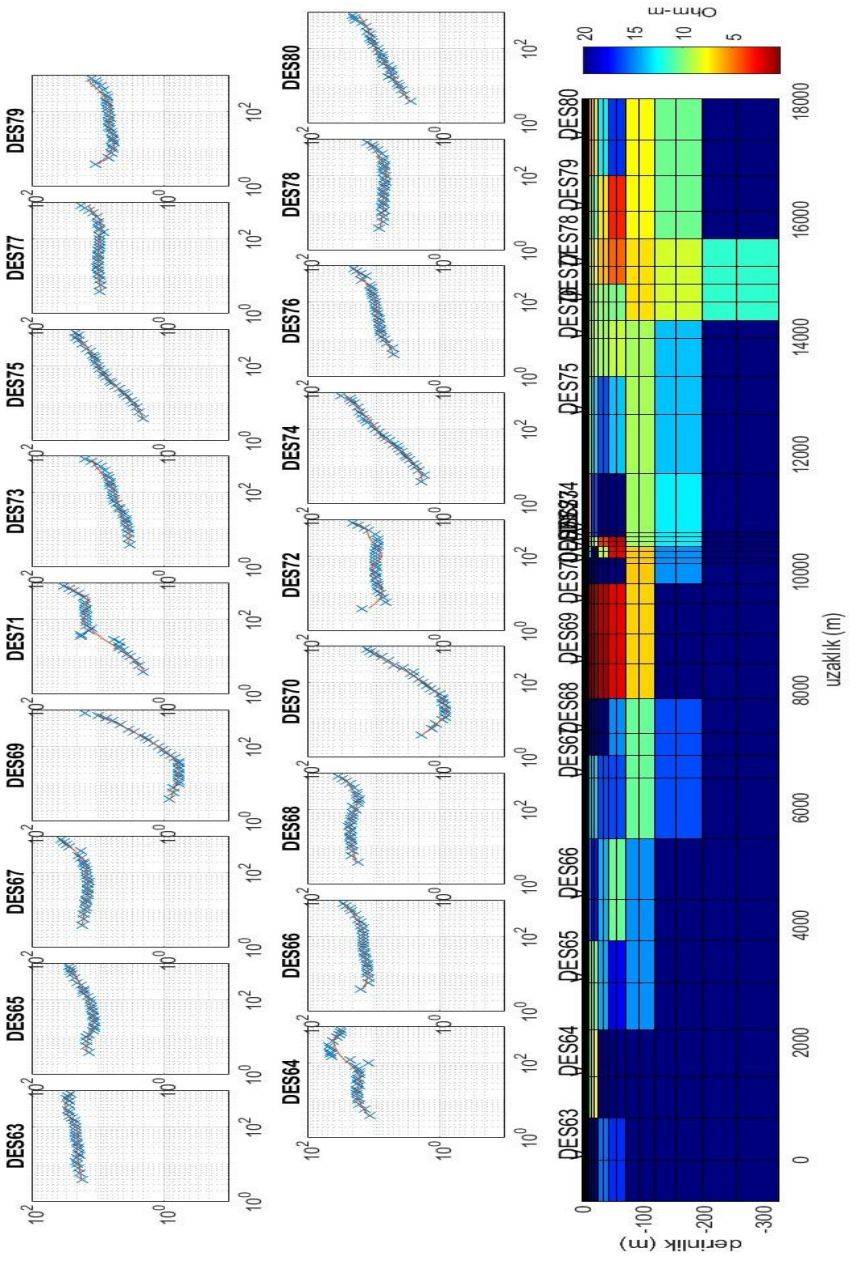


E - Profil 3-b ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017)

