

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EDREMİT (BALIKESİR) HAVZASININ DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJ (DES)
VE MİKROGRAVİTE VERİLERİ İLE TABAN TOPOĞRAFYASININ
MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS

Serkan KÖKSAL

OCAK-2026
GÜMÜŞHANE



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

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**EDREMİT (BALIKESİR) HAVZASININ DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJ (DES)
VE MİKROGRAVİTE VERİLERİ İLE TABAN TOPOĞRAFYASININ
MODELLENMESİ**

**MODELING OF BASEMENT TOPOGRAPHY OF THE EDREMİT
(BALIKESİR) BASIN USING VERTICAL ELECTRIC SOUNDING (VES) AND
MICROGRAVITY DATA**

YÜKSEK LİSANS

Serkan KÖKSAL

**OCAK-2026
GÜMÜŞHANE**



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

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**EDREMİT (BALIKESİR) HAVZASININ DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJ (DES)
VE MİKROGRAVİTE VERİLERİ İLE TABAN TOPOĞRAFYASININ
MODELLENMESİ**

**MODELING OF BASEMENT TOPOGRAPHY OF THE EDREMİT
(BALIKESİR) BASIN USING VERTICAL ELECTRIC SOUNDING (VES) AND
MICROGRAVITY DATA**

YÜKSEK LİSANS

Serkan KÖKSAL

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Suna ALTUNDAŞ

**OCAK-2026
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Edremit (Balıkesir) Havzasının Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve Mikrogravite Verileri ile Taban Topoğrafyasının Modellenmesi**” isimli bu tezin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

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

13/01/2026

.....
Serkan KÖKSAL

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında kullanılan gravite verileri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen “Edremit Ovası (Balıkesir) ve Çevresinin Yerel Zemin Etkilerinin Belirlenerek Sahaya Özel Sismik Tehlike ve Zemin Dinamik Davranış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi Projesi-123Y151” kapsamında toplanmıştır. Katkılarından dolayı TÜBİTAK’a ve proje çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan Düşey Elektrik Sondaj Verileri, MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi bünyesinde “Çanakkale-İzmir Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi” kapsamında toplanmıştır. Proje sürecinde sağladıkları veriler ile teknik destek için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü’ne (MTA), saha çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ekip arkadaşlarıma minnettarım.

Çalışmam süresince bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Suna ALTUNDAŞ’ a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, akademik gelişimime katkı sağlamakla kalmayıp araştırma sürecinde sabrı ve anlayışıyla bana büyük destek olmuştur.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve görüşleriyle bana yol gösteren, akademik yolculuğumda ilham kaynağı olan ve kıymetli önerileriyle tezimin gelişmesine katkı sağlayan eş danışmanım Doç. Dr. Eren PAMUK’ a teşekkür ederim.

Ayrıca, kıymetli geri bildirimleriyle tezimin gelişimine katkı sunan tüm hocalarıma da teşekkür ederim.

Bu süreçte her zaman sabır, anlayış ve desteğini hissettiğim eşim Canan Esin KÖKSAL, kızım Ela Ekin KÖKSAL ve yakın çevreme teşekkür ederim. Onların varlığı, bu çalışmanın tamamlanmasında en büyük motivasyon kaynağım olmuştur.

Yüksek lisans tezinin hazırlanmasında emeği geçen herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Serkan KÖKSAL
GÜMÜŞHANE – 2026

ÖZET

Bu tezin amacı, Balıkesir ilinde yer alan Edremit Körfezi ve yakın çevresinin anakaya taban topoğrafyasının, Mikrogravite ve Düşey Elektrik Sondajı (DES) yöntemleri kullanılarak belirlenmesidir. Çalışmada kullanılan mikrogravite verileri, “Edremit Ovası (Balıkesir) ve Çevresinin Yerel Zemin Etkilerinin Belirlenerek Sahaya Özel Sismik Tehlike ve Zemin Dinamik Davranış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi” (TÜBİTAK Projesi, No: 123Y151) kapsamında toplanmıştır. Düşey Elektrik Sondaj (DES) verileri ise, “Balıkesir–Çanakkale–İzmir Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması” başlıklı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) projesi kapsamında, Schlumberger elektrot dizilimi yöntemiyle elde edilmiştir. Söz konusu DES verileri toplam 31 ölçüm noktasında toplanmış olup, ölçümlerden oluşturulan E, F ve G profilleri oluşturulmuştur. Yeniden değerlendirilen veriler ile 1 boyutlu ters çözüm modeli ile jeoelektrik temel yüzeyini gösteren yapı kesitleri oluşturulmuştur. Mikrogravite ölçümleri ise Edremit Havzası ve çevresinde toplam 273 noktada gerçekleştirilmiştir. Bu verilerden elde edilen Bouguer gravite anomalisi haritaları üzerinde çeşitli süzgeçleme (filtering) ve türev tabanlı sınır analizleri uygulanmıştır. Ayrıca 2.5 B’lu Talwani modelleme yöntemi ile anakaya topoğrafyası yeniden yapılandırılmış; bu modelleme sonuçları, DES verilerinden elde edilen yapı kesitleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tüm profiller boyunca tanımlanan basamaklı normal faylar, havza tabanının tek bir ana fayla değil, çok segmentli ve çok kademeli bir fay sistemiyle şekillendiğini ortaya koyulmuştur. Bu yapısal özellikler, Bouguer gravite anomali haritalarında izlenen düşük gravite zonları ve 2.5B Talwani gravite model sonuçları ile büyük ölçüde uyumlu olup, gravite ve elektrik öz direnç yöntemlerinin havza geometrisini birbirini tamamlayıcı biçimde ortaya koyduğunu göstermiştir. Ayrıca, Bouguer gravite anomalisi üzerinde uygulanan türev tabanlı sınır analiz teknikleri yardımıyla, bölgedeki gömülü yapısal unsurların olası konumları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşey elektrik sondaj (DES), Jeoelektrik temel, Jeolojik anakaya, Mikrogravite, Taban topoğrafyası.

SUMMARY

This thesis aims to determine the bedrock basement topography of the Edremit Gulf and its surrounding area in Balıkesir Province using microgravity and Vertical Electrical Sounding (VES) methods. The microgravity data were acquired within the scope of the TÜBİTAK project titled “*Determination of Local Site Effects and Site-Specific Seismic Hazard and Dynamic Soil Behavior Analyses of the Edremit Plain (Balıkesir) and Its Surroundings*” (Project No: 123Y151). The VES data were obtained using the Schlumberger electrode array as part of the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) project entitled “*Preparation of Regional Geoelectrical Maps of Balıkesir–Çanakkale–İzmir, Turkey.*” VES measurements were collected at a total of 31 stations, and E, F, and G profiles were constructed. The re-evaluated data were interpreted using one-dimensional inversion to generate structural sections representing the geoelectrical basement surface. Microgravity measurements were carried out at 273 stations throughout the Edremit Basin and its surroundings. Bouguer gravity anomaly maps derived from these data were subjected to various filtering and derivative-based boundary analysis techniques. Additionally, the bedrock topography was reconstructed using 2.5D Talwani gravity modeling, and the results were compared with the structural sections obtained from the VES data. The step-like normal faults identified along the profiles indicate that the basin floor is controlled by a multi-segmented and multi-level fault system rather than a single master fault. These structural features are consistent with low-gravity zones observed on Bouguer anomaly maps and with the 2.5D Talwani modeling results, demonstrating that gravity and electrical resistivity methods provide complementary insights into basin geometry.

Keywords: Basement topography, Geoelectric basement, Geological bedrock Microgravity, Vertical electrical sounding (VES).

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
EKLER DİZİNİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Giriş	2
1.2. Önceki Çalışmalar	3
1.3. Amaç ve Kapsam.....	11
2. ÇALIŞMA ALANINA AİT GENEL BİLGİLER.....	13
2.1. Çalışma Alanının Topografik ve Jeomorfolojik Özellikleri.....	13
2.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi	15
2.2.1. Sakarya Zonu	18
2.2.1.1 Kazdağ Metamorfitleri	18
2.2.1.2. Fındıklı Formasyonu (TRf).....	18
2.2.1.3. Tozlu Formasyonu (Mzt)	18
2.2.1.4. Sarıkız Mermeri (Mzs).....	19
2.2.1.5. Sutüven Formasyonu (Cs).....	19
2.2.1.6. Alakeçili Milonit Zonu (AMZ)	19
2.2.2. Kalabak Grubu	20
2.2.2.1. Torasan Formasyonu (Pzkt)	20
2.2.2.2. Sazak Formasyonu (Pzks).....	20
2.2.2.3. Çamlık Metagranodiyoriti (Pzç)	20
2.2.2.3. Arkozik Kumtaşı (TRka)	21
2.2.2.4. Karakaya Formasyonu (TRkk).....	21
2.2.2.5. Mehmetalan Formasyonu (TRkm).....	21
2.2.2.6. Çal Formasyonu (TRkç).....	21

2.2.2.7 Camialan Formasyonu (TRkc).....	22
2.2.2.7. Permiyen Yaşlı Kireçtaşı Blokları (Pb).....	22
2.2.2.8. Karakaya Kompleksi İçerisindeki Kireçtaşı Blokları (Pk, kb).....	22
2.2.3. Sakarya Zonu Örtü Birimleri	23
2.2.3.1. Balya Formasyonu (TRb).....	23
2.2.3.2. Bayırköy Formasyonu (Jba).....	23
2.2.3.3. Bilecik Formasyonu (JKb)	23
2.2.3.4. Pınar Formasyonu (Kp).....	23
2.2.3.5. Çetmi Melanjı (Kç)	23
2.2.4. Örtü Birimleri.....	24
2.2.4.1. Bağburun Formasyonu (Pgob).....	24
2.2.4.2. Hallaçlar Volkanitleri (PgoNh).....	24
2.2.4.3. Kozak Granitoyidi (PgoNk)	24
2.2.4.4. Oligosen-Miyosen Granitoidleri (PgoNg).....	24
2.2.4.5. Küçükkuyu Formasyonu (Nmk)	25
2.2.4.6. Yürekli Dasiti (Nmy)	25
2.2.4.7. Şapcı Volkaniti (Nms).....	25
2.2.4.8. Bozdıvrit Volkaniti (Nmb)	25
2.2.4.9. Ballica Formasyonu (Nmba).....	25
2.2.4.10. Aliağa Formasyonu (Nma).....	25
2.2.4.11. İlyasbaşı Formasyonu (Nmi).....	26
2.2.4.12. Bayramiç Formasyonu (NplQb).....	26
2.2.4.13. Yamaç Molozu (Qym)	26
2.2.4.14. Alüvyon (Qal)	26
2.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Tektonik Özellikleri.....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi	13
3.1.1. Düşey Elektrik Sondaj Yöntemi (DES)	29
3.2. Gravite Yöntemi	31
3.2.1. Mikrogravite Yöntemi.....	32
3.2.2. Mutlak Gravite Ölçümleri	32
3.2.3. Bağıl Gravite Ölçümleri	32
3.2.4. Gravite Yöntemindeki Temel Düzeltmeler	33
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR	36
4.1. DES Verilerinin Toplanması ve Veri İşlemi	37

4.2. Mikrogravite Verilerinin Toplanması ve Veri İşlemi	40
4.2.1. Türev Tabanlı Sınır Analizi Yöntemleri.....	42
4.2.2. 2.5 B’li Gravite Modellemesi	43
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	46
5.1. Gravite Verilerinin Yorumlanması	46
5.2. E Profilinin Değerlendirmesi	49
5.2.1. E Profilinin Yapısal Yorumu ve Bölgesel Tektonik ile İlişkisi	51
5.3. F Profilinin Değerlendirmesi	52
5.3.1. F Profilinin Yapısal Yorumu ve Bölgesel Tektonik ile İlişkisi	54
5.4. G Profilinin Değerlendirmesi	55
5.4.1. G Profilinin Yapısal Yorumu ve Bölgesel Tektonik ile İlişkisi.....	57
5.5. E–F–G Profillerinin Değerlendirilmesi ve Havza Geometrisinin Sentezi.....	57
6. SONUÇLAR	58
KAYNAKÇA.....	60
EKLER.....	68
ÖZGEÇMİŞ	84

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Bazı kayaçların özgül ağırlıkları.....	45
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	13
Şekil 2. Çalışma sahası ve civarına ait topoğrafya haritası.....	14
Şekil 3. Çalışma sahası ve civarına ait jeomorfoloji haritası	15
Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası.....	16
Şekil 5. Çalışma alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti	17
Şekil 6. Edremit Ovası ve çevresinin Morfo-tektonik haritası.....	27
Şekil 7. Elektrik öz direnç yönteminde akım (C1–C2) ve potansiyel (P1–P2) elektrotları ile akım ve eşpotansiyel çizgilerinin dağılımı.	29
Şekil 8. Elektrik öz direnç yönteminde kullanılan elektrot dizilimleri	30
Şekil 9. Tüm kaynakların neden olduğu çekimin düşey bileşeni (Δg_z).....	33
Şekil 10. Topografik etki düzeltilmesi	35
Şekil 11. Proje kapsamında toplanan gravite ve des noktalarının dağılımı	36
Şekil 12. Çalışmalarda kullanılan öz direnç ölçü düzeneği	37
Şekil 13. WingLink programında örnek veri işlem adımları a) Veri girişi-nokta bilgilerinin tanımlanması, b) Profil oluşturma, c) DES eğrilerin modellenmesi.....	39
Şekil 14. Scintrex Cg5 Autograv mikrogravite cihazının görseli	40
Şekil 15. Mikrogravite ölçülerinin toplanması ile ilgili örnek görseller.....	41
Şekil 16. Gravite veri-işlem aşamasından örnek bir görsel	42
Şekil 17. İki boyutlu bir cismin kartezyen koordinatları.....	44
Şekil 18. 2.5 B’li Talwani modellemesi ile ilgili örnek bir profil.....	44
Şekil 19. Çalışma sahasının Bouguer Gravite Anomali haritası	46
Şekil 20. Çalışma sahasının Gravite Bouguer Anomali değerlerinden elde edilen analitik sinyal haritası	47
Şekil 21. Çalışma sahasının Gravite Bouguer Anomali değerlerinden elde edilen tilt açısı haritası.....	48
Şekil 22. a) E profiline ait Gravite Anomalisi, b) 2.5 B’li Talwani gravite modeli, c) 1 Boyutlu DES ters-çözümü ve d) elektrik yapı kesiti	50
Şekil 23. a) F profiline ait Gravite Anomalisi, b) 2.5 B’li Talwani gravite modeli, c) 1 Boyutlu DES ters-çözümü ve d) elektrik yapı kesiti	53
Şekil 24. a) G profiline ait Gravite Anomalisi, b) 2.5 B’li Talwani gravite modeli, c) 1 Boyutlu DES ters-çözümü ve d) elektrik yapı kesiti	56

EKLER DİZİNİ

Ek 1.Düşey Elektrik Sondaj Noktalarına ait Eğriler ve Tabaka Modelleri.....	68
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AMZ	: Alakeçili Milonit Zonu
bs.	: Baskı, basım
b.y.	: Basım yeri yok
C	: Cilt
Cb	: Karbonifer
Cs	: Sutüven Formasyonu
Csm	: Sutüven formasyonu ince mermer
Drl. / drl.	: Derleyen
Ed. / ed.	: Editor
Erişim	: Erişim Tarihi
DES	: Düşey Elektrik Sondaj
ERT	: Elektrik Özdirenç Tomografisi
Gal	: Gal
mGal	: Miligal
Gg	: Granitik gnays
GB	: Güney Batı
GGB	: Güney Güney Batı
ha	: hektar
Haz. / haz.	: Hazırlayan
Jba	: Bayırköy Formasyonu
JKb	: Bilecik Formasyonu
kb	: Yaşı saptanamayanlar
Kç	: Çetmi Melanjı
KD	: Kuzey Doğu
KKD	: Kuzey Kuzey Doğu
Kp	: Pınar Formasyonu
md.	: Madde
MS	: Milâttan sonra
Mzt	: Tozlu Formasyonu
Mzs	: Sarıkız Mermeri
Nşr. / nşr.	: Neşreden
Nma	: Aliğa Formasyonu

Nmb	: Bozdivlit Volkaniti
Nmba	: Ballıca Formasyonu
Nmi	: İlyasbaşı Formasyonu
Nmk	: Küçükkuyu Formasyonu
Nmş	: Şapcı Volkaniti
Nmy	: Yürekli Dasiti
NplQb	: Bayramiç Formasyonu
ör.	: Örnek
Qal	: Alüvyon
Qym	: Yamaç Molozu
p	: Korelasyon katsayısı
Pb	: Permien Yaşlı Kireçtaşı Blokları
PgoNh	: Hallaçlar Volkanitleri
PgoNg	: Oligosen-Miyosen Granitoidleri
PgoNk	: Kozak Granitoidi
Pk	: Permien
Pk, kb	: Karakaya Kompleksi İçerisindeki Kireçtaşı Blokları
Pzç	: Çamlık Metagranodiyoriti
Pzks	: Sazak Formasyonu
Pzkt	: Torasan Formasyonu
r	: Serbestlik derecesi
S	: Sayı
Sad. / sad.	: Sadeleştirilen
Sn	: Saniye
TRb	: Balya Formasyonu
TRf	: Fındıklı Formasyonu
TRfa	: Altınoluk mermer üyesi
TRfb	: Babadağ mermer üyesi
TRka	: Arkozik Kumtaşı
TRkc	: Camialan Formasyonu
TRkç	: Çal Formasyonu
TRkk	: Karakaya Formasyonu
TRkm	: Mehmetalan Formasyonu
Tsh. / tsh.	: Tashih eden
t.y.	: Tarih yok

vb.	: Ve benzeri
v.d.	: Ve diğ�erleri,
y.y.	: Yayıncı bilinmiyor
1 B	: Bir boyutlu
2 B	: 2 Boyutlu
3 B	: 3 Boyutlu
cm	: Santimetre
m	: Metre
g/cm ³	: gram/santimetreküp
�	: Derece



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yeraltı yapısının doğru biçimde modellenmesi, mühendislik jeolojisi, mühendislik jeofiziği, hidrojeoloji, deprem tehlikesi değerlendirmeleri, doğal kaynak araştırmaları ve çevresel planlama açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle alüvyal çöküntü alanlarında, taban kaya topoğrafyasının (bedrock topography) belirlenmesi; zemin sınıflandırması, yeraltı suyu akış sistemlerinin anlaşılması, inşaat ve altyapı güvenliğinin sağlanması ve jeodinamik süreçlerin aydınlatılması için vazgeçilmezdir (Reynolds, 2011; Telford vd., 1990).