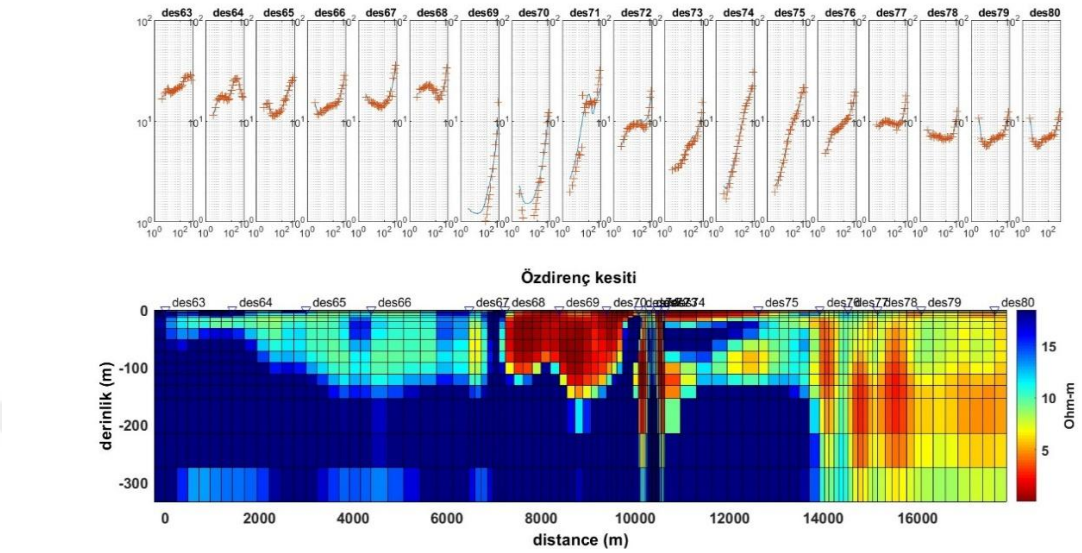


EK-15: Profil 4'ün 2-B Ters Çözüm Sonuçları

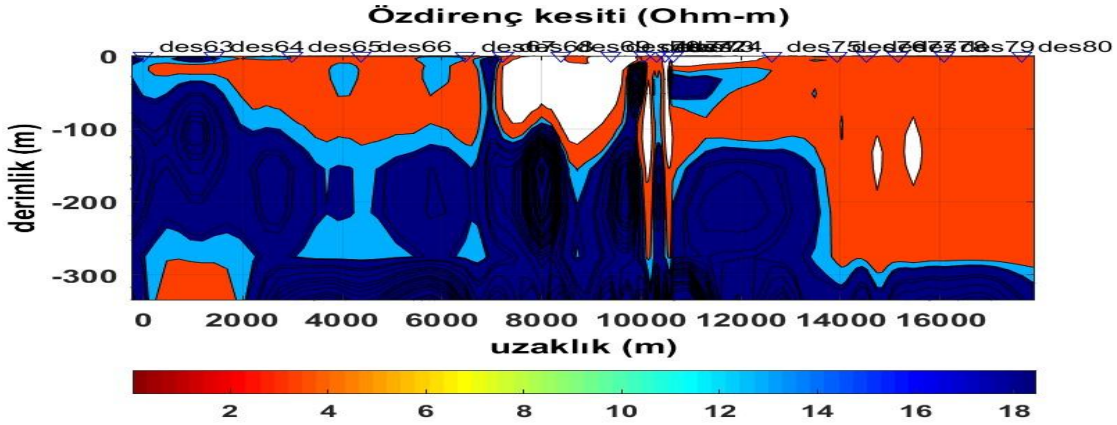
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



B -Profil 4 için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017)

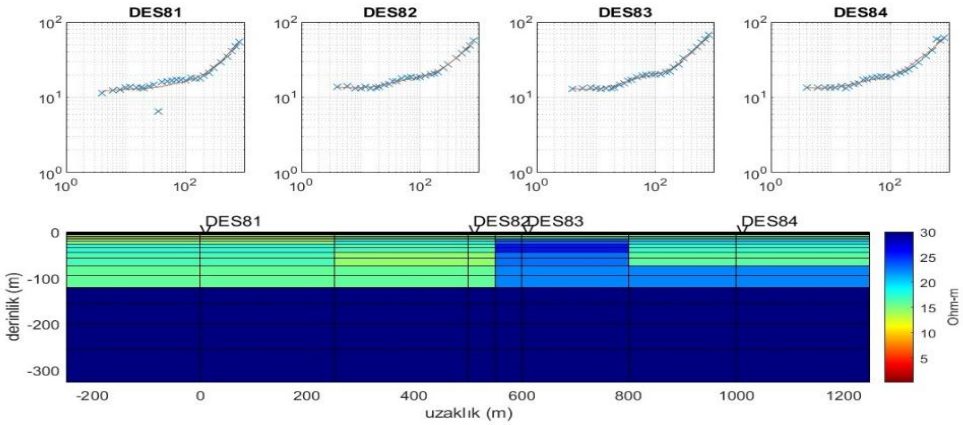


C- Profil 4 için ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017)

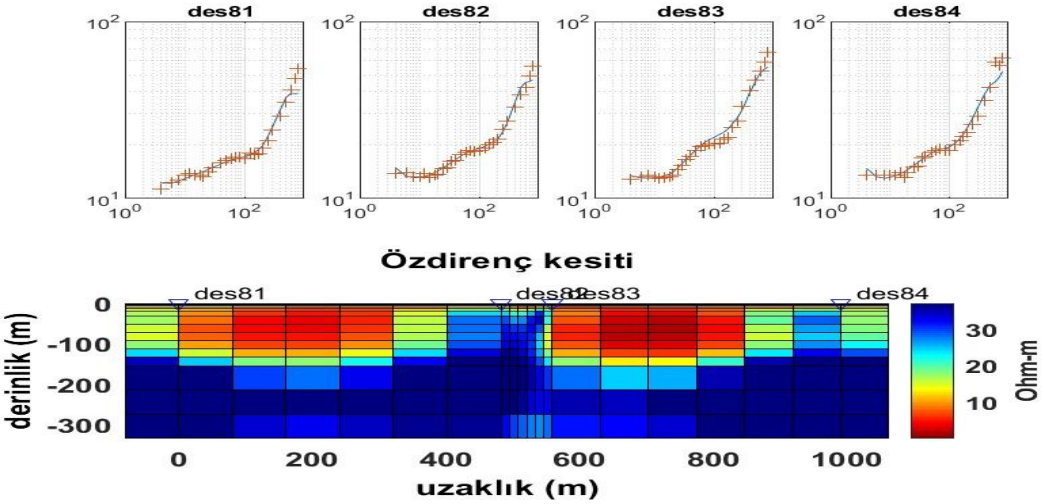


EK-16: Profil 5'in 2-B Ters Çözüm Sonuçları

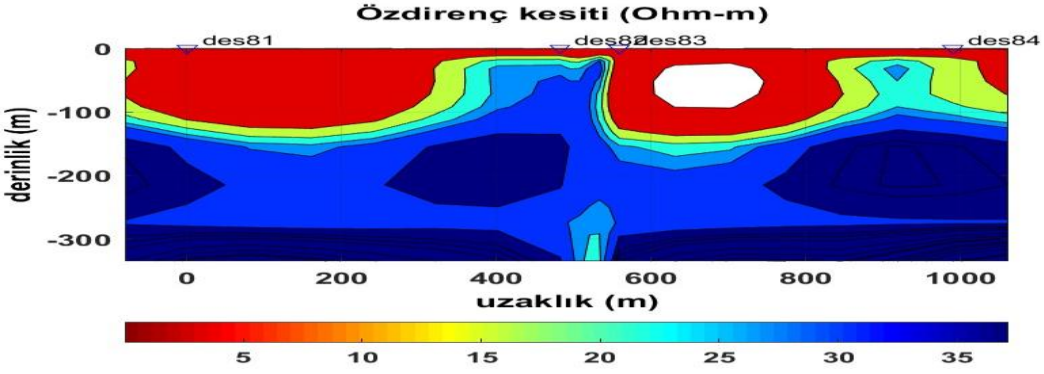
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