Yeraltı taban morfolojisinin belirlenmesinde çeşitli jeofizik yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında sismik yansıma ve kırılma, yüzey dalgası analizleri (MASW, ReMi), manyetik, elektrik özdirenç, elektromanyetik (EM ve TEM), yer radarı (GPR) ve gravite-mikrogravite yöntemleri sayılabilir (Parasnis, 1997; Kearey vd., 2002; Sharma, 1997). Her bir yöntem, yeraltı ortamının farklı fiziksel özelliklerine (örneğin yoğunluk, özdirenç, elastisite, manyetik duyarlılık) duyarlıdır. Sismik yöntemler, taban kaya derinliğini belirlemede en doğrudan yaklaşımlardan biridir ve yüksek çözünürlüklü derinlik modelleri üretir. Ancak, uygulama maliyetinin yüksek oluşu ve alüvyonlu-heterojen ortamlarda veri kalitesinin düşmesi gibi dezavantajlara sahiptir (Yılmaz, 2001). Elektromanyetik yöntemler, iletken ortamların tanımlanmasında etkilidir ancak derinlik çözünürlüğü sınırlıdır (Reynolds, 2011). Manyetik yöntemler, özellikle volkanik ve kristalin kayaların dağılımını belirlemede kullanılır; fakat çökel ortamların altında yer alan sönük manyetik kontrastlarda sınırlı bilgi sunar (Clark, 1997). Bu nedenle, elektrik özdirenç (Düşey Elektrik Sondaj - DES) ve gravite/mikrogravite yöntemleri hem uygulama kolaylığı hem de tabaka kalınlıklarını ve anakaya yüzeyini belirlemedeki başarısı nedeniyle en yaygın kullanılan teknikler haline gelmiştir (Loke, 2004; Nabighian vd., 2005). DES yöntemi, farklı litolojik birimlerin özdirenç farklarını ölçerek zemin-anakaya sınırını tanımlarken; mikrogravite yöntemi, yoğunluk farklılıklarına bağlı yerçekimi değişimlerini değerlendirerek anakaya yüzeyinin sürekliliğini ortaya koyar. İki yöntemin birlikte uygulanması, elde edilen modelin güvenilirliğini artırmakta ve her birinin sınırlılığını tamamlayıcı biçimde gidermektedir (Soupios vd., 2007; Sharma ve Baranwal, 2005).

Taban kaya topoğrafyası, bir havzanın jeolojik gelişimi, zemin davranışı ve yeraltı suyu akışı üzerinde doğrudan etkilidir. Özellikle aktif tektonik bölgelerde, anakaya yüzeyinin şekli, faylanma davranışını, deprem dalga yayılımını ve zemin genliklerini belirleyen önemli bir parametredir (Aydan ve Ulusay, 2013). Bunun yanında, taban kaya topoğrafyasının belirlenmesi; zemin sıvılaşma riski, yeraltı suyu rezervuarları ve mühendislik projelerinde temel tasarımı gibi uygulamalı alanlarda da kritik rol oynar (Fetter, 2001). Türkiye'nin aktif tektonik alanları içerisinde yer alan Batı Anadolu çöküntü havzaları, karmaşık yapısal özellikleri ve kalın alüvyon dolgu birimleri nedeniyle bu tür jeofizik araştırmalara büyük ihtiyaç duyulan alanlardır. Ancak, yüksek çözünürlüklü verilerin azlığı ve mevcut çalışmaların çoğunun yüzey jeolojisiyle sınırlı olması, bu havzalarda anakaya topoğrafyasının hâlâ tam olarak bilinmemesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, çoklu jeofizik yöntemlerin entegre edilmesi hem bilimsel hem de mühendislik açısından önemli bir gerekliliktir.

Balıkesir–Edremit Havzası, Batı Anadolu'nun aktif tektonik kuşağında, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin güney segmentine paralel olarak gelişmiş genç bir çöküntü havzasıdır. Havza, KD–GB doğrultulu normal fay sistemleriyle sınırlanmış olup, bu faylar hem bölgenin çöküntü karakterini hem de mevcut jeotermal sistemleri belirlemektedir (Yaltırak, 2003; Bozkurt, 2001). Havzada Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, Neojen birimleri üzerine aşıl uyumsuzlukla gelmekte ve yer yer 100–200 m kalınlığa ulaşmaktadır (Şimşek, 2003). Bölge, jeotermal kaynak potansiyeli açısından Türkiye'nin öne çıkan alanlarından biridir. Sıcak su kaynakları, fay hatları boyunca dolaşan derin kökenli termal akışkanlarla ilişkilidir (Mertoğlu vd., 2015). Ancak bu sistemlerin doğru modellenebilmesi için, havza tabanının morfolojisinin ve geçirimsiz anakaya sınırının doğru biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, Edremit Havzası hızla gelişen yerleşim alanlarına ve yoğun turizm etkinliklerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu durum, zemin koşullarının güvenilir şekilde belirlenmesini, olası deprem etkilerine karşı mikrobölgeleme çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bölgedeki aktif fay sistemleri, anakaya yüzeyinin kısa mesafelerde dahi ani derinlik değişimlerine uğradığını göstermekte; bu da yerel zemin davranışlarının heterojenliğini artırmaktadır (Emre vd., 2018).

1.2. Önceki Çalışmalar

Tez konusu ile ilgili olarak, daha önceden yapılmış olan araştırmalardan bazıları özetler halinde verilmiştir.

Ibrahim ve Hinze (1972), önceden buzul etkisinde kalmış olan ortabatı bölgesinde, anakaya oluşumları genellikle üzerlerini örten buzul tortullarından daha yoğundur. Bu nedenle, gravite anomalileri ile anakaya topoğrafyası arasında doğrudan bir ilişki vardır. Buzul tortulları ile anakaya arasındaki yoğunluk farkı arttıkça, gravite anomalileri anakaya yapılandırmasını haritalamak için kullanılabilir. Çünkü bu anomaliler, jeolojik kesitte başka yerlerde ortaya çıkan gravite anomalilerinden izole edilebilir. Anakaya topoğrafyası gravite anomalilerini izole etme yöntemi, sondaj verileriyle elde edilen bilinen anakaya yükseltileri temel alınarak önerilmektedir. Bölgesel bir gravite anomali haritası, tüm sondaj sahalarında gözlemlenen gravite anomalilerinden bilinen anakaya topoğrafyasının neden olduğu aşırı yerçekimsel etki çıkarılarak hazırlanır. Bu bölgesel gravite anomali haritası, gözlemlenen gravite haritasından çıkarılarak anakaya topoğrafyasını yansıtan bir kalıntı (rezidüel) anomali haritası elde edilir. Anakaya yapılandırması bu haritadan doğrudan hesaplanabilir. Bu anakaya topoğrafyası anomalilerini izole etme yöntemi, Kalamazoo County, Michigan'da yapılan bir çalışmada, çapraz kesitleme (cross-profiling) ve en küçük kareler polinomsal yaklaşım prosedürlerinden daha üstün bulunmuştur. Bu ilçeye ait anakaya topoğrafyası haritası, gravite-jeoloji yöntemi ile belirlenmiş olup, karmaşık bir anakaya topoğrafyası ve drenaj sistemini ortaya koymuştur.

Özalaybey vd. (2011), Türkiye'nin İzmit Körfezi bölgesindeki üç boyutlu havza yapıları ve saha rezonans frekansları için 239 tek istasyon mikrotremor ölçümü ve 405 noktada gerçekleştirilen gravite ölçümlerine dayalı olarak jeofizik çalışmalarla araştırılmıştır. Mikrotremorların yatay/düşey spektral oranlarındaki (HVSr) baskın pik kullanılarak İzmit Körfezi'nin temel rezonans frekansı haritası oluşturulmuştur. HVSr analizleri; yüzey jeolojisine ve Körfez'deki üç havzanın mekânsal uzanımına bağlı olarak tek tepeli, çift tepeli, geniş tepeli veya tepesiz karakterde HVSr eğrilerinin geliştiğini ortaya koymaktadır. İzmit, Gölcük ve Derince havzalarının en derin kesimlerinde temel rezonans frekansları ağırlıklı olarak 0.24–0.30 Hz aralığında olup, deprem güvenli yapı tasarımında bu frekansların, üst mod frekanslarıyla birlikte, dikkate alınması gerekmektedir. İzmit Havzası'nın üç boyutlu gravimetrik temel kaya derinliği modeli, havzanın asimetrik bir geometrik yapıya sahip olduğunu ve en derin bölümünün Kuzey Anadolu Fayı'nın yüzey izine karşılık geldiğini göstermektedir. Havzanın kuzey omuzu Kocaeli Penepleni yönünde düşük eğimli iken, güney omuzu Samanlı Dağları boyunca

oldukça dik bir morfoloji sergilemektedir. İzmit Körfezi'nde temel rezonans frekansları ile gravite verileri ve kayma dalgası hızlarından elde edilen sediman kalınlıkları arasında bir güç yasası ilişkisi türetilmiş; bu ilişki Gölcük ve Derince havzalarının temel kaya derinliklerinin tahmininde kullanılmıştır. Buna göre maksimum havza derinliği, İzmit Havzası için yaklaşık 1400 m, Gölcük ve Derince havzaları için ise yaklaşık 800 m olarak belirlenmiştir. Ek olarak, CMP istasyonunda kaydedilen yerel bir depremden elde edilen dönüştürülmüş Sp fazı analiz edilerek gravimetrik ve mikrotremor yöntemlerinden elde edilen sediman kalınlığı tahminleri doğrulanmıştır. Bu hesaplama, her iki yöntemin sonuçlarıyla yüksek oranda uyumludur. Genel olarak bulgular, İzmit Körfezi'ndeki havzaların çok kalın ve düşük kayma dalgası hızlarına sahip sedimanter bir birimle örtülü olduğunu; bu birimin altında sert temel kayanın bulunması nedeniyle belirgin bir empedans kontrastının geliştiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçların, Marmara Bölgesi'nde meydana gelebilecek büyük depremler öncesinde İzmit Körfezi'nin sismik tehlikesinin nicel ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Štěpančiková vd. (2011), Bohemya Masifi'ndeki Sudetik Kenar Fayı zonu boyunca gerçekleştirilen iki ayrı jeofizik araştırmanın sonuçlarını sunmaktadır. Bu fay zonu, Orta Avrupa'daki en önemli tektonik yapılardan birini temsil etmektedir. İlk ön araştırma, ana fayın kesin konumunu belirlemek amacıyla Kamenička ve Bílá Voda'da Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki profilde de, yüksek özdirençli kristalin kayalarla düşük özdirençli tortul birikintileri birbirinden ayıran bir özdirenç gradyanı gözlemlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda, paleosismik hendek kazıları için alanlar seçilmiştir. Bu hendek çalışmaları, araştırılan yapılar ve litolojiler hakkında ayrıntılı bilgiler sağlamıştır. İkinci ve daha kapsamlı araştırma ise, daha önce tespit edilen özellikleri hem yatayda hem de derinlik boyunca genişletmek amacıyla elektrik özdirenç tomografisi ile gravite ölçümlerini birlikte içermektedir. Fay, daha homojen litolojilerde yapılan profillerde bile belirgin bir özdirenç gradyanı ile kendini göstermektedir. En yoğun araştırmalar Bílá Voda'da yapılmış, burada hendeğin tabanında oldukça ayrıntılı ERT çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, yaklaşık olarak haritalanan jeolojik yapıların çok daha derinlere kadar izlenmesi ve tortul tabaka kalınlıklarının değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Ayrıca, hendeğe bitişik alanda bir gravite çalışması da yapılmıştır. Fay zonunun yerçekimi etkileri modellenerek, fayın yaklaşık 75° kuzeydoğuya eğimli olduğu ve Miyosen birimleri ile anakaya arasındaki düşey atımın yaklaşık 200 m olduğu ortaya konmuştur. Sunulan çalışma, hendek kazısı ile ayrılmış iki aşamalı jeofizik araştırmanın değerini ortaya koymuştur. Bu

metodolojinin, fay kayma hızının düşük olduğu benzer levha içi ortamlarda aktif tektoniklerin incelenmesi için özellikle uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Dhaoui vd. (2014), Yerçekimi verileri, Tunus'un güneyinde yer alan Ghadames Havzası'nın kuzey sınırının yapısal gelişimini incelemek amacıyla değerlendirilmiştir. Doğu Cezayir ve kuzeybatı Libya'ya da uzanan Ghadames Havzası, Kuzey Afrika'nın en verimli hidrokarbon üretim bölgelerinden biridir ve en büyük petrol sahalarının bir kısmı havzanın kuzey sınırı boyunca konumlanmıştır. Havza, Erken Paleozoik'ten Erken Senozoyik'e uzanan bir dizi tektonik olay sonucunda şekillenmiş olup, bu süreçler güney Tunus'ta karmaşık ve henüz tam olarak aydınlatılmamış bir temel kaya yapısının oluşmasına neden olmuştur. Polinom trend yüzeyleri kullanılarak oluşturulan artık yerçekimi anomalisi haritası ile yatay ve düşey türev anomalisi haritaları, kuzey sınırının kuzeydoğu-güneybatı ve doğu-batı doğrultularında gelişen belirgin maksimum ve minimum anomaliler içerdiğini göstermektedir. Yerçekimi türev haritaları, temel kaya yapıların yaklaşık 10–20 km genişliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sondaj verileri, bir sismik yansıma kesiti ve uzaktan algılama verileriyle kısıtlanan üç boyutlu (3B) Euler dekonvolüsyonu ve 3B ileri modelleme sonuçları, bu yapı genişliklerini doğrulamakta ve havza derinliğinin 1.5–5 km arasında değiştiğini göstermektedir. Daha derin birimlerin özellikle sınırın güney kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Sismik yansıma ve sondaj verilerinin desteğiyle gerçekleştirilen yerçekimi analizleri, temel kaya topoğrafyasının Pan-Afrikan orojenezi ve/veya Geç Mezozoik riftleşme süreçleri sırasında şekillenmiş olabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, bu değerlendirmeyi kesinleştirmek için ilave sismik yansıma profillerine ve sondaj verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Havza boyunca çok sayıda temel kaya yapısının tespit edilmesi, Ghadames Havzası'nın kuzey sınırında yeni potansiyel hidrokarbon kapanlarının varlığına işaret etmektedir.

Helaly (2019), Mısır'ın Doğu Çölü'nde yer alan Wadi Allaqi bölgesinde, temel kaya (anakaya) yüzeyinin yapılandırılması, yeraltı suyu potansiyelinin değerlendirilmesi ve yeraltı suyu sondajı için en uygun yerlerin belirlenmesi amacıyla düşey elektrik öz direnç ve bouguer gravite verileri analiz edilmiştir. Elektrik öz direnç yorumları, anakaya yüzeyinin yaklaşık 5 ila 60 m arasında değişen derinliklerde bulunduğunu ve yeraltı suyu birikimi ile sondaj için en uygun alanlar olarak değerlendirilen üç ana çukur bölgenin mevcut olduğunu göstermiştir. Gravite anomalilerinin büyüklüğü, büyük ölçüde anakayanın derinliği ve üzerindeki örtü birimi ile arasındaki yoğunluk farkı tarafından kontrol edilmektedir. Farklı yoğunluk farkları ($0.1-1.0 \text{ g/cm}^3$) kullanılarak çeşitli derinlik tahminleri yapılmış, 0.2 g/cm^3 yoğunluk farkı ile elde edilen sonuçların öz direnç

verileriyle en iyi uyumu sağladığı belirlenmiştir. Son olarak, bu optimum yoğunluk farkı değeri temel alınarak anakaya topoğrafyasının yeniden haritalanması gerçekleştirilmiştir.

Nusalam vd. (2019), Kuala Lumpur, Malezya’da yer alan Maluri Park referans seviyesinde anakaya topoğrafyasını belirlemeye yönelik bir mikrogravite çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, coğrafya ve jeofizik etütleri için yüzeye yakın jeolojik yapının yanı sıra toprak ve arazi örtüsü dağılımını haritalamaktır. Maluri Park’taki 1. ve 2. çalışma alanları için artık (residual) anomali verilerinden iki farklı kesit modellemesi yapılarak Maluri Bouguer Anomali modeli oluşturulmuştur. Elde edilen 2B mikrogravite modelleri, farklı derinliklerdeki yeraltı jeolojik yapısını ortaya koyarken kaya türleri arasındaki yoğunluk farklarına bağlı karakteristik değişimleri gösteren kontur haritalarını üretmiştir. Ayrıca, sol ve sağ yatay uzaklığın 50 m ve derinliğin 60 m olarak varsayıldığı sentetik bir model hazırlanmıştır. Modelleme sonuçları, her iki çalışma alanında da toprak ve kaya türlerinin yüzey toprağı ($1.1\text{--}1.92\text{ g/cm}^3$), toprak (1.8 g/cm^3), kil (1.63 g/cm^3), çakıl (1.7 g/cm^3), kum (2.0 g/cm^3), şeyl (2.4 g/cm^3), kumtaşı (2.76 g/cm^3) ve kireçtaşından (2.9 g/cm^3) oluştuğunu doğrulamıştır. İki çalışma alanı için gerçekleştirilen 2B gravite modellemesi, gözlenen mikrogravite verileri ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

Özdağ vd. (2020), deprem durumunda oluşabilecek hasarı azaltmak için, sismik açıdan aktif bölgelerde ve zayıf zemin üzerinde planlanan yeni yapılar için zemin–mühendislik kaya modeli oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Ancak bazı durumlarda, mühendislik kaya derinliğinin fazla olması sebebiyle bu modellerin hazırlanması ekonomik açıdan güç olabilmektedir. Bu çalışmada, düşük maliyetli jeofizik çalışmaların sağlayabileceği önemli sonuçları göstermek amacıyla, İç İzmir Körfezi’nin kuzeyinde yer alan Menemen Ovası ve Gediz Deltası, yeni gelişen sanayi bölgeleri olarak çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu kapsamda, baskın titreşim periyodunun elde edilmesi amacıyla mikrotremor ölçümleri ve zeminde VS profilini ile mühendislik kayasını belirlemek için ESPAC yöntemi ile birlikte mikrogravite çalışmaları tüm çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Ardından, bu yöntemlerden elde edilen tüm sonuçlar karşılaştırılmış ve daha sonra DES verileri ile birleştirilmiştir. Sonuç olarak, 2.5B bir model elde etmek için zemin–mühendislik kaya modelleri oluşturulmuş ve Bornova Filizi’nin (Bornova Flysch) alanın doğusuna doğru uzanan KB–GD doğrultulu bir hat üzerinde yüzeye kadar ulaştığı gözlenmiştir. Bu durum, uygulanan jeofizik yöntemlerin düşük maliyetli kaya modeli elde edilmesinde doğru yorumlamayı sağlayan, son derece başarılı ve uygun teknikler olduğunu doğrulamaktadır.

Florio (2020), tortul havzalar altında gömülü temel kayaç (basement) geometrisinin gravite verilerinden belirlenmesi sorununa yönelik farklı yaklaşımları incelemekte ve yakın zamanda önerilmiş bir yöntemin iyi kısıtlanmış gerçek bir vaka üzerinde uygulanabilirliğini değerlendirmektedir. Çalışmada, çeşitli teknikler kullanılarak elde edilen modeller karşılaştırılmaktadır. Temel kaya derinliğini tahmin etmeye yönelik, farklı prensiplere dayanan birçok gravite ters çözüm yöntemi önerilmiştir. Bilindiği üzere, gravite verilerinin yorumlanması, belirsiz bir problemin çözümünü kısıtlamak amacıyla kaynağa ilişkin belirli varsayımlar yapılmasını gerektirmektedir. Farklı yaklaşımlar, derinlikte yoğunluk kontrastı dağılımı, çalışma alanı boyunca taban kaya derinliğini tanımlayan bir grid ya da birkaç noktasal derinlik tahmini gibi farklı türde çözümler öngörmektedir. Her yaklaşımın kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu bağlamda, yakın zamanda önerilen İteratif Yeniden Ölçekleme Yöntemi'ne (ITRESC) özel bir önem verilmiştir. Bu yöntemde, başlangıçta bir yoğunluk fonksiyonu varsayımına gerek yoktur; yoğunluk, veri odaklı bir süreçle tahmin edilmekte ve ardından taban kaya derinliği gridinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Teknik, kontrol noktalarında (örneğin sondajlar veya diğer jeofizik verilerin yorumları) bilinen taban kaya derinliği ile artık gravite anomalisi değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren derinlik–gravite bağıntısına dayanmaktadır. ITRESC yönteminin önemli bir özelliği, sondaj kontrol noktalarının yerel olarak değil küresel bir yaklaşımla kullanılması ve böylece modelin tüm kısımlarına kısıtlama sağlamasıdır. Bu yenilikçi yöntemin temel özellikleri, Yucca Flat Havzası (Nevada) gravite anomalilerine uygulanarak gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önceki gravite yorumları ile diğer jeolojik ve jeofizik verilerin işlenmesiyle elde edilen modellerle karşılaştırılmıştır.

Uluğtekin vd. (2022), gömülü jeolojik yapıların konumunu ve uzanımını belirlemek amacıyla gravite potansiyel alan verilerinin değerlendirilmesinde toplam yatay türev, tilt açısı, düşey türevin tilt açısı ve analitik sinyal gibi kenar belirleme yöntemleri yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle elde edilen anomalilerin yorumlanması sırasında kullanıcıların ek fiziksel parametrelere ihtiyacı bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmanın ilk aşamasında, her bir yöntemin uygulanabilirliğini ortaya koymak amacıyla kenar belirleme yöntemlerinin sonuçları sentetik modeller aracılığıyla incelenmiştir. Sentetik veri çalışmaları, gürültü seviyesindeki artışın yapı sınırlarının belirlenmesinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Yüksek gürültü oranlarında tilt açısı uygulamasından elde edilen sonuçlar, diğer uygulamalara kıyasla daha yetersiz kalmaktadır. Özellikle yüksek gürültü seviyelerinde toplam yatay türev (THD) uygulamaları en doğru yapı sınırlarını ortaya koymaktadır. Dikili, Çandarlı ve Foça

bölgelerinde 840 istasyondan toplanan veriler, Bakırçay ve Gediz grabenlerinin bulunduğu kesimde beş belirgin Bouguer gravite anomali lokalizasyonu olduğunu göstermiştir. Bu bulgulardan sonra, ilgili yöntemler saha verilerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Foça ile Menemen arasındaki alüvyal rezervuar, artık (residual) Bouguer anomali haritası ile belirlenebilmiştir; Çandarlı volkanik sokulumu ise THD ve analitik sinyal (AS) haritalarında açık bir şekilde görülmektedir. Foça volkanikleri ile Dumanlıdağ volkanik merkezi ise tilt açısı (TA) haritasında tespit edilmiştir. Bölgeye ait tüm bu çıktılar, jeolojik literatür ışığında yorumlanmıştır. Son olarak, elde edilen sonuçlar üç boyutlu temel kaya (bedrock) topoğrafyası ile birleştirilerek değerlendirilmiştir. Üç boyutlu temel kaya ters çözüm sonuçları, Çandarlı bölgesindeki volkanik sokulumun bölgenin güncel topoğrafik şeklinde belirleyici bir etken olduğunu açıkça göstermektedir. Bu durum aynı zamanda Bakırçay Grabeninin tavan bloğuna ait yüzeyin ve eğim değişimlerinin tanımlanmasına katkı sağlamaktadır.

Panthi vd. (2023), temel kaya topoğrafyasının belirlenmesi, sığ yeraltı suyu haritalaması açısından kritik bir öneme sahiptir; çünkü temel kaya yüzeyi, pekişmemiş akifer sisteminin alt sınırını oluşturmakta ve kalın yüzey çökelleriyle örtülü olduğunda haritalanması güçleşmektedir. İnvaziv olmayan jeofizik yöntemler, tek bir noktada temel kaya derinliğinin belirlenmesi veya birden fazla ölçüm, sondaj verisi, yüzlek gözlemleri ve temel kayanın yerel kırılğan-sünek yapısına ilişkin bilgilerden yararlanılarak temel kaya topoğrafyasının ortaya konması için uygun araçlardır. Bu çalışmada, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Rhode Island eyaletinin güney kıyısı için mevcut geniş litolojik veri çeşitliliğinden yararlanılarak yüksek çözünürlüklü bir temel kaya topoğrafyası haritası geliştirilmiştir. Ardından, Yatay-Düşey Spektral Oran (HVSr) sismik yöntemi kullanılarak rezonans frekansı ile temel kaya derinliği arasında bir güç yasası regresyon modeli oluşturulmuş ve bu ilişkiyi iyileştirmek amacıyla çeşitli istatistiksel yaklaşımlar uygulanmıştır. Dünyadaki diğer eski buzul kökenli bölgelerde olduğu gibi çalışma alanındaki yüzey çökelleri buzul eriyik malzemesi ve till birimlerinden oluşmaktadır. HVSr yönteminin tahmin performansının, buzul eriyik çökellerinde, till ile karışık eriyik çökellere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında, HVSr tekniğinin hem iç kesimlerde hem de kıyı akiferlerinde yeraltı suyu araştırmalarında elektrik öz direnç profillerinin yorumlanmasına katkısı vurgulanmıştır. Sayısal sonuçlar sahaya özgü olmakla birlikte, ortaya konan yöntem ve elde edilen bulgular, serbest akifer sistemlerine genellenebilir niteliktedir.

Büyüksaraç vd (2023), yerel zemin etkisinin, depremler sırasında yapı hasarlarında önemli bir rol oynadığı iyi bilinen bir gerçektir. Zemin-yapı etkileşiminin doğru şekilde

tanımlanabilmesi için zemindeki sıkı ve gevşek tabakaların geometrisinin ayrıntılı biçimde ortaya konması gerekmektedir. Ayrıca, yerel zemin koşullarına bağlı empedans kontrastı, mühendislik derinliği olarak kabul edilen ilk 30 m'nin çok daha altına inebilmektedir; bu durumda V_{s30} parametresi geçerliliğini yitirmektedir. Bu nedenle, mühendislik kaya temelinin ve sismik kaya temelinin konumu büyük önem taşımaktadır. Kayma dalgası hızının derinlikle değişimi, sismik zemin davranışının değerlendirilmesinde temel bir parametredir. Buna ek olarak, yüzeye yakın düşük yoğunluklu birimler ile daha yüksek yoğunluklu temel kaya birimlerinin ayrımının yapılması, gravite yöntemiyle oldukça kolaydır. Bu çalışmada, kalın alüvyon birikimi ve sınılaşma sorunları ile bilinen Çanakkale zeminlerinde temel kaya/sismik kaya seviyeleri, bu iki yöntem birlikte kullanılarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, 100 noktada mikrogravite ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen anomaliler üç boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma sonucunda, bölgedeki gevşek havza biriminin kalınlığının yaklaşık 50–300 m aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, 146 noktada hız ölçer (velosite sismometre) kullanılarak ortam titreşimi (mikrotremor) kayıtları alınmış ve gözlenen eliptisite eğrisinin ters çözümü ile S-dalgası hızı (V_s) profilleri elde edilmiştir. Ek olarak, havzanın hız–derinlik değişim yapısı; havzayı kuzey–güney (K–G) ve doğu–batı (D–B) doğrultularında kesen iki profil üzerinde oluşturulan 2B gravite modelinden çıkarılan V_s hızlarına bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu profiller boyunca temel rezonans frekanslarının, havzanın derin kesimlerinde 0.8–1.3 Hz, sık kesimlerinde ise 1.5–11.0 Hz aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Lyrio ve Li (2023), Tortul havzaların taban kaya (basement) yapılarının haritalanmasına yönelik bütünlük bir yöntem sunmaktayız. Bu yöntem, yüzey gravite verilerinin, sismik görüntülemenin ve sondaj logları bilgilerinin bir araya getirilmesine dayanmaktadır. Yöntemin temelini, yüzey gravite verilerinden taban kaya derinliği ve geometrisini oluşturmak için kullanılan doğrusal olmayan bir ters çözüm algoritması oluşturmaktadır. Primer–logaritmik bariyer yöntemi kullanılarak sondaj verilerinden elde edilen derinlik kısıtları ters çözüme dâhil edilmiştir. Taban kaya derinliği, sismik yorumlama ile görüntülenmiş ve ters çözümde referans model olarak kullanılmıştır. Böylece, gravite ters çözümü, yüzey gravite verilerini ve sondaj bilgilerini sağlarken aynı zamanda sismik girdiye en yakın taban kaya yapısını ortaya koymaktadır. Bu yeni metodolojiyi, Brezilya'daki Recôncavo Havzası'nın taban kaya morfolojisini ortaya çıkarmak için uyguladık. Recôncavo, fay kontrollü, karasal bir olgun rift havzası olup, petrol sahalarının dağılımı ile tektonik çerçeve arasında güçlü bir ilişki göstermektedir. Bölgede sismik görüntüleme belirsizlik içermekte olup, önerdiğimiz yaklaşım taban kaya

tanımını iyileştirmiş ve çalışma alanındaki potansiyel araştırma hedeflerini belirginleştirmiştir.

Altınoğlu (2023), Ege Grabeni Sistemi, Batı Anadolu’da yer alan karmaşık bir tektonik yapıdır ve Denizli Grabeni, bu sistemin jeotermal kaynaklar, maden yatakları ve traverten alanları bakımından zengin önemli bir üyesidir. Bu çalışmada, havzanın derinlik modelini ve yüzey altı jeolojik yapılarını belirlemek amacıyla gravite verileri analiz edilmiştir. Bouguer gravite anomalisi, Denizli Havzası’nın genel uzanımıyla uyumlu olarak KB–GD doğrultulu bir dağılım sergilemektedir. Pre-Neojen temel kayalar derinlikleri 0.1 km ile 2.3 km arasında değişmektedir. Denizli Havzası, Çürüksu Havzası ve Laodikia alt havzasından oluşmaktadır. Bu havzalar çok sayıda çöküntü içeren dalgalı bir yapıya sahiptir; en derin çöküntü bölgesi ise Pamukkale Fay Zonu’na yakın olan Çürüksu Havzası’nın kuzey kesiminde yer almaktadır. Ayrıca, yeni nesil kenar belirleme teknikleri olan yatay gradyan genliğinin tilt açısı (TAHG) ve hızlı sigmoid kenar belirleme (FSED) yöntemleri kullanılarak yeni bir gravite lineament haritası elde edilmiştir. Önerilen yeni lineament haritası, Denizli Havzası’nın KB–GD, D–B ve KD–GB doğrultulu lineamentlerden oluşan karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Havzanın ana yapısal konfigürasyonu, KB–GD uzanımlı ana faylar ile KD–GB yönelimli lineamentler tarafından kontrol edilmektedir. Havza dolgusu içerisindeki yükselim ve çöküntü alanları ile lineamentlerin kesişim bölgeleri, maden yatakları açısından umut verici olup enerji kaynağı potansiyeli taşımaktadır.

İşseven vd. (2023), Türkiye’nin kuzeybatısında yer alan Tersiyer yaşlı bir çöküntü alanı olan Güneydoğu Trakya Havzası’nın Bouguer gravite anomalileri kullanılarak basit bir yüzey altı modelinin oluşturulmasını amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında bölgede 500’ün üzerinde noktada göreceli gravite ölçüleri toplanmış, Bouguer gravite anomalilerine dönüştürülmüş ve literatürde mevcut Bouguer gravite verileriyle birleştirilmiştir. Çalışma alanı, kayalar yaşları ve yoğunlukları esas alınarak sekiz jeolojik birime ayrılmıştır. Gravite haritasından toplam 12 gravite profili çıkarılmış ve 2B yapılar kullanılarak modellenmiş, ardından modeller birleştirilerek 3B yüzey altı modeli elde edilmiştir. Gözlenen ve hesaplanan gravite verileri, yaklaşık 0.2 mGal kök-ortalama-kare (RMS) hatası ile yüksek düzeyde uyumluluk göstermektedir. Sonuçlar, havzanın yaklaşık 4000 m derinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, literatürdeki diğer çalışmalarla uyuşmamakta olup bu durum tartışılacaktır. Elde edilen model, çoklu jeolojik birimlerden oluşması nedeniyle bölgeye ait şimdiye kadarki en ayrıntılı sığ yüzey altı modelini sunmaktadır.

1.3. Amaç ve Kapsam

Büyük ve yıkıcı depremlerde oluşabilecek hasarların sınırlandırılabilmesi için, zeminlerin çalışma alanına özgü dinamik deprem yükleri altındaki davranışlarının doğru ve güvenilir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek çalışmaların en önemli aşamalarından birisi ise temel kaya üzerinde bulunan yumuşak zemin tabakalarının kalınlığının, yatay ve düşey yöndeki değişimlerinin ortaya konulmasıdır. Çünkü temel kaya ile yer yüzeyi arasındaki tabakaların geometrik ve fiziksel özellikleri depremin zemin yüzeyindeki etkisini değiştirebilir. Bütün bu olayların ayrıntılı olarak araştırılabilmesi için 2 B’li ve/veya 3B’li zemin-temel kaya modellerinin oluşturulması gerekmektedir.

Bu tezin amacı, toplanan ve derlenen jeofizik veriler ışığında, Edremit Ovası’nın temel kaya derinliğinin DES verileri ile özdirenç parametresine göre ve mikrogravite verileri ile yoğunluk parametresine göre modellenmesidir. Oluşturulan modeller deprem-zemin-yapı ilişkisi çalışmalarının temelini oluşturacak ve deprem risklerinin azaltılmasına yönelik yapılacak çalışmaların altlığını oluşturacaktır.

Bu çalışma “Edremit Ovası (Balıkesir) ve Çevresinin Yerel Zemin Etkilerinin Belirlenerek Sahaya Özel Sismik Tehlike ve Zemin Dinamik Davranış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi Projesi-123Y151” projesi kapsamında Balıkesir ili Edremit ilçesi civarına ait, I17-c3, I18-d4, J17-b2, J18-a1 1/25.000’lik paftalarının içinde bulunan bölgenin (Şekil 1) düşey elektrik sondaj ve mikrogravite yöntemleri ile taban topoğrafyasının belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. DES verileri Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü’nün 2007 yılında yapılan “Balıkesir-Çanakkale-İzmir Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi” kapsamında yapılan çalışmalardan alınmıştır. Gravite verileri ise 2024 yılında TÜBİTAK projesi kapsamında yapılan arazi çalışmalarından elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda; Edremit Ovası’na ait gravite Bouguer anomali haritası, gravite türev tabanlı anomali haritaları, 2.5 B’li zemin-anakaya modelleri, bir boyutlu ters çözüm ve yapı kesitleri oluşturulmuş, ovanın taban topoğrafyası yorumlanmıştır.

Elektrik temel, jeoelektrik yöntemlerle (örneğin, özdirenç, elektromanyetik veya indüklenmiş polarizasyon yöntemleri) belirlenen, yüzeyin altında bulunan en dirençli veya belirgin bir jeoelektrik kontrast gösteren derinlik seviyesidir. Genellikle, çökel kayaçların altındaki kristalin temel kayaçları veya yoğun derecede sertleşmiş birimi ifade eder. Mühendislik ana kayası araştırmalarında, genel olarak S-Hızı değerinin >700 m/sn sonraki seviyeler mühendislik ana kayası olarak tanımlanır. Jeoelektrik çalışmalarla

belirlenen en alt tabaka olarak tanımlanan elektrik temel, genellikle geçirimsiz veya düşük iletkenlik gösteren birimler tarafından oluşturulur.

Özetle; bu yöntemler sayesinde, yerin altında en belirgin jeoelektrik kontrastı (yani direnç ya da iletkenlik farkı) gösteren derinlik seviyesi tespit edilir. Genellikle çökel kayaçların altındaki, daha yoğun, sertleşmiş ve kristal yapıda temel kayaçlardan oluşan birim bu kontrastı sağlar. Bu nedenle, elektrik temel çoğunlukla geçirimsiz veya düşük iletkenlik gösteren katmanlardan meydana gelir. Elektrik temel, yer altı yapılarının modellenmesi, maden aramaları, yer altı suyu ve jeolojik yapıların yorumlanması gibi pek çok uygulamada önemli bir referans noktasıdır (Telford vd., 1990; Parasnis, 1997; Kearey vd., 2002).

Jeolojik ana kaya yeryüzünün altındaki (Kearey vd., 2002) en sağlam ve bozulmamış kaya kütesidir. Genellikle sedimanların, çökeltilerin veya ayrılmış kaya birimlerinin altında bulunur. Ana kaya, bir bölgenin jeolojik yapısını belirleyen temel unsurlardan biridir ve farklı kaya türlerinden oluşabilir, örneğin:

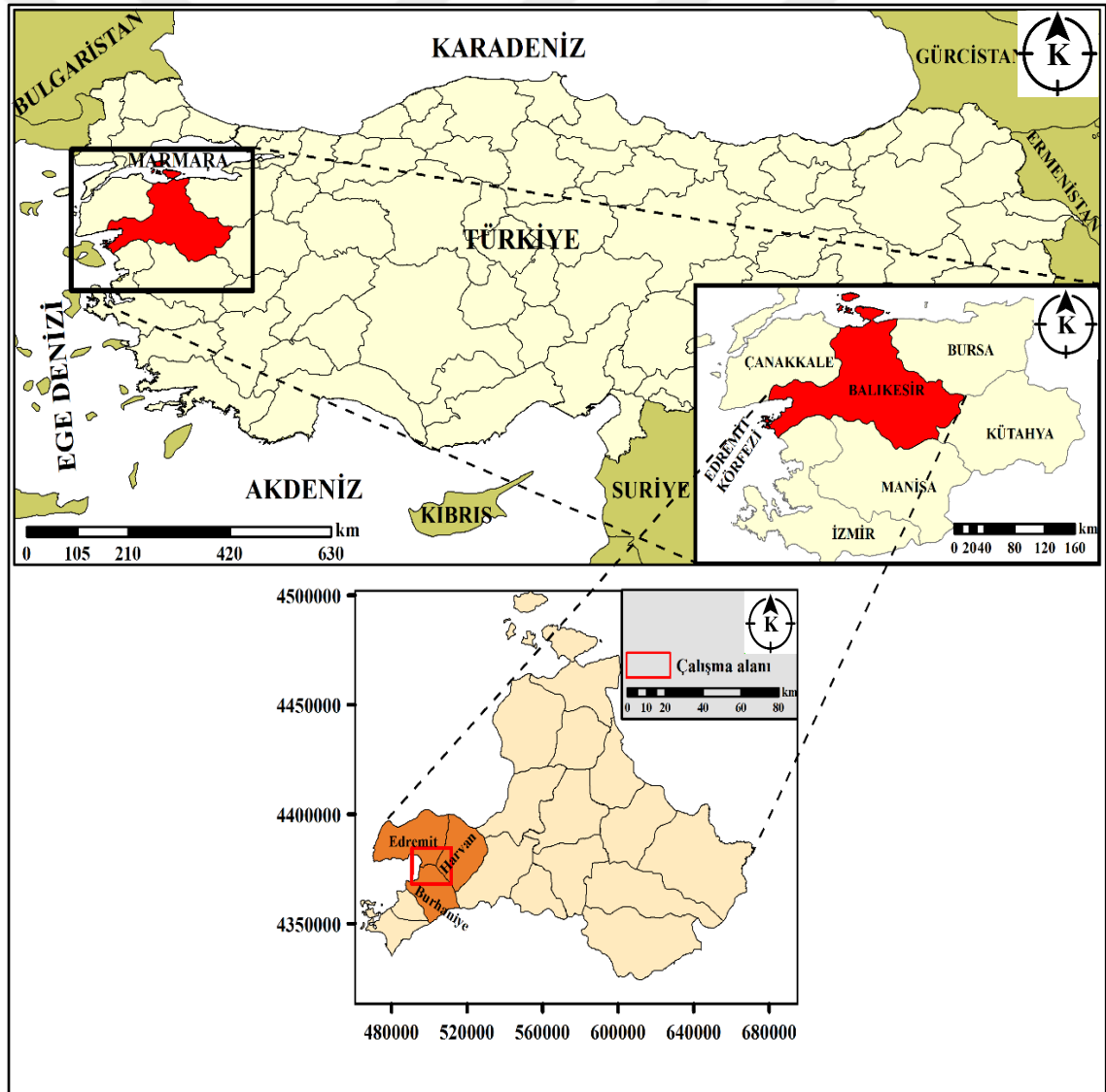
- Magmatik Kayalar (granit, bazalt)
- Metamorfik Kayalar (şist, gnays)
- Sedimanter (Tortul) Kayalar (kireçtaşı, kumtaşı)

Ana kaya, mühendislik çalışmaları, madencilik, hidrojeoloji ve jeoteknik projeleri için büyük önem taşır. Ayrıca, bir bölgenin kayaç yapısını, yer altı suyu hareketlerini ve depremselliğini etkileyen kritik bir faktördür.