B -Profil 5 için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017)

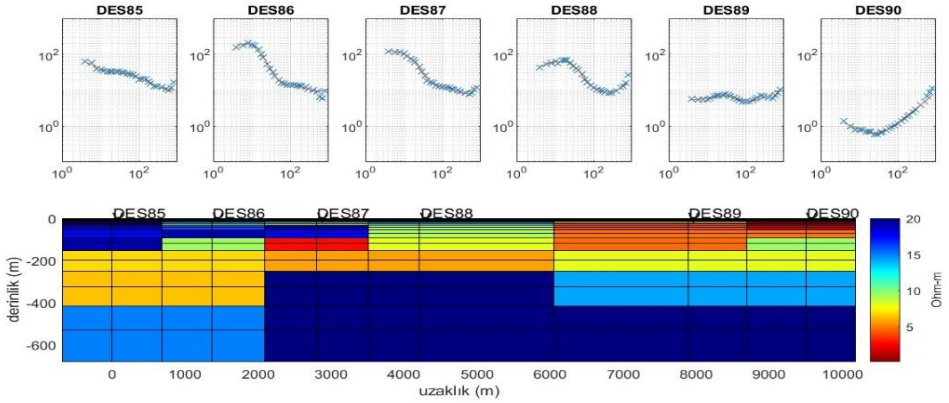


C-Profil 5 için ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017).

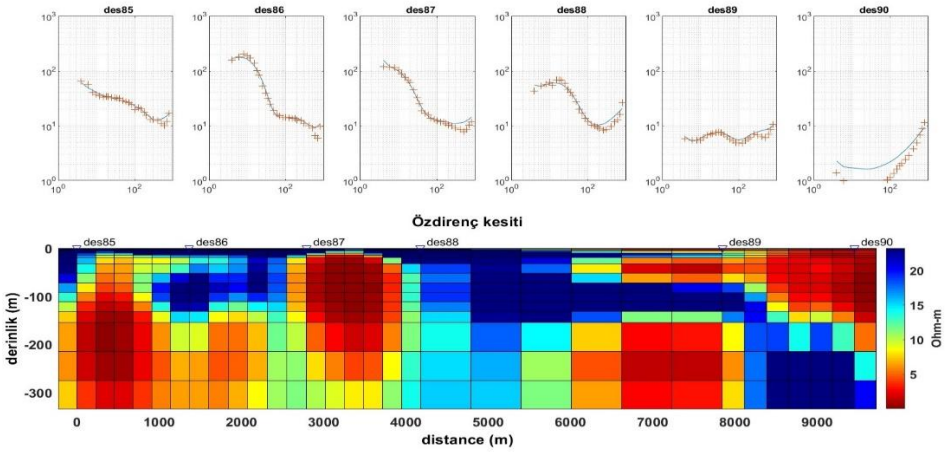


EK-17: Profil 6'nın 2-B Ters Çözüm Sonuçları

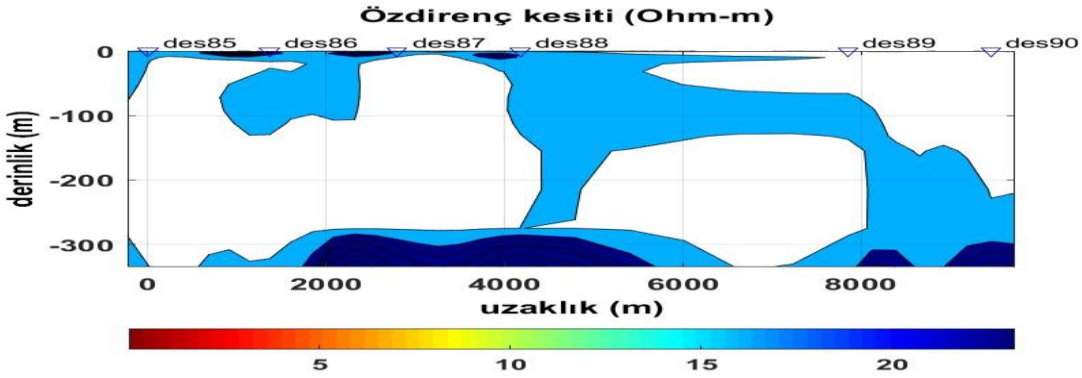
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