2. ÇALIŞMA ALANINA AİT GENEL BİLGİLER

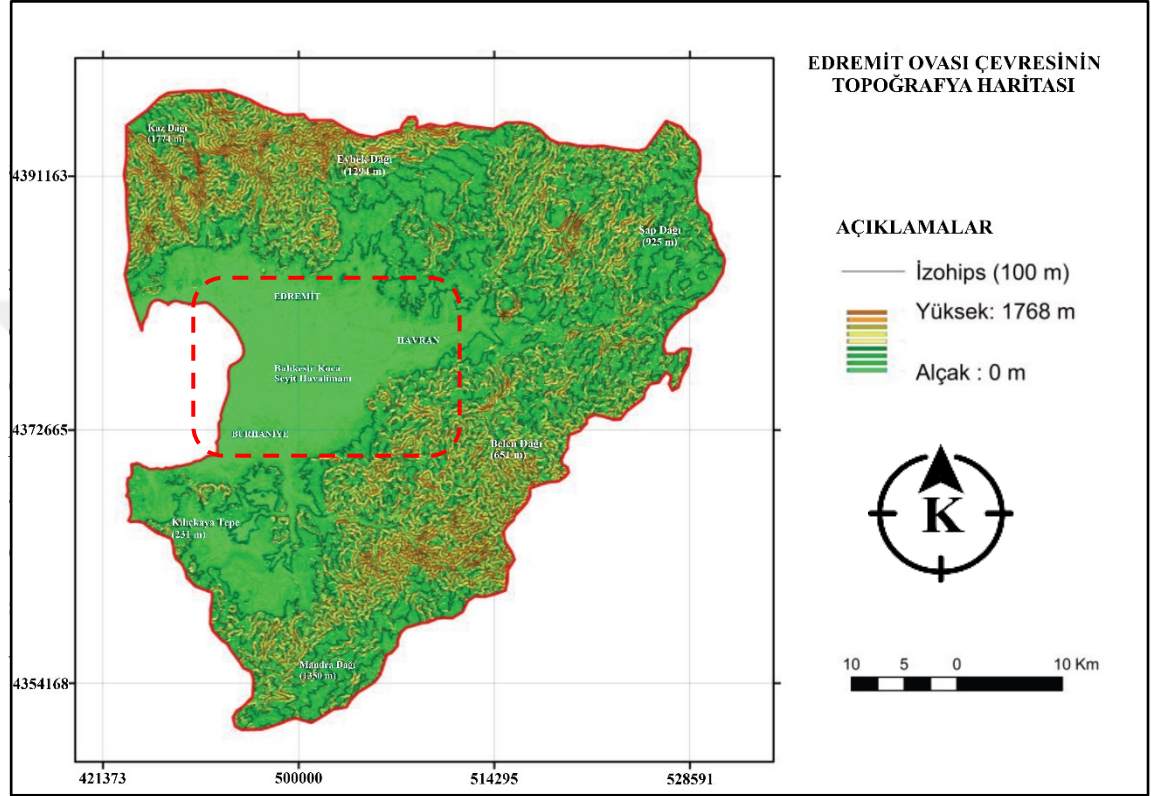
2.1. Çalışma Alanının Topografik ve Jeomorfolojik Özellikleri

Çalışma alanı (Şekil 1), Balıkesir ilinin Edremit ilçesi civarında yer almakta olup 1/25.000 ölçekli I17-c3, I18-d4, J17-b2 ve J18-a1 paftaları içerisinde konumlanmaktadır (MTA, 2002). Edremit Körfezi'nin kuzey kesiminde konumlanan bölge, kıyıdan iç kesimlere doğru yükselen belirgin bir topoğrafik kuşağa sahiptir. Kıyı ovasının ardından başlayan eğimli yamaçlar ve daha yüksekte yer alan plato/daglık alanlar, çalışmanın yürütüldüğü bölgeye karakteristik bir morfolojik çeşitlilik kazandırmaktadır. Çalışma alanı ve civarına ait topoğrafya haritası Şekil 2'de verilmiştir.



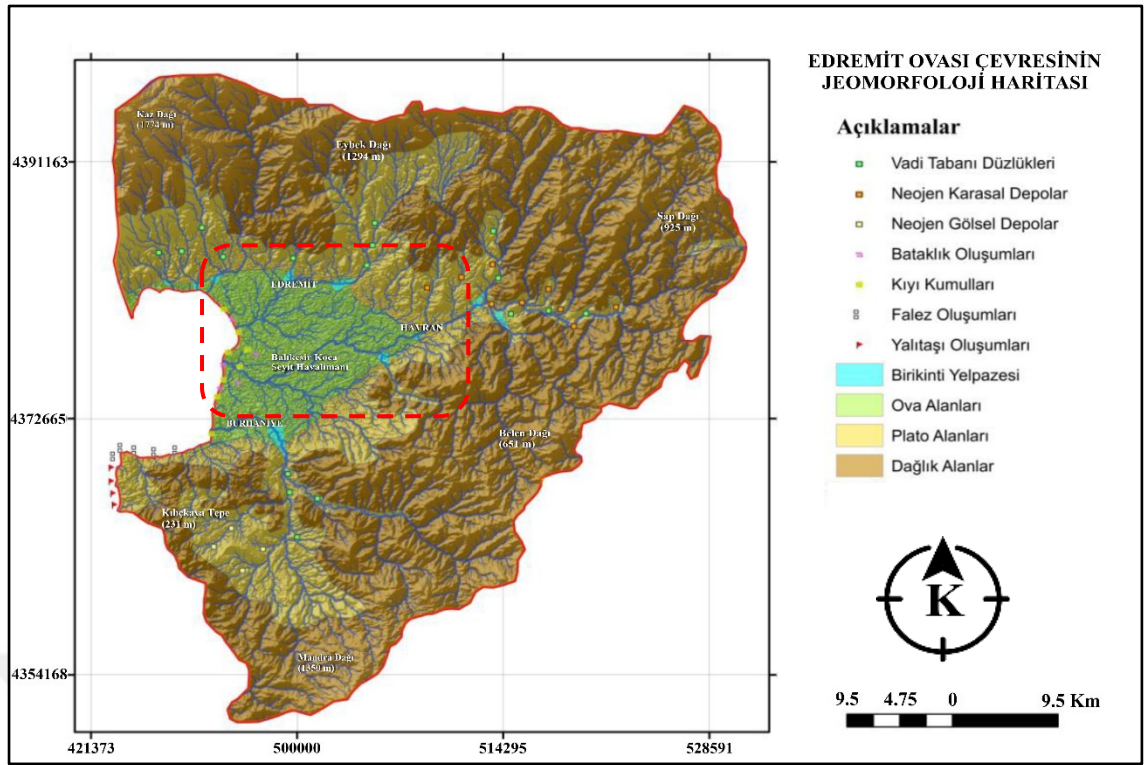
Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Bölge Akdeniz ikliminin etkisi altındadır; yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçmektedir (DMİ, 2020). Bu iklimsel koşullar, özellikle yağışa bağlı yüzey akışı, erozyon ve yamaç süreçlerinin etkinliğini artırarak arazi stabilitesi üzerinde etkili olmaktadır. Çalışma alanındaki yağış rejimi, dönemsel yüksek yağışlı periyotlarda heyelan ve yüzey akışı kaynaklı risklerin artmasına neden olabilmektedir (DSİ, 2017).



Şekil 2. Çalışma sahası ve civarına ait topoğrafya haritası (Ak ve Uncu, 2025'ten düzenlenerek alınmıştır.)

Arazi kullanımında zeytinlikler, tarım alanları, ormanlık bölgeler ve kırsal yerleşimler ağırlıklı olup, bu kullanım biçimleri hem doğal süreçler hem de mühendislik çalışmalarının planlanmasını etkileyen önemli antropojenik faktörler oluşturmaktadır (ÇŞB, 2019). Yerleşim alanlarının eğimli yamaçlarda genişlemesi, özellikle kentsel planlama ve risk yönetimi açısından dikkat gerektirmektedir. Ulaşım açısından çalışma alanına Edremit ilçe merkezinden ve çevre yerleşimlerden karayolları üzerinden kolayca erişilebilmekte olup bu durum arazi çalışmalarının verimli şekilde yürütülmesine katkı sağlamıştır.

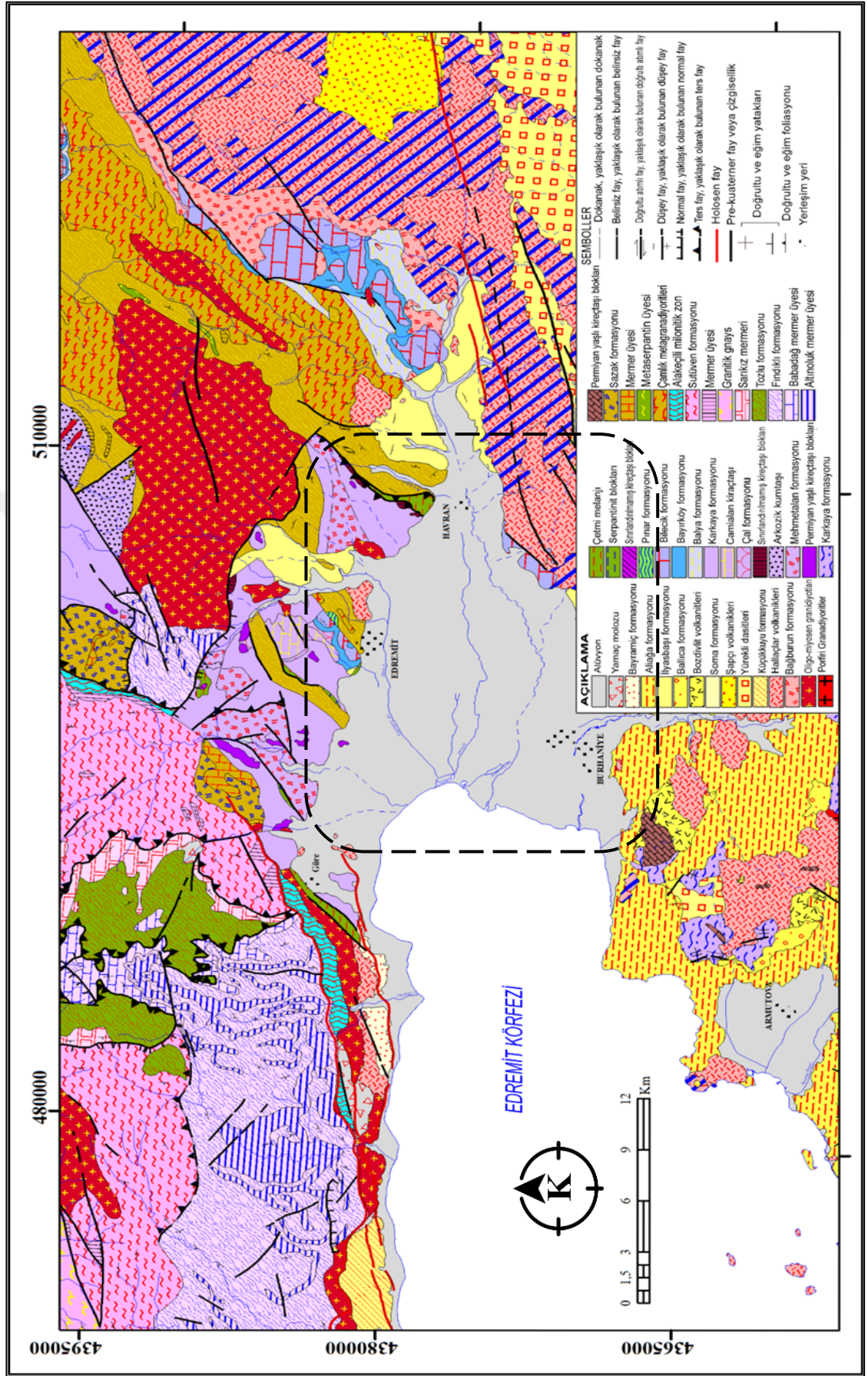


Şekil 3. Çalışma sahası ve civarına ait jeomorfoloji haritası (Ak ve Uncu, 2025'ten düzenlenerek alınmıştır.)

Genel olarak çalışma alanı; morfolojik çeşitliliği, Akdeniz ikliminin etkileri, arazi kullanım şekilleri ve erişilebilirlik özellikleri ile inceleme ve değerlendirme açısından elverişli bir niteliğe sahiptir (MGM, 2015). Bu çerçevede yapılan çalışmaların bölgesel çevre ve arazi yönetimi odaklı araştırmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

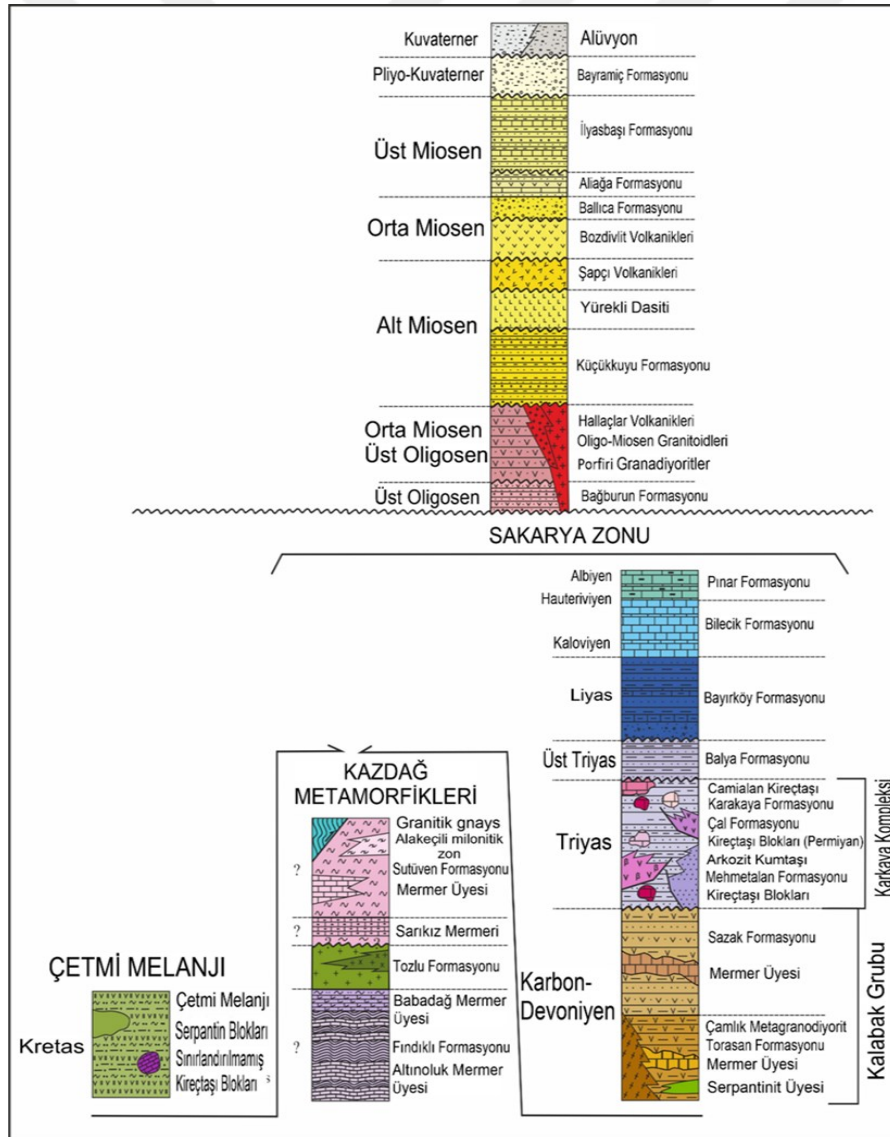
2.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Balıkesir–Edremit Havzası, Sakarya Zonu’nun batı kesiminde, Neojen yaşlı genişlemeli tektonik süreçlerin etkisiyle gelişmiş bir çöküntü alanıdır. Bölgesel temel, Sakarya Zonu’na ait Paleozoyik–Mesozoyik yaşlı metamorfik ve sedimanter birimlerden oluşur (Şekil 4). Bu temel birimler içerisinde özellikle Kazdağı Metamorfitleri, Ayvacık Gnaysları ve karbonat seviyeleriyle temsil edilen çeşitlilik dikkat çeker (Okay ve Tüysüz, 1999). Sakarya Zonu içerisinde yer alan önemli stratigrafik birimlerden biri de Erken–Orta Jura yaşlı Kalabak Grubudur. Kumtaşı–şeyl ardalanmaları, çört seviyeleri ve yer yer karbonat ara seviyelerinden oluşan bu grup, bölgedeki temel istifin önemli bir bölümünü meydana getirir (Altınar vd., 1991). Bu temel kayaç toplulukları üzerine geçişli veya açısız uyumsuzlukla yerleşen Sakarya Zonu’nun örtü birimleri, çoğunlukla Üst Kretase–Paleosen yaşlı çörtlü kireçtaşları, pelajik kalkerler ve fliş karakterli ardalanmalardan oluşur (Okay vd., 2006).



Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (Kayadibi vd., 2022)

Edremit Havzası'nın Neojen yaşlı dolgusu, temel kayaların üzerine uyumsuz olarak oturur. Bölgedeki başlıca Neojen birimleri arasında konglomera-kumtaşı ardalı Altınoluk Formasyonu, gölsel-akarsu çökelleri ile temsil edilen Havran Formasyonu ve volkanik katkılı seviyeler içeren Edremit Formasyonu yer alır (Gürer ve Yılmaz, 2002). Havza dolgusu, yer yer tüf, aglomera ve volkanit katkılarıyla zenginleşmiş olup, güncel morfolojiyi kontrol eden normal fay zonları boyunca kalın yerleşimler gösterir. Çalışma alanı ve civarının stratigrafik dikme kesitinde de verildiği gibi en genç jeolojik birimler ise Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu, taraça çökelleri ve kıyı birikimleridir (Şekil 5). Bu örtü birimleri, havzanın güncel akarsu ağları ve kıyı süreçlerinin etkisiyle oluşmuş olup, bölgedeki mühendislik jeolojisi ve hidrojeoloji çalışmalarını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 5. Çalışma alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti (ölçeksiz) (Duru vd., 2004; Duru vd., 2007a, 2007b'den değiştirilerek alınmıştır.)