B -Profil 6 için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017

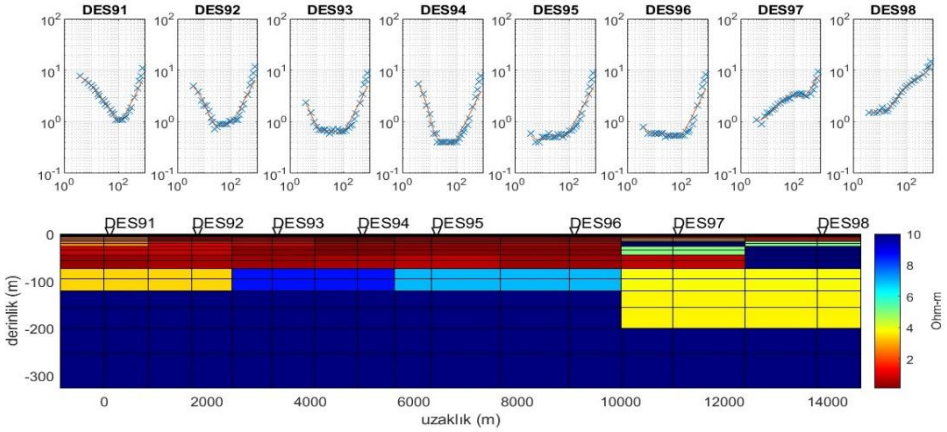


C-Profil 6 için ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017).