2.2.1. Sakarya Zonu

2.2.1.1 Kazdağ Metamorfitleri

Güneyde Edremit Körfezi ile kuzeyde Yenice, Bayramiç arasında uzanan Kazdağları'nın merkezi kesimlerinde yüzeyleyen yüksek dereceli metamorfik kayaçların kapsadığı alanlar, Kazdağ masifini oluşturmaktadır. Kazdağ masifi, kabaca kıvrım eksenine KKD-GGB doğrultulu ve her iki yöne de dalımlı bir antiklinoryum şeklinde yüzeylenmektedir. Kazdağ metamorfitlerini oluşturan istif alttan üstte doğru Fındıklı formasyonu (TRf), Tozlu formasyonu (Mzt), Sarıkız mermeri (Mzs) ve Sütüven formasyonu (Cs) olarak ayırtlanmıştır (Duru vd., 2004). Masifin güney kesimlerinde yüzeyleyen amfibollü gnays, mermer ve yer yer amfibolit aralanmasından oluşan Fındıklı Formasyonu içerisinde Altınoluk mermer üyesi (TRfa) ve Babadağ mermer üyesi (TRfb) tanımlanmıştır. Masifin orta kesimlerinde yer alan metaperidotit ve ortoamfibolit içerikli ofiyolitik kayaçlar Tozlu formasyonu, ofiyolitler üzerindeki mermer seviyesi Sarıkız mermeri olarak tanımlanmıştır. Kazdağı Metamorfitleri'nin en üst bölümlerinde yer alan Sütüven Formasyonu; ince mermer (Csm) düzeyleri ile amfibolit mercekleri barındıran biyotit gnays, kuvars-feldispatik gnays, migmatit ve granitik gnays (Gg) litolojilerinden meydana gelmektedir. Metamorfizma öncesi dönemde, bu birimlerin büyük olasılıkla tektonostratigrafik bir düzen içerisinde istiflendiği, daha sonra aynı metamorfik evreye maruz kalarak birlikte foliyasyon geliştirdikleri anlaşılmaktadır. (Duru vd., 2004).

2.2.1.2. Fındıklı Formasyonu (TRf)

Kazdağı metamorfiklerinin en alt düzeylerinde yüzeyleyen amfibollü gnays ve mermer aralanmasından oluşan birim, ilk kez Duru vd. (2004) tarafından adlandırılmıştır. Fındıklı formasyonu Kazdağ antiklinalinin en altında ve Kazdağları'nın güney yamacında yüzeylenmektedir. Birim çalışma alanında Narlı kuzeyinden Altınoluk, Yassıçalı kuzeyi ve Edremit kuzeyinde çok geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Fındıklı formasyonu gnaysları içerisinde, yaklaşık kalınlıkları 5-150 m arasında değişen 6-7 seviyede mermer bantları yer almaktadır.

2.2.1.3. Tozlu Formasyonu (Mzt)

Metaofiyolitik kayaçlardan oluşan birim ilk kez Bingöl vd. (1973) tarafından Tozlu formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında Yassıçalı kuzeyinde, Kazdağları'nın zirvelerinde yüzeylenmektedir. Birim genel olarak metaperidotit ve

amfibolitlerden oluşmaktadır. Bu kayaçlar birbirleriyle iç içe karışık bloklar halinde bulunmakla birlikte formasyonun alt ve üst seviyelerinde amfibolitlerde belirgin bir artış görülmektedir. İstifin alt seviyelerinde siyah renkli, ince taneli ve düzgün şistoziteli amfibolitler Babadağ mermeri üzerinde yer almaktadır.

2.2.1.4. Sarıkız Mermeri (Mzs)

Mermer ve gnaystan oluşan birim, ilk kez Bingöl vd. (1973) tarafından Sarıkız formasyonu, Duru vd. (2004) tarafından da Sarıkız mermeri olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Kavurmacılar kuzey ve kuzeybatısında yüzeylemektedir. Sarıkız mermerinin ana litolojisini oluşturan mermerler orta-kalın foliyasyonlu, orta küçük kristalli monoton bir istif göstermektedir. Kazdağı'nın yükselimine paralel olarak gelişen tektonizma nedeniyle kıvrımlanma ve ekaylanmalar çok sık görülmektedir. Bu mermerler içerisinde bazı lokasyonlarda, 3-5 cm çaplı kuvarso-feldispatik gnays yumruları görülmektedir.

2.2.1.5. Sütüven Formasyonu (Cs)

Kazdağ metamorfitleerin en üst seviyesinde bulunan gnayslar Duru vd. (2004) tarafından Sütüven formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında, Altınoluk kuzeyinde, Kavurmacılar ve kuzeyinde yüzeylemektedir. Sütüven Formasyonu'nun tip kesiti, Zeytinli Köyü'nün kuzeyinde yer alan Sütüven Şelalesi çevresinde tanımlanmıştır. Formasyon; gri-koyu gri ve kahverengi tonlarda, belirgin foliyasyonlu ve bantlı kuvarso-feldispatik gnayslardan oluşmakta olup, bu gnayslar içerisinde ince mermer düzeyleri, amfibolit mercekleri ile yer yer granitik gnays ve migmatit seviyeleri gözlenmektedir.

2.2.1.6. Alakeçili Milonit Zonu (AMZ)

Kazdağ masifi etrafındaki sıyrılma fay zonlarında gelişen kataklastik kayaçlardan oluşan birim, ilk kez Okay (1987) tarafından adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Altınoluk-Kavurmacılar arasında ve Edremit kuzeybatısında yüzeylemektedir. Kazdağ Masifi çevresinde değişen kalınlıklarda izlenen bu birim, Kazdağ gnaysları ile Çetmi Melanjı arasında konumlanmış olup, milonitleşmiş gnayslar ve metaserpantinitlelerden meydana gelmektedir. Birimin taban kesimleri, gri-kahverengi tonlarda, düşük dayanımlı, kolay ayrışabilen ve ince taneli ultramilonitler ile temsil edilmektedir.

2.2.2. Kalabak Grubu

İlk kez Krushensky vd. (1980) tarafından Havran civarında Kalabak metamorfik istifi olarak adlandırılan birim, düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kayalardan oluşmaktadır. Kalabak grubu adı ilk kez Duru vd. (2012) tarafından kullanılmıştır. Bu birim önemli oranda Okay ve Göncüoğlu (2004)'nın "Alt Karakaya Kompleksi"ne karşılık gelmektedir.

2.2.2.1. Torasan Formasyonu (Pzkt)

Düşük dereceli metamorfizma ürünü olan fillat ve şist türü metamorfik kayalardan oluşan birim, ilk defa Okay (1988) tarafından Karakaya kompleksi içerisinde Torasan metamorfitleri olarak, daha sonra Duru vd. (2012) tarafından Torasan formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Kadıköy-Dereli arasında, Edremit ve çevresinde, Havran kuzeyinde çok geniş alanlarda yüzeylenmektedir.

2.2.2.2. Sazak Formasyonu (Pzks)

İlk kez Okay (1988) tarafından Karakaya Kompleksi içerisinde Torasan metamorfitlerinin Sazak üyesi olarak adlandırılmıştır. Formasyon daha sonraki çalışmalarda tanımlanan Nilüfer birimi (Okay vd., 1990) içerisinde incelenmiştir. Metatüf, metavolkanit, fillat ve şist, metabazit, mermer ve rekristalize kireçtaşıdan oluşan birim, ilk defa Duru vd. (2007a, 2007b) tarafından Sazak formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Pınarbaşı çevresinde ve kuzeydoğusunda yüzeylenmektedir.

2.2.2.3. Çamlık Metagranodiyoriti (Pzç)

Metagranodiyorit, gnays ve metariyolitten oluşan birim, Okay vd. (1990) tarafından Çamlık metagranodiyoriti olarak tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında Edremit kuzeyinde, Fazlıca, Tarlabası, Kocaseyit ve kuzeyinde de çok geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Bölgede KD-GB doğrultusunda uzanan birim, kahverenkli, orta taneli, yönlü dokulu yoğun altere metagranodiyorit, granitik gnays ve metariyolitlerden oluşmaktadır. Bölgede genç granitler ve aplitik daykları tarafından sıkça kesilmiştir. Metagranodiyoritler el örneğinde klorit ve mika minerallerinin oluşturduğu yönlü dokusuyla genç granitlerden kolayca ayırt edilebilmektedir. Bölgede Çamlık metagranodiyoriti batı sınırında Torasan formasyonu ile intrüzyonlu ve tektonik dokanaklı, doğu sınırında ise Balya formasyonu tarafından diskordans olarak örtülmektedir. Birim içerisinde Torasan formasyonuna ait anklavlar sıkça görülmektedir.

2.2.2.3. Arkozik Kumtaşı (TRka)

Karakaya kompleksinin alt seviyelerinde yer alan beyaz-bej renkli kuvars ve feldispatlı kumtaşları için adlandırılan birim, bölgede Okay vd. (1990) tarafından tanımlanan Hodul biriminin alt seviyelerinde yer alan arkozik kumtaşlarının bir bölümüne karşılık gelmektedir. Bu arkozik kumtaşları Karakaya kompleksi ile Kalabak birimi arasında yer almaktadır. Genellikle tektonik dokanaklı olan Kalabak birimi ile Karakaya kompleksi litolojileri arasında bazı bölgelerde arkozik kumtaşları hiç görülmemekle birlikte bazı lokasyonlarda 200-250 m kalınlığa erişmektedir.

2.2.2.4. Karakaya Formasyonu (TRkk)

Permo-Karbonifer kireçtaşı blokları kapsayan spilitik bazalt, çamurtaşı ve radyolaritler ile zaman zaman giriklik gösteren feldispatik kumtaşı, kuvarsit, konglomera ve silttaşı aralanmasından oluşan birim, ilk defa Bingöl vd. (1973) tarafından adlandırılmıştır. Karakaya Kompleksi'nin kireçtaşı bloklu detritik, yer yer metadetritikli ünitesi Karakaya formasyonu olarak tanımlanmıştır (Duru vd., 2004). Birim çalışma alanında Karaağaç, Pelitköy, Yabancılar, Güre güneyinde, Kavurmacılar, Beyoba, Ortaoba, Kadıköy, Dereli, Tepeoba, Karakısıık Dere ve çevresinde yüzeylenmektedir. Birim genel olarak boz, yeşilimsi gri, kahverenkli alterasyon renkli kumtaşı, metakumtaşı, şeyl, çamurtaşı, metakonglomera, seyrek olarak tüflü seviyeleri olan Karbonifer ve Permien yaşta kireçtaşı bloklarını içeren bol makaslamalı, kaotik bir görünüm sunar.

2.2.2.5. Mehmetalan Formasyonu (TRkm)

Yeşil renkli tuf, bazalt ve diyabazlardan oluşan birim, Duru vd. (2007a, 2007b) tarafından Mehmetalan formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Zeytinli, Mehmetalanı ve kuzeydoğusunda yüzeylenmektedir. Mehmetalan formasyonu masif, yer yer tabakalı görünümlü, yoğun kırık ve çatlaklı, ince taneli metatuf, bazalt ve diyabazlardan oluşmaktadır. Birim içerisinde nadir olmakla birlikte rekristalize kireçtaşı ve kilaşı-kumtaşı ara seviyeleri de bulunmaktadır.

2.2.2.6. Çal Formasyonu (TRkç)

Bazalt, spilitik bazalt, tuf-tüfit, aglomera ve kumtaşından oluşan birim, ilk kez Blanc (1965) tarafından Çalköy serisi, Bingöl vd. (1973) tarafından Spilit Permien Olistolitli birim, Okay vd. (1990) tarafından Çal birimi, Duru vd. (2007b) tarafından ise Çal formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, çalışma alanında Edremit kuzeyinde

yüzeilenmektedir. Çal formasyonu, mor-kahverenkli, spilitik bazalt, diyabaz, tüf-tüfit, volkanik malzemeli kumtaşları ve aglomeralardan oluşmaktadır. Birim içinde yer yer pelajik kireçtaşı ve radyolaritçamurtaşı ara seviyeleri ile yaygın olarak Permien yaşı kireçtaşı olistolit ve olistostromları bulunur (Kantar vd., 2013).

2.2.2.7 Camialan Formasyonu (TRkc)

Rekristalize kireçtaşlarından oluşan birim, Okay vd. (1990) tarafından Camialan kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Birim, çalışma alanında Edremit kuzeyinde yüzeilenmektedir. Birim, Karakaya kompleksi litolojileri üzerinde altta birkaç metre kalınlıkta kilitaşı, üstte doğru ince tabakalı, kızılrenkli killi kireçtaşı ve mikritik kireçtaşı, daha üstte doğru tedrici olarak tabakalarda, kalınlaşmaya paralel olarak artan makrofosil kırıntılı, taneli sparitik kireçtaşlarına dönüşmektedir. Birim en üstte kalın tabakalı veya masif görünümlü, gri renkli, bol kırık ve çatlaklı, rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Duru vd., 2007b).

2.2.2.7. Permien Yaşı Kireçtaşı Blokları (Pb)

Karakaya formasyonu ile Çal formasyonu içerisinde Sakarya Zonu boyunca çok sayıda görülen siyahımsı, gri, bej renkli, kalsit damarlı, yer yer kristalize olmuş küçük-küçük kireçtaşı bloklarıdır. Haritalanabilir ölçekteki Permien yaşı kireçtaşı blokları (Pb) simgesi ile haritalanmıştır.

2.2.2.8. Karakaya Kompleksi İçerisindeki Kireçtaşı Blokları (Pk, kb)

Karakaya Kompleksi'ne ait formasyonlar içerisinde yaygın olarak değişik boyutlarda (çakıl boyutundan-birkaç kilometre boyutlu) olistolit ve/yeya olistostrom şeklinde haritalanabilecek boyutta olan kireçtaşı blokları yer almaktadır. Permo-Karbonifer yaşı bu kireçtaşlarının 1/100.000 ölçekli haritada gösterilebilecek boyutta olanlar yaşlarına göre ayrılmış ve Karbonifer (Cb), Permien (Pk), yaşı saptanamayanlar (kb) simgeleriyle haritalanmıştır. Karbonifer yaşı kireçtaşı inceleme alanında görülmemektedir.

2.2.2. Sakarya Zonu Örtü Birimleri

2.2.3.1. Balya Formasyonu (TRb)

Halobia'lı şeyllerden oluşan birim Neumary (1887) tarafından Balya Triyası olarak adlandırılmış, daha sonra Okay vd. (1990) tarafından da Balya formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında birim, Halılar ve çevresinde, Karga Dere ve çevresinde yüzeylenmektedir.

2.2.3.2. Bayırköy Formasyonu (Jba)

Birim ilk kez Bilecik civarında Granit ve Tintant (1960) tarafından Bayırköy kumtaşı, daha sonra da Altınlı (1973) tarafından Bayırköy formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında Edremit çevresinde, Sarnıçköy, Halılar ve kuzeyinde, Karga Dere ve çevresinde yüzeylenmektedir. Birim genel olarak kırmızımsı sarı renkli konglomera, kahverengimsi sarı renkli kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kırmızı-bej renkli killi kireçtaşlarından oluşur.

2.2.3.3. Bilecik Formasyonu (JKb)

Sakarya Zonu'nda yaygın olarak yüzeylenen bu kireçtaşı birimi, Granit ve Tintant (1960) tarafından Bilecik Kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında Edremit'in kuzeyinde, Büyükdere–İnönü Armuteli arasında izlenmektedir. Formasyon; beyaz, krem, pembe ve koyu sarı renklerde, orta–kalın tabakalı, sert ve sıkı dokulu, köşeli kırıklı, çözünme boşluklu kireçtaşlarından oluşur. Karstlaşmış seviyelerde tabakalanma belirginliğini yitirirken, kırık ve eklemler çoğunlukla kalsit dolgulu olup üst kesimlerde çört bantları ile ince tabakalı killi kumlu kireçtaşı ve yer yer marn ara seviyeleri görülür.

2.2.3.4. Pınar Formasyonu (Kp)

Bilecik Formasyonu içinde değerlendirilen, hemipelajik kireçtaşı–kiltası ardalanmalı bu birim, Duru vd. (2007b) tarafından Pınar Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında birim Edremit kuzeyinde çok küçük bir alanda yüzeylenmektedir.

2.2.3.5. Çetmi Melanjı (Kç)

Sakarya Zonu ve Ezine Zonu arasında ve her ikisinin de üzerinde yer alan birim, ofiyolitik kayalardan daha çok farklı kökendeki kayaların tektonik dilim veya

olistostrom şeklinde karışık halde bir arada bulunan kayaç topluluğu ilk kez Okay vd. (1990) tarafından Çetmi ofiyolitli melanji olarak adlandırılmıştır.

2.2.3. Örtü Birimleri

2.2.4.1. Bağburun Formasyonu (Pgob)

Andezitik lav, ignimbirit, aglomera ve az oranda volkanoklastiklerden oluşan birim ilk defa Krushensky (1976) tarafından Bağburun formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, Havran ilçesi kuzeydoğusunda Sarnıçköy, Dereören, Eğmir, Armutçuk köyleri civarında yayılım gösterir.

2.2.4.2. Hallaçlar Volkanitleri (PgoNh)

Yer yer altere andezit, dasit ve bazaltik andezit bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşan kayaçlar Dönmez vd. (2009) tarafından Hallaçlar volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Silisifiye ve çevresinde, Kuyualanı, Hacıoğlu, Şahinler, Hisar, Küçükdere, Dutluca, Taşarası, Hallaçlar, Kobaklar, Armuteli kuzey-kuzeydoğu ve güneyinde, Sarnıçlar, İnönü çevresinde, Edremit doğusunda, Kızılkeçili çevresinde, Avcılar-Tahtakuşlar güneyinde yüzeylenmektedir.

2.2.4.3. Kozak Granitoyidi (PgoNk)

Granodiyorit, monzonit, monzogranit, monzogranodiyorit ve granodiyorit porfir bileşimli kayacalar Boztuğ vd. (2006) tarafından Kozak granitoyidi olarak tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında yüzeylenmemektedir. Ancak Kozak granitoidinin kenar zonlarında gözlenen granidiyorit porfir bileşimli kayaçlar Granodiyorit Porfir olarak PgoNkp simgesi ile haritalanmıştır. Granodiyorit Porfir (PgoNkp) çalışma alanında Yunuslar köyü güneyinde çok küçük bir alanda yüzeylenmektedir.

2.2.4.4. Oligosen-Miyosen Granitoidleri (PgoNg)

Biga Yarımadası'nda Oligosen dönem volkanizmasının kaynağını oluşturan ve çoğunlukla granodiyoritik bileşim gösteren sığ sokulumlar, Oligosen–Geç Miyosen zaman aralığında bölgeye yerleşmiştir. Farklı araştırmacılarca yapılan jeokronolojik çalışmalar, bu birimlerin yaşının Oligosen–Geç Miyosen olduğunu ortaya koymaktadır.

2.2.4.5. Küçükkuyu Formasyonu (Nmk)

Bitümlü şeyl, tuf, çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşıdan oluşan Miyosen yaşlı gölssel kırıntılı çökeller Saka (1979) tarafından Küçükkuyu formasyonu olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında birim, Altınoluk batısında Narlı ve çevresinde yüzeylenmektedir.

2.2.4.6. Yürekli Dasiti (Nmy)

Gri, beyaz renkli, el örneğinde kuvars ve biyotit minerallerince zengin, bol anklavlı asidik bileşimli lav ve piroklastik kayalar *Akyürek ve Soysal (1978)* tarafından Yürekli dasiti olarak adlandırılmıştır. Birim, Pelitköyü, Karalar, Karaoğlanlar, Hüseyinbeşeler, Yürekli ve çevresinde yayılım gösterir.

2.2.4.7. Şapçı Volkaniti (Nmş)

Tabanda yer yer ignimbiritik özellik sunan beyaz renkli kalın asidik tüflerle başlayan ve üstte asidik lav-piroklastikler ile volkanizmanın son evresini temsil eden andezitik lav ve piroklastiklerle devam eden bu volkanik istif, Dönmez vd. (2005) tarafından Şapçı Volkaniti olarak tanımlanmıştır. Birim, çalışma alanında Büyükşapçı, Küçükşapçı ve yakın çevresinde yaygın olarak gözlenmektedir.

2.2.4.8. Bozdivlit Volkaniti (Nmb)

Siyah-gri renkli, çıkış merkezinde soğuma sütunlu bazaltik andezit bileşimli lavlar, Eşder vd (1991) tarafından Bozdivlit volkaniti olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Hacıoğlu batısında, Şahinler kuzeyinde yüzeylenmektedir.

2.2.4.9. Ballica Formasyonu (Nmba)

Egemen olarak çakıltaşı ve kumtaşıdan oluşan birim, Akyürek ve Soysal (1978) tarafından Ballica formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında, Armutova güneybatısında, Karaağaç ve güneyinde, Yunuslar, Pelitköy ve çevresinde yüzeylenmektedir.

2.2.4.10. Aliğa Formasyonu (Nma)

Çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, tuf, tüfit, kıltaşı ve gölssel kireçtaşıdan oluşan birim, Kaya (1978) tarafından Aliğa formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında Armutova- Burhaniye çevresinde yüzeylenmektedir.

2.2.4.11. İlyasbaşı Formasyonu (Nmi)

Marn, kireçtaşı, çamurtaşı, tuf, kumtaşı ve konglomeradan oluşan litoloji topluluğu Saka (1979) tarafından İlyasbaşı formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Kızılkı, Dutluca, Gavran doğusunda, Çamcı ve Yaşyer çevresinde, Edremit kuzeybatısında yüzeylenmektedir.

2.2.4.12. Bayramiç Formasyonu (NplQb)

Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nda gözlenen Pliyo-Kuvaterner yaşı flüviyal çökeller, Siyako vd. (1989) tarafından Bayramiç formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında, Avcılar ve Tahtakuşlar güneyinde yüzeylenmektedir.

2.2.4.13. Yamaç Molozu (Qym)

Tutturulmamış, az tutturulmuş blok ve çakıllar dağların yamaçlarında veya eteklerinde yer yer birikintiler halinde görülür. Birim çalışma alanında Kavurmacılar kuzeyinde, Altınoluk Avcılar arasında yüzeylenmektedir.

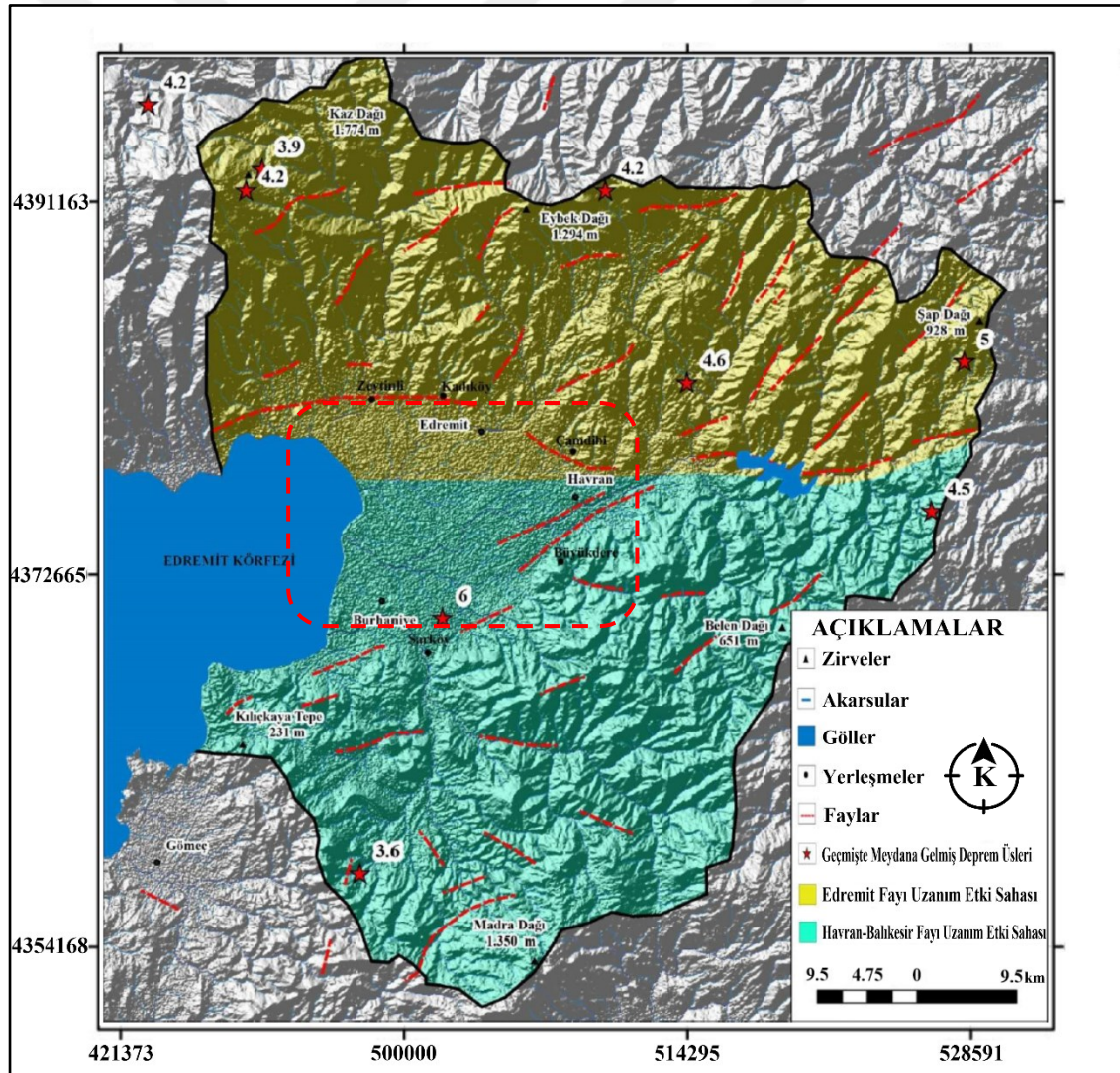
2.2.4.14. Alüvyon (Qal)

Tutturulmamış, az tutturulmuş blok ve çakıllar dağların yamaçlarında veya eteklerinde yer yer birikintiler halinde görülür. Birim çalışma alanında Kavurmacılar kuzeyinde, Altınoluk Avcılar arasında yüzeylenmektedir.

2.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Tektonik Özellikleri

Çalışma alanı, Ege Denizi'ne ait bir çöküntü alanı ile bunu sınırlayan kenar yükseltileri kapsamaktadır. Bölgedeki tektonik hareketler ağırlıklı olarak Tersiyer'de gelişmiştir. Paleozoik döneme ait çökelimler denizel ve karasal fasiyes özellikleri sunarken, Edremit Ovası'nın kuzeyinde yer alan az metamorfize metagrovak, metakumtaşı ve yeşilşist litolojileri genellikle sık, zaman zaman derinleşen dengesiz bir çökme ortamını yansıtmaktadır (Şekil 6) (Tapırdamaz, 2019). Çalışma alanındaki Neojen birimler karasal ve görsel fasiyeste olup, bu dönemde yoğun bir volkanik etkinlik gözlenmektedir. Kuvaterner'de Edremit Körfezi'nin doğu kesiminin dolmasıyla günümüzdeki Edremit Ovası oluşmuş olup, ova doğu-batı ile DKB-BGB doğrultulu fayların kontrolünde gelişmiş bir çöküntü ovasıdır. Ovanın kuzeyinde dik şevli faylanmalar belirgin iken, güney kesim daha az tektonik etkili ve daha düz bir morfoloji sunar. Kuzeyde metamorfik kristalen kayalar, güneyde ise volkanik kayalar ve Neojen tortulları yüzeylenmektedir. Bölgedeki sıcak su kaynakları ve depremler genç

tektonizmanın göstergesi olup, Paleozoik yaşlı gnays ve şistlerde KD–GB ve K–G yönlü fay sistemleri yaygındır. Gnayslar genellikle klivajlanma gösterirler. Bu formasyonun üzerinde bulunan mermerler genellikle karstik boşluklara sahiptirler. Kırıklı ve çatlaklıdır. Yeşilşist diye genel olarak adlandırılan serisitli, kloritli şistler yer yer oldukça fazla metamorfize olmuştur. Meta kumtaşı ve grovaklar düşük dereceli metamorfizma geçirmiştir. Özellikle iri taneli meta kumtaşları, farklı doğrultularda gelişen ve birbirini kesen çatlak sistemleri nedeniyle yer yer yoğun biçimde parçalanmış bir yapı sunar. Bu birimler içerisindeki mermer olistositleri de yer yer kırıklı ve çatlaklıdır. Kızılköçili Köyü'nün kuzeyinde gözlenen mermer olistositi ise ileri derecede kristalize olmuş, belirgin çatlaklı ve boşluklu bir dokuya sahiptir. Bölgedeki Neojen birimler genel olarak düşük eğimli olup, bazı kesimlerde hafif kıvrımlanmalar göstermektedir (Özhan, 1977).



Şekil 6. Edremit Ovası ve çevresinin Morfo-tektonik haritası (Tapırdamaz, 2019).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi

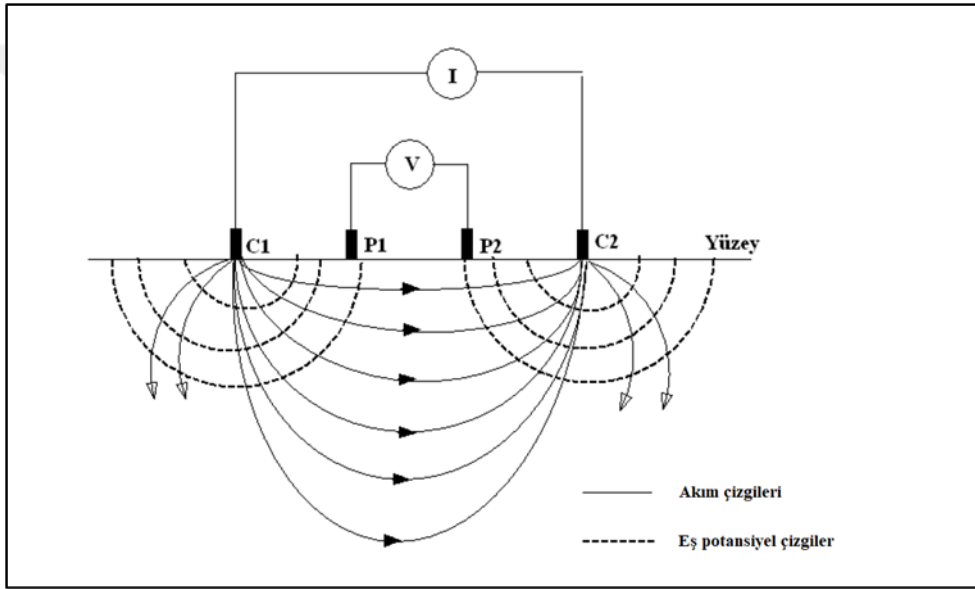
Yapay kaynaklı bir yöntem olan Elektrik Özdirenç Yöntemi (Electrical Resistivity Method), arama ve mühendislik jeofiziği çalışmalarında yaygın olarak kullanılan, yeraltının elektriksel özelliklerine dayalı bir araştırma metodudur. Gelişen teknolojiye paralel olarak çok elektrotlu ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi, ölçümlerin daha hızlı, sistematik ve yüksek doğrulukta alınabilmesine olanak sağlamış; bu durum yöntemin mühendislik, hidrojeoloji ve çevre jeofiziği çalışmalarındaki önemini artırmıştır (Loke, 2004; Reynolds, 2011). Elektrik özdirenç yöntemi; taban kaya topoğrafyasının ortaya konulması, yeraltı suyu aramaları, heyelanlı sahalarda kayma yüzeylerinin tanımlanması, gömülü fay ve kırık zonlarının belirlenmesi, boşluk ve mineral araştırmaları ile mühendislik yapılarının zemin özelliklerinin değerlendirilmesi gibi oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir (Telford vd., 1990; Dahlin ve Zhou, 2004).

Özellikle Edremit Havzası gibi kalın alüvyon dolgulu, tektonik kontrollü çöküntü alanlarında taban kaya topoğrafyasının belirlenmesi, havzanın yapısal özelliklerinin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür havzalarda düşük özdirençli alüvyon ve sedimanter birimler ile yüksek özdirençli sağlam anakaya arasında belirgin bir elektriksel kontrast bulunmaktadır. Bu sayede elektrik özdirenç ölçümleri kullanılarak anakaya yüzeyinin derinliği, geometrisi ve topoğrafik değişimleri güvenilir bir şekilde haritalanabilmektedir (Seaton ve Burbey, 2002; Loke vd., 2013; Uluğtekin vd., 2022; Lyrio ve Li, 2023; Panthi vd. 2023). Elde edilen taban kaya topoğrafyası, yeraltı suyu akım sistemlerinin değerlendirilmesi, fay kontrollü havza mimarisinin ortaya konulması ve mühendislik projelerine altlık oluşturması bakımından kritik öneme sahiptir.

Yöntemin temel prensibi, bir çift akım elektrodu aracılığıyla zemine elektrik akımı verilmesi ve buna karşılık diğer bir çift potansiyel elektrodu arasında oluşan potansiyel farkının ölçülmesine dayanmaktadır (Şekil 7). Ölçülen potansiyel farkları ve akım değerlerinden hesaplanan görünür özdirençler, ters çözüm işlemleri aracılığıyla değerlendirilerek yeraltındaki jeolojik birimlerin gerçek özdirenç dağılımı ve geometrik özellikleri ortaya konulmaktadır (Loke ve Barker, 1996; Binley ve Kemna, 2005).

3.1.1. Düşey Elektrik Sondaj Yöntemi (DES)

Elektrik özdirenç yöntemi, Şekil 7’de gösterilen elektrot dizilimine uygun olarak, bir çift elektrot aracılığıyla zemine akım verilmesi ve diğer bir çift elektrot yardımıyla oluşan potansiyel farkın ölçülmesi esasına dayanır. Ölçülen potansiyel fark, elektrotlar arasındaki mesafe ile ortamın jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Elde edilen potansiyel fark değerleri, dizilimin geometrik faktörü dikkate alınarak değerlendirilir ve yeraltının özdirenç dağılımı hesaplanır. Özdirenç çalışmalarında, görünür özdirenç verilerinin yorumlanması yoluyla yeraltına ait gerçek özdirenç ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi hedeflenir. Yöntemde genellikle doğru akım (DA) ya da düşük frekanslı (~120 Hz) alternatif akım (AA) kullanılmaktadır (Altundaş, 2010).



Şekil 7. Elektrik özdirenç yönteminde akım (C1–C2) ve potansiyel (P1–P2) elektrotları ile akım ve eşpotansiyel çizgilerinin dağılımı (Altundaş, 2010).

Genel olarak herhangi bir dizilim için özdirenç hesaplama işlemi (Eşitlik 1),

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

şeklindedir.

Burada; K geometrik faktörü, ΔV potansiyel elektrotları arasındaki farkı (milivolt) ve I yere verilen akımı (amper) temsil etmektedir.

Genellikle özdirenç yönteminde belirli bir geometrik düzene göre yerleştirilen 4 elektrot kullanılarak yapılır. İki elektrot yer içine akım göndermek için kullanılır. Diğer iki elektrot ise potansiyel ölçmek için kullanılır. C1, C2 akım ve P1, P2 gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir (Şekil 8).

Aynı yer için farklı elektrot dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile görünür öz direnç değerleri de farklı olmaktadır (Altundaş, 2010).

Bu dizilimlerin özellikleri göz önünde bulundurularak karşılaşılan jeolojik probleme göre sonuca gitmede en etkili olan dizilim seçilir. Klasik elektrot dizilimlerinden birkaçı, simetri merkezine göre bir çizgi boyunca dizilen Schlumberger ve Wenner dizilimleridir. Wenner diziliminde, akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride ve birbirlerinden eşit uzaklıkta olmak üzere dizilirler. Dıştaki iki elektrottan yere akım verilir. İçte yer alan iki elektrottan ise verilen akımın yarattığı gerilim alanı ölçülür. Schlumberger diziliminde elektrotlar düzgün bir çizgi üzerine simetrik olarak akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride olmak üzere yerleştirilir ve simetri merkezi olan ölçü noktasındaki elektrik alan ölçülür. Potansiyel elektrotları arasındaki mesafe akım elektrotları arasındakine göre küçüktür. Ölçme esnasında potansiyel elektrotlarının yer değiştirmesine gerek yoktur (Özdemir, 2008).

Elektrot Dizilimi	Geometrisi
(a) Schlumberger	
(b) Wenner	
(c) Dipol-dipol	
(d) "Pole-dipol" sol (AMN)	
(e) "Pole-dipole" sağ (MNB)	
(f) İki-Yönlü Üç-Elektrot (İYÜE) dizilimi	

Şekil 8. Elektrik öz direnç yönteminde kullanılan elektrot dizilimleri (Candansayar, 2016).

Elektrik öz direnç yönteminin farklı uygulama biçimleri arasında yer alan Düşey Elektrik Sondajı (DES), özellikle düşey yönde öz direnç değişimlerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş klasik ve etkin bir tekniktir. DES tekniğinde elektrot açıklıkları kademeli olarak artırılarak, ölçüm derinliği kontrollü bir şekilde yükseltilmekte ve böylece yeraltının düşey doğrultudaki elektriksel tabakalanması ortaya konulmaktadır (Telford vd., 1990; Keller ve Frischknecht, 1966). Bu özellikleri sayesinde DES, taban kaya derinliğinin ve taban kaya topoğrafyasının belirlenmesinde, örtü birimlerinin kalınlıklarının hesaplanmasında ve hidrojeolojik birimlerin düşey sürekliliğinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Her ne kadar günümüzde çok elektrotlu ERT uygulamaları yaygın olarak kullanılsa da, DES tekniği; uygulama kolaylığı, düşük maliyeti ve özellikle geniş alanlarda taban kaya derinliğinin ön değerlendirilmesine olanak sağlaması nedeniyle önemini korumaktadır. Bu bağlamda DES ölçümleri, ERT profillerinin planlanması ve ters çözüm sonuçlarının jeolojik açıdan sınanması açısından tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Bu çalışmada da DES tekniği, Edremit Ovası'nda taban kaya derinliğinin ve düşey elektriksel tabakalanmanın belirlenmesi amacıyla uygulanmış ve elde edilen sonuçlar diğer jeofizik ve jeolojik verilerle birlikte değerlendirilmiştir.

3.2. Gravite Yöntemi

Gravite yöntemi, yer kütle çekim alanındaki küçük değişimlerin ölçülmesi esasına dayanan pasif bir jeofizik yöntemdir. Yer kabuğunda bulunan kayaçların yoğunluk farklılıkları, ölçülen gravite değerlerinde anomalilere neden olur. Bu anomaliler, yeraltındaki jeolojik yapıların ve yoğunluk dağılımlarının belirlenmesinde kullanılır (Telford vd., 1990).