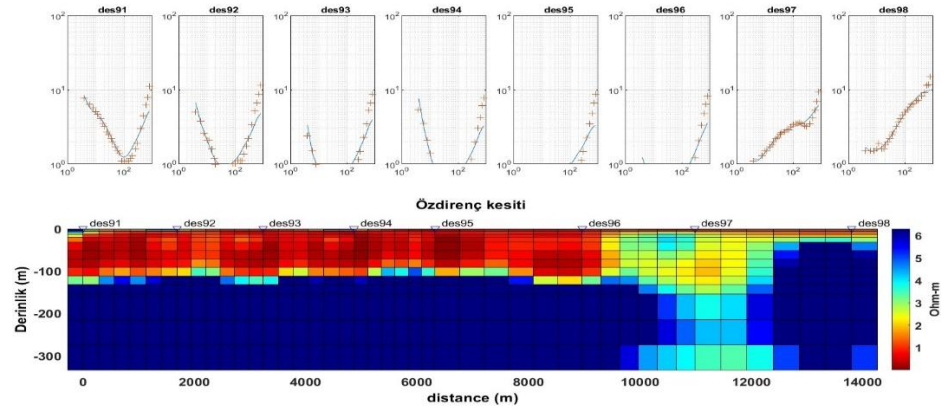


EK-18: Profil 7'nin 2-B Ters Çözüm Sonuçları

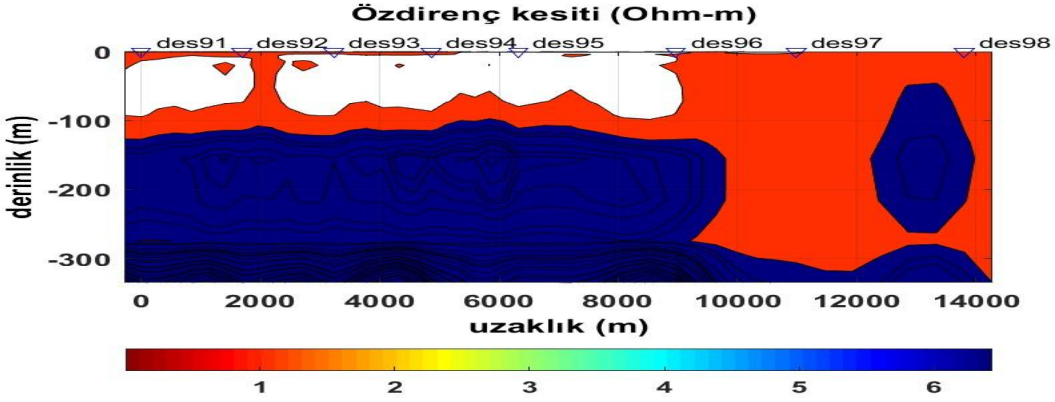
A- Uchida ve Murakami (1990) ters çözüm sonucunun gösterimi



B -Profil 7 için ters çözüm sonucunun gösterimi (Ulugergerli, 2017



C-Profil 7 için ters çözüm sonucunun eş-özdirenç eğrileri ile gösterimi (Ulugergerli, 2017).



EK-19: DSİ İzin Belgesi

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
12. Bölge Müdürlüğü

Sayı : E-34959411-152.99-4148068 14.12.2023
Konu : Zöhreh GHARAKHANI Veri Talebi Hk.

Sayın Zohreh GHARAKHANI

İlgi : Zohreh GHARAKHANI'nın 12.12.2023 tarihli başvurusu.

İlgi dilekçede, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Ana Bilim Dalı'nda, tez aşamasında 1158130251 numaralı tez öğrencisi olunduğundan bahsedilerek "Yeraltısuyu Araştırmalarında Jeofizik Özdirenç Yönteminin Uygulanması: Sultan Sazlığı-Develi Bölgesi Örneği" konulu doktora tezinde kullanılmak üzere Kayseri Sultan Sazlığı ve civarında yapılan jeofizik çalışmaları ve sondaj kuyuları ile ilgili Kurumumuzda bulunan bilgilerin tarafınıza verilmesinin istendiğinden ve bu bilgilerin tarafınızdan farklı olarak işlenmesi ve ayrıca tezden makale yaparken de bu verilerin – hem tezde hem de tezden üretilecek makale ve bildirilerde DSİ 12. Bölge Müdürlüğü'ne atıfta bulunularak ve "Teşekkür" veya "Katkı Belirtme" bölümlerinde ayrıca teşekkür edilecek şekliyle-kullanılmasına izin verilmesi talep edilmektedir.

Konu ile ilgili olarak gerekli literatür taraması yapılarak Kayseri Sultan Sazlığı ve civarında yapılan jeofizik çalışmaları ve sondaj kuyularına ait veriler hazırlanarak yazımız ekinde sunulmuştur. Verilerin, bahsi geçen doktora tezinde ve tezden yapılacak makalelerde kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Aslı ERDOĞAN
Bölge Müdür Yardımcısı

Ek: Kayseri Sultansazlığı ve Civarında Yapılan Jeofizik Çalışmalar ve Sondaj Kuyu Verileri

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: 80670268-571F-42B9-9BDC-7E78C5DB97FE Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/devlet-su-isleri-ebys
Telefon No : Belgegeçer No :
KEP Adresi : dsi.gnlmud@hs01.kep.tr
Bilgi için:Canan DENİZHAN
Mühendis

461425050 - 461425050 - 461425050 - 461425050

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Zohreh Gharakhani

Eğitim Durumu:

Lisans: Islamic Azad University, Hamadan, Fizik Bölümü (2009)

Yüksek Lisans: Islamic Azad University, Hamadan, Jeofizik Mühendisliği (2013).