Arazi ölçümleri sırasında elde edilen ham gravite verileri; alet düzeltilmesi, gelgit, enlem, serbest hava ve Bouguer düzeltmeleri gibi çeşitli düzeltmelere tabi tutulur. Bu işlemler sonucunda elde edilen Bouguer gravite anomalileri, yeraltı yapılarının yorumlanmasına olanak sağlar (Blakely, 1995). Gravite yöntemi, derin yapılara duyarlı olması, geniş alanlarda ekonomik olarak uygulanabilmesi ve jeolojik sınırların belirlenmesinde etkin sonuçlar vermesi nedeniyle tektonik çalışmalar, sedimenter havza analizleri ve mühendislik jeofiziği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kearey vd., 2002).

3.2.1. Mikrogravite Yöntemi

Mikrogravite yöntemi, yerkürenin kütle çekim alanındaki çok küçük değişimlerin (μGal mertebesinde) yüksek hassasiyetli gravimetreler ile ölçülmesine dayanan bir jeofizik yöntemdir. Yüzeye yakın ve sığ derinliklerdeki yoğunluk farklılıkları, mikrogravite anomalilerinin oluşmasına neden olur ve bu anomaliler özellikle mühendislik jeofiziği ve yerel ölçekli yapısal çalışmalar için önemli bilgiler sunar (Telford vd., 1990).

Mikrogravite ölçümlerinde elde edilen Bouguer mikrogravite anomalileri, sığ faylar, anakaya topoğrafyası, boşluklar ve zemin heterojenliklerinin belirlenmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır (Blakely, 1995; Hinze vd., 2013).

Yüksek çözünürlüklü ölçüm imkânı sunması ve diğer jeofizik yöntemlerle birlikte yorumlanabilmesi nedeniyle mikrogravite yöntemi, özellikle havza geometrisinin ve yerel zemin koşullarının ortaya konulmasında tamamlayıcı bir yöntem olarak yaygın şekilde uygulanmaktadır (Kearey vd., 2002).

3.2.2. Mutlak Gravite Ölçümleri

Esas olarak sarkaç kullanılarak yapılan ölçümlerdir. Ayrıca bir gravimetre ile mutlak gravite değeri bilinen bir baz istasyonu ilişkilendirilerek de mutlak gravite ölçümleri yapılabilir (Torge, 1989). Bir noktada yerçekimi ivmesi veya mutlak gravite değeri aşağıdaki Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanabilir;

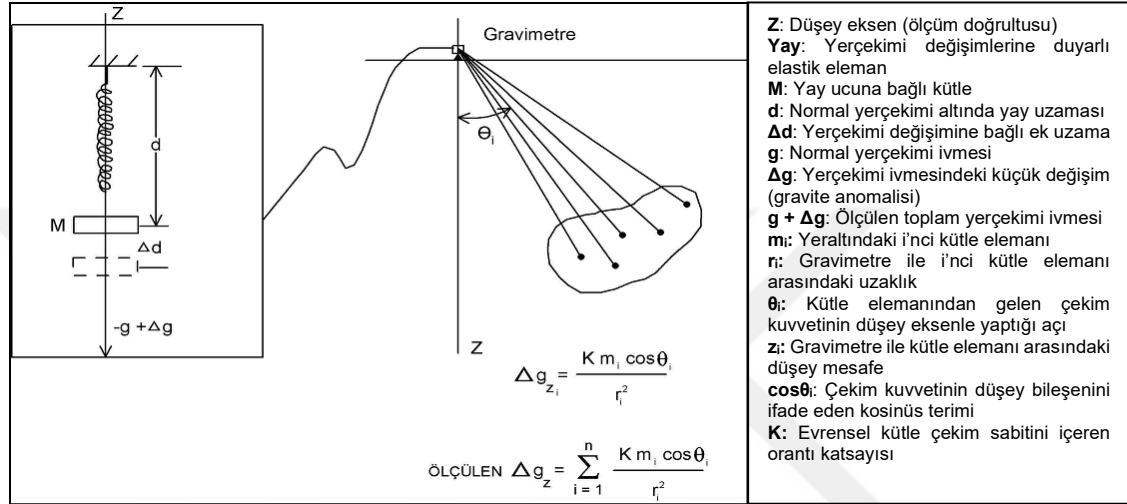
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \text{Burada } L = \text{sarkacın uzunluğudur.} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

3.2.3. Bağlı Gravite Ölçümleri

Yerkürenin homojen ve izotrop olmaması ve değişik yoğunluktaki kayaların varlığı, yerçekimi ivmesi 'g' de küçüğe olsa değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimler yeryüzünde özel aletler yardımıyla ölçülebilmektedir. Bu bağlamda noktadan noktaya toplam gravite etkisindeki değişimleri araştırmak için gravimetreler kullanır. Çekimin temel birimi gal (Galileo'dan) dir ve $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/sn}^2$ dir. Genelde miliGal (mGal) kullanılır, $\text{mGal} = 10^{-3} \text{ gal} = 10 \text{ gu.}$ dir. Gravimetre çekim kanununa göre tüm kaynakların neden olduğu çekimin yüzey bileşeni (Δg_z)'i (Şekil 9) (Lowrie, 2007) ölçer.

Bu cihazlardan mikrogravimetre bir 1 gal'i yani 1 cm/sn^2 yi 1000 eşit parçaya bölebilmekte ve ölçümler miligal hassasiyetinde yapılabilir. Bir gravite çalışmasında alınan gravite ölçümleri, değeri önceden bilinen veya yeni oluşturulan bir baz

noktası değerine indirgenir ve hem baz noktasından hem de birbirleri arasındaki bağıl farklar mgal olarak bulunur. Ancak bu gravite değerleri kabıyla birlikte tartılan bir nesnenin ağırlığı gibidir. Yani brüt ağırlıktan daranın çıkarılıp net ağırlığın bulunması şarttır. Kısacası yeraltı cismi veya jeolojisi ile ilgisi olmayan birtakım etkilerin ölçülerden ayıklanması gerekmektedir. Daha çok yeryüzünün biçimi ile ilgili olan bu etkileri hesap edip, ölçü değerlerine eklememiz veya çıkartmamız gerekir. Böylece gravite değerlerinin belli bir düzeye indirilmesi ve gerekli düzeltmeleri yapılmış olunur. (Niebauer, 2007).



Şekil 9. Tüm kaynakların neden olduğu çekimin düşey bileşeni (Δg_z) (Lowrie, 2007).

3.2.4. Gravite Yöntemindeki Temel Düzeltmeler

Aletler ile arazide toplanan veriler ham verilerdir ve birtakım düzeltmeler ile veri işlem gerçekleştirilmelidir. Yeryüzünün okyanuslardan geçen yüzeyine ‘Geoid’ denir. Geoid üzerinde bu değer sadece enleme göre değişim gösterir ve buna normal gravite veya teorik gravite denir. Ölçülen gravite değerlerine ($g_{ölç}$) yer küresinin heterojen ve kıvrımlı olması sebebi ile aşağıdaki bozucu etkilerin düzeltilmesi gerekmektedir (Keçeli, 2009). Bouguer anomali değerleri (g_B)’ye (Eşitlik 3) dönüştürülürler ve böylelikle bilimsel değeri yüksek olan verilerle bir yorum yapılabilir.

$$\text{Bouguer Anomalisi } (g_B) = g_{ölç} - g_e + g_s - g_b + g_t \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Burada sırasıyla:

$g_{ölç}$: Arazide gravimetreler ile ölçülen değerlerdir.

g_e : Enlem düzeltmesidir. Yeryüzünün kutuplardaki yarıçapının ekvatordakinden daha küçük olması ‘g’ nin kutuplarda daha büyük olmasına neden olmaktadır.

$g_{\text{kutup}} = 983 \text{ gal}$, $g_{\text{ekvator}} = 978 \text{ gal}$ 'dir.

Bundan dolayı kuzeye doğru yerçekiminde bir artış söz konusudur ve bu da bir katsayı ile (Eşitlik 4) tespit edilmiştir.

$$K = 0.8122 \sin 2\theta \text{ mgal/km} \quad (\theta: \text{enlem açısıdır}) \quad (\text{Eşitlik 4})$$

g_s : Serbest hava düzeltmesidir. Gravitenin yükseklikle değişiminden kaynaklanan etkinin giderilmesi için yapılır. Referans yüzeyi olarak çoğu kez deniz yüzeyi seçilir. Deniz seviyesinden yukarı doğru yükseldikçe ölçü değeri her metrede 0.3086 mgal azaldığından Eşitlik 5;

$$g_s = (0.3086.h) \quad (\text{Eşitlik 5})$$

mgal ölçü değerine ilave edilir.

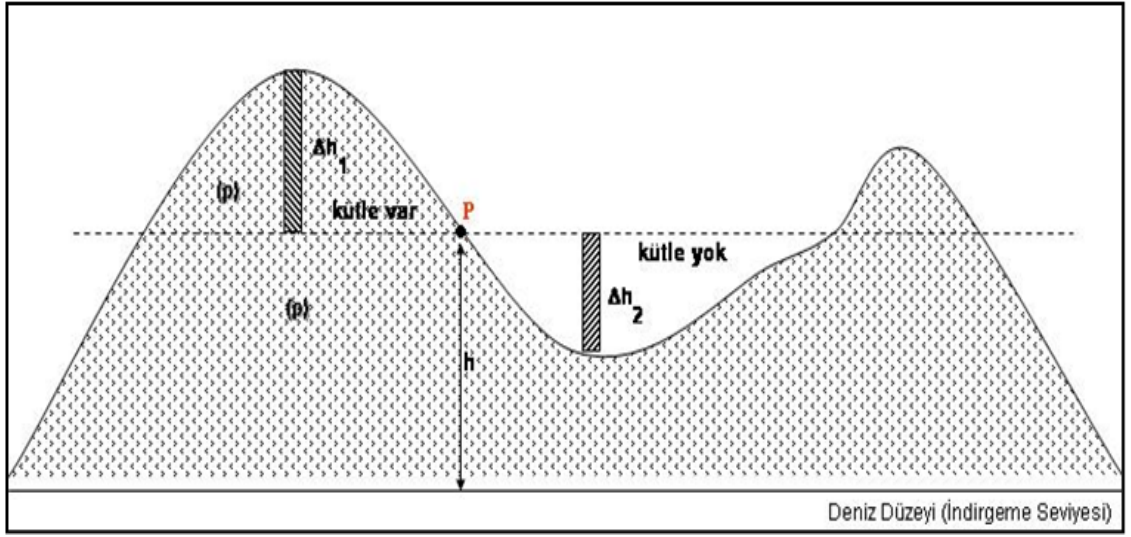
g_b : Bouguer düzeltmesidir (Eşitlik 6). Serbest hava düzeltmesindeki düzeltmeye neden olan kütlenin, ölçü değerine olan pozitif gravite etkisini kaldırmak için yapılır.

$$g_b = (0.04191.p.h) \quad (p: \text{Bouguer levhasının yoğunluğu}) \quad (\text{Eşitlik 6})$$

mgal ölçü değerinden çıkarılır.

g_t : Topoğrafik etki düzeltmesidir. Arazi düz ise bu düzeltmeyi yapmaya gerek yoktur. Şayet engebeli bir arazide çalışma söz konusu ise;

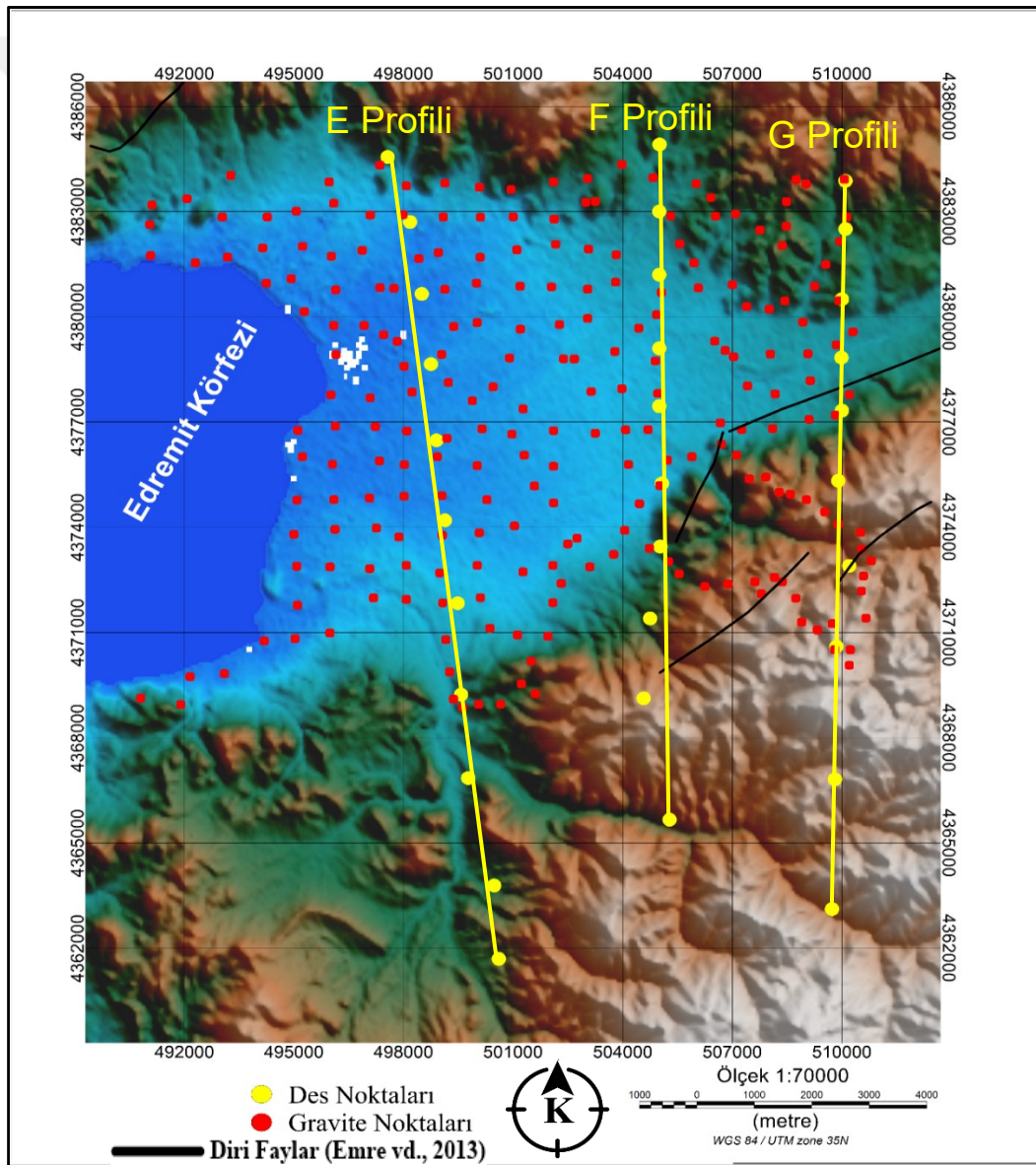
P noktasından geçen düzlemin üstündeki kütleler (Δh_1 gibi) gravite ölçü değerini azaltacağından, bu kütlenin etkisini ölçü değerine ilave ederek düzeltmek gerekir (Şekil 10). P noktasından geçen düzlemin altında kalan kütleler (Δh_2 gibi) çukur kısımlar da Bouguer düzeltmesi ile kütle varmış gibi kabul edilip ölçülerden çıkarıldığından, topoğrafik düzeltme ile bu çukurlukların etkisi ilave edilir ve böylelikle P noktasından geçen düzeyin üstündeki ve altındaki kütlelerin etkisinden ileri gelen düzeltme yapılmış olur (Telford, 1990; Leaman, 1998).



Şekil 10. Topografik etki düzeltmesi (Leaman, 1998).

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 123Y151 no'lu TÜBİTAK 1001 projesi “Edremit Ovası (Balıkesir) ve Çevresinin Yerel Zemin Etkilerinin Belirlenerek Sahaya Özel Sismik Tehlike ve Zemin Dinamik Davranış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi” kapsamında çalışma sahasında 2024 yılında toplamda 273 noktada mikrogravite ölçüsü ve MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde “Balıkesir-Çanakkale-İzmir Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi” (Arslan vd., 2011) kapsamında toplanan, çalışma sahasına düşen 31 adet DES ölçüsü kullanılmıştır (Şekil 11).

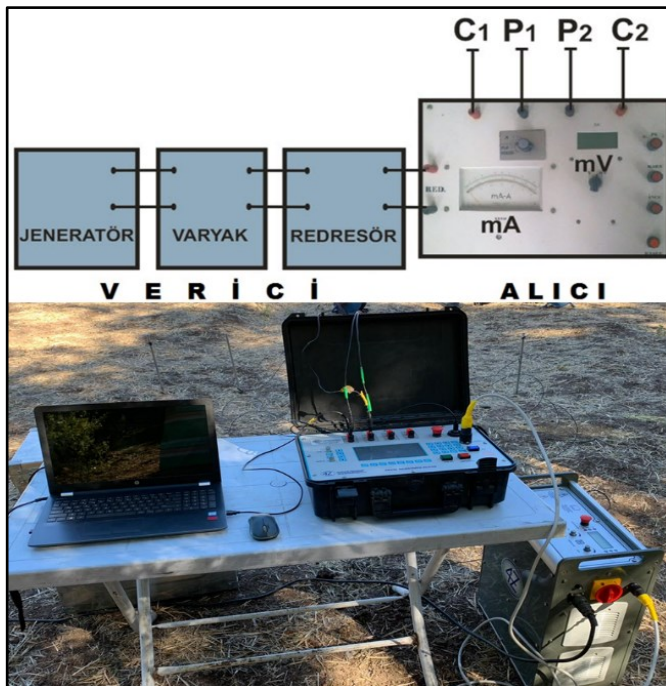


Şekil 11. Proje kapsamında toplanan gravite ve DES noktalarının dağılımı

4.1. DES Verilerinin Toplanması ve Veri İşlemi

Çalışma sahasında toplanan elektrik (DES) verileri MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde “Balıkesir-Çanakkale-İzmir Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi” (Arslan vd., 2011) kapsamında toplanmış bünyesinde “Balıkesir-Çanakkale-İzmir Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi” (Arslan vd., 2011) kapsamında toplanmış olup veri toplamada Schulumberger dizilim metodu kullanılmıştır. Toplam 31 noktada ölçümler alınmıştır. Nokta aralıkları yaklaşık 2 km olup, oluşturulan 3 adet profilin (E-F-G) uzunlukları sırasıyla 20, 22 ve 24 km uzunluğundadır. Veriler WinGlink programında yeniden değerlendirilmiş ve modellenmiştir. Veri işlem sonucunda 1 boyutlu ters-çözüm kesitleri ve elektrik yapı kesitleri elde edilmiştir.

Jeoelektrik yöntemlerle yapılan araştırmalarda, özdirenç ölçüleri MTA Genel Müdürlüğü tarafından DR (Derin Özdirenç) cihazı ile toplanmıştır (Şekil 12). Kullanılan sistem, ± 500 mV aralığındaki doğal gerilimleri dengeleyebilecek hassasiyete sahiptir. Alıcı birimin duyarlılığı 0,01 mV olup, enerji gereksinimi iki adet 9 V pil ile karşılanmaktadır. Verici sistemi jeneratör-varyak-doğrultmaç bileşenlerinden oluşmaktadır. Akım kaynağı olarak 5,5 kVA gücünde, 50 Hz frekanslı ve 200–235 V AC çıkış veren motor jeneratör kullanılmıştır. Jeneratörden elde edilen alternatif akım, doğrultmaç yardımıyla doğru akıma dönüştürülmekte ve varyak aracılığıyla en fazla 1.000 V DC olacak şekilde zemine uygulanmaktadır.



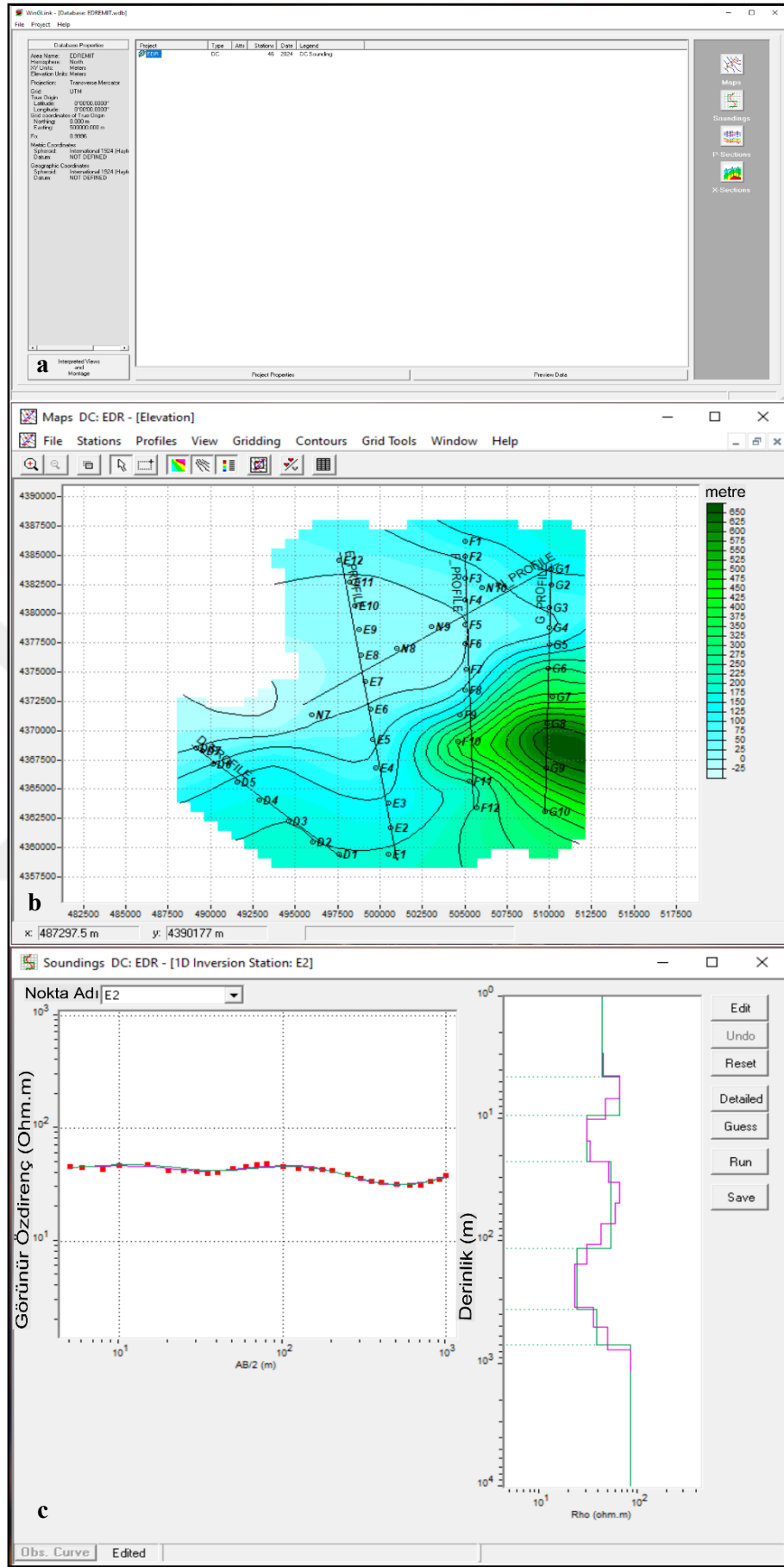
Şekil 12. Çalışmalarda kullanılan özdirenç ölçü düzeneği

Akım kaynağı olarak 7,5 kVA gücünde, 50 Hz frekanslı ve 200–235 V AC çıkışa sahip bir motor jeneratör kullanılmıştır. Arazi ölçümlerinde akım elektrotları paslanmaz çelik nikel-krom alaşımlı çubuklardan seçilirken, potansiyel elektrotları kurşun klorür içerikli, polarize olmayan tiptedir. Akım ve potansiyel iletiminde ise çift yalıtımlı, çelik ve bakır iletkenli kablolar tercih edilmiştir.

Jeofizik verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanmasında dikkate alınması gereken temel ilkelerden biri, ölçümle elde edilen sonuçların jeolojik birimlerle her zaman birebir örtüşmeyebileceğidir. Bunun temel nedeni, jeolojik birimlerin yaş, köken ve litolojik özelliklerine göre; jeofizik birimlerin ise fiziksel ve kimyasal parametreler ile bunların değişim sınırlarına göre tanımlanmasıdır. Bu nedenle jeolojide tek bir birim ya da tabaka olarak ifade edilen bir kalınlık, jeofizik yorumlarda birden fazla katman şeklinde izlenebileceği gibi, bazı durumlarda bunun tersi de söz konusu olabilmektedir.

Arazi ölçümlerinde belirlenen noktalarda akım (I) ve potansiyel (V) değerleri kullanılarak her seviye için görünür özdirenç [ρ_a] hesaplanmış ve bu değerler AB/2 açıklığının fonksiyonu olarak çift logaritmik diyagramlara aktarılmıştır. Böylece yeraltının yüzeyden derine doğru görünür özdirenç değişimleri elde edilmiştir. Ölçü noktalarına ait özgün eğriler, kaydırma tekniğiyle potansiyel farkı etkilerinden arındırılmış, tabakaların gerçek özdirenç ve kalınlıkları belirlenmiştir.

Elde edilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) eğrileri tek tek değerlendirilmiş (Şekil 13), profil boyunca yeraltı tabakalarının gerçek özdirenç, kalınlık ve derinlikleri saptanmıştır. Bu veriler kullanılarak elektrik temel seviyeleri belirlenmiş; nokta kotları dikkate alınarak Neojen birimlerin kalınlıkları hesaplanmış ve buna bağlı olarak elektrik temel topoğrafya haritası oluşturulmuştur.



Şekil 13. WingLink programında örnek veri işlem adımları a) Veri girişi ve nokta bilgilerinin tanımlanması, b) Profil oluşturma, c) DES eğrilerin modellenmesi

4.2. Mikrogravite Verilerinin Toplanması ve Veri İşlemi

Çalışma sahasında yapılan mikrogravite çalışmaları 123Y151 no'lu TÜBİTAK 1001 projesi “Edremit Ovası (Balıkesir) ve Çevresinin Yerel Zemin Etkilerinin Belirlenerek Sahaya Özel Sismik Tehlike ve Zemin Dinamik Davranış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi” kapsamında 2024 yılında toplanmıştır. Toplamda 273 noktada mikrogravite ölçüsü alınmıştır. Mikrogravite ölçü aralıkları yaklaşık 1 km'dir.

Ölçüler sırasında Scintrex Ltd. tarafından üretilen CG-5 Autograv gravimetre kullanılmıştır. Bu cihaz 0.001 mGal okuma çözünürlüğüne sahip olup sahip bir mikro işlemci tabanlıdır. Cihaz bir tripota yerleştirilmesiyse cihazın stabilitesi artırılmıştır. Ortam sıcaklığı ve atmosferik basınçtaki değişikliklerden korunan CG-5 ile sahada pratik bir şekilde ölçüler gerçekleştirilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Scintrex CG-5 Autograv mikrogravite cihazının görseli

Havza genelinde hata değerlerinin çok düşük seviyelerde tutulması için 60 sn'lik en az 5 okuma gerçekleştirilmiştir. Mikrogravite verileri toplanmasında her bir ölçü noktasının koordinat bilgileri, cihaz ve ölçü noktası yükseklik bilgileri, ölçü saatleri, gravite değeri gibi bilgiler toplanmıştır. Yüksek gürültülü bölgelerde ölçü süresi ve okuma sayısı artırılmıştır. Ölçü başlangıç ve bitişinde baz noktası okumaları gerçekleştirilmiştir. Kaya ortam dışındaki ölçülerde cihazın oturtulduğu zemin mümkün olduğunca iyileştirilmeye çalışılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Mikrogravite ölçülerinin toplanması ile ilgili örnek görseller

Çalışmada elde edilen ham verilere öncelikle drift etkisinin giderilmesi amacıyla baz düzeltmesi uygulanmıştır. Sonrasında enlem, yersel ölçülerden gelen yükseklik hataları gidermek amacıyla topoğrafik düzeltme (terrain)) ve Bouguer düzeltmeleri yapılmıştır (Eşitlik 7).

$$\delta g_{Bouguer\ anomali} = \delta g_{ölçülen} - \delta g_{enlem} + \delta g_{SH} - \delta g_B + \delta g_{topo} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Bu Eşitlikte;

$\delta g_{ölçülen}$; Ölçülen mikrogravite değerini,

δg_{enlem} ; enlem düzeltmesini,

δg_{SH} ; serbest hava düzeltmesini,

δg_B ; basınç düzeltmesini,

δg_{topo} ; topoğrafya düzeltmesini ifade eder.

4.2.1. Türev Tabanlı Sınır Analizi Yöntemleri

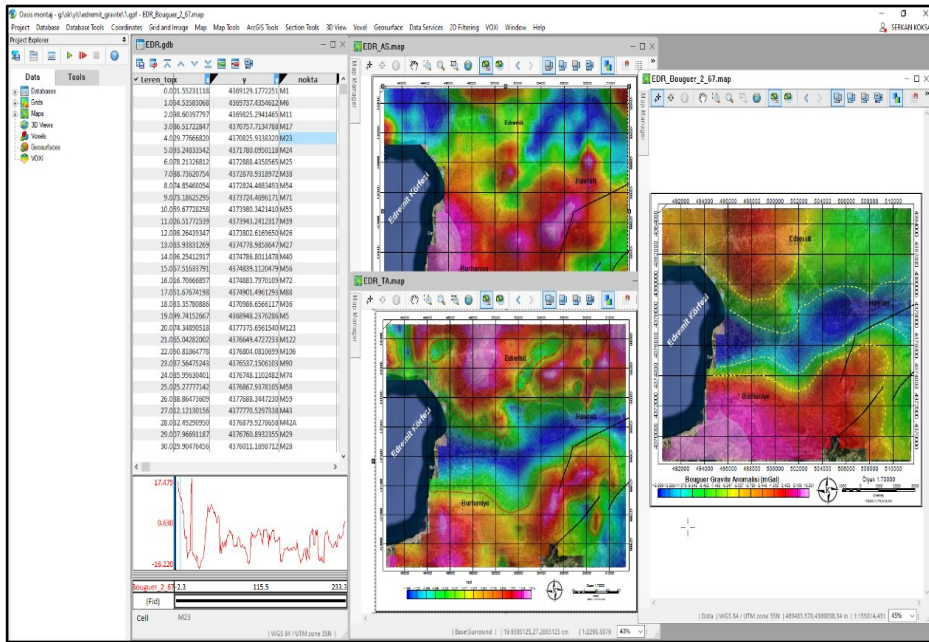
Gömülü jeolojik yapıların sınırlarının ortaya konulması, potansiyel bir alan tekniği olan anomalilerin modellenmesi ve yorumlanması açısından oldukça önemlidir. Bu analizler için yaygın olarak kullanılan çok sayıda türev yöntemi vardır. Analitik sinyal, toplam yatay türev (THDR), 3D Euler dekonvolüsyon, teta açısı (TM), tilt açısı (TA) gibi yöntemler uzun yıllardır sınır analizleri için kullanılmaktadır. Seequent Oasis Montaj programında hazırlanan veri işlem aşamasına ait görsel Şekil 16'da verilmiştir.

Roest vd. (1992) tarafından geliştirilen analitik sinyal (AS) anomalinin yatay ve düşey türevlerinin toplamının karekökü ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 8).

$$|AS| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Burada M manyetik anomaliye, $\partial M/\partial x$ manyetik anomalinin x yönündeki türevine, $\partial M/\partial y$ manyetik anomalinin y yönündeki türevine, $\partial M/\partial z$ manyetik anomalinin düzey (z) yönündeki türevine karşılık gelmektedir. Sıfır konturu jeolojik yapıların sınırına karşılık gelen tilt açısı (TA) anomalinin düşey türevinin toplam yatay türeve (THDR) oranlanması ile elde edilir (Eşitlik 9).

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{dM/dz}{THDR} \right) \quad (\text{Miller and Singh, 1994}) \quad (\text{Eşitlik 9})$$



Şekil 16. Gravite veri-işlem aşamasından örnek bir görsel (Seequent Oasis Montaj). Solda veri kütüğü, sağda bouguer gravite anomalisi, tilt açısı ve analitik sinyal haritaları

4.2.2.2.5 B’li Gravite Modellemesi

Gravite anomalilerinin değerlendirilmesinde, anomaliyi yaratan yeraltı yapısının geometrik seklinin aranması modelleme çalışmalarının temelini oluşturur. Oluşturulacak geometrik modelin, yaratacağı anomali hesaplanarak elde edilen veriler, araziden ölçülmüş gravite verileri ile karşılaştırılarak ön kestirilen modelin yapıyı ne oranda yansıtabileceği araştırılır. Schlumberger tarafından geliştirilen WingLink programı, gravite modellemesi için 2.5 boyutlu Talwani modelleme algoritmalarını kullanmaktadır. Programda modelleme yapılırken modele ait parametreler kullanıcı isteğine bağlı olarak değişim imkanı sunar. Kuramsal bağıntısı bilinmeyen anomalilerin modellenmesi Talwani vd.(1959) tarafından geliştirilen modelleme yöntemiyle yapılır. Şekil 17’ deki, A dan B ye gravite etkisi bulunmak istenirse;

$$\Delta g = 2 \cdot G \cdot \rho \int_{\{\theta_i\}}^{\{\theta_{i+1}\}} z \cdot d\theta \quad (\text{Eşitlik10})$$

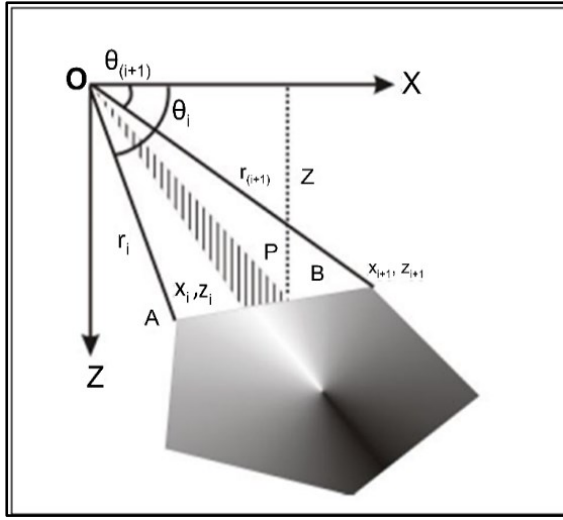
bağıntısı elde edilir.

$$r_i = (x_i^2 + z_i^2)^{\frac{1}{2}} \quad \theta_i = \arctan \frac{z_i}{x_i}$$

z yerine koyup integrali çözüldüğünde

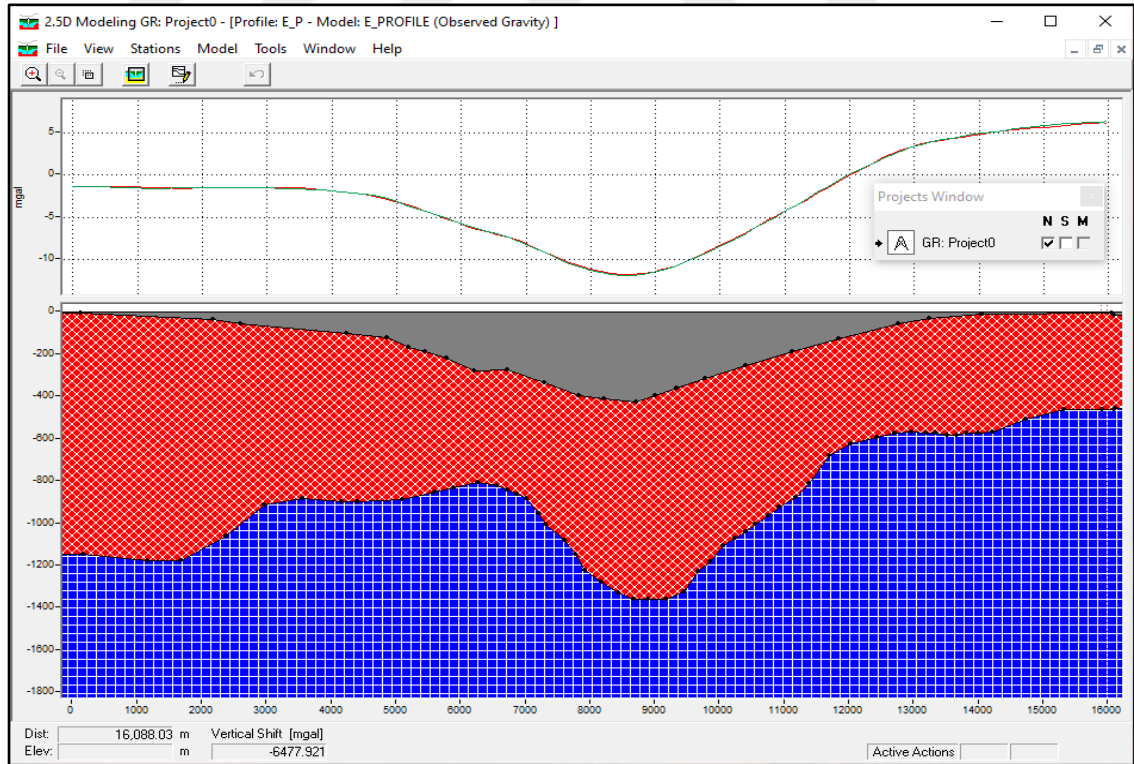
$$\Delta g = 2 G \rho \sum_{i=1}^n \left[\frac{((x_i + x_{i+1})(z_{i+1} - z_i))}{((x_{i+1} - x_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2)} ((x_{i+1} - x_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2) \right] \\ * \left\{ ((x_{i+1} - x_i)(\theta_i - \theta_{i+1})) + \left(\frac{1}{2}\right) (z_{i+1} - z_i) \ln \left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) \right\} \quad (\text{Eşitlik11})$$

bağıntısına ulaşılır. Bu bağıntıdan yararlanarak, yeraltında bulunan iki boyutlu çokgen şekilli bir cismin gravite anomalisi kolaylıkla hesaplanır.



Şekil 17. İki boyutlu bir cismin kartezyen koordinatları

Çalışma alanında bulunan üç DES profil hattı boyunca gravite bouguer anomali haritası üzerinden kesitler alınarak derinlik çözümlemesi amaçlı, 2.5 boyutlu Talwani modelleme çalışması yapılmıştır (Şekil 18). Bu modelleme için kullanılan bazı kayaçların özgül ağırlıkları (Telford vd., 1990) Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 18. 2.5 B’li Talwani modellemesi ile ilgili örnek bir profil, üstte kırmızı çizgi ölçülen Bouguer gravite anomalisini, yeşil çizgi hesaplanan gravite anomalisini, altta farklı yoğunluk değerlerine göre 1 km derinlikte 15 km genişlikte yoğunluk tabanlı gravite modeli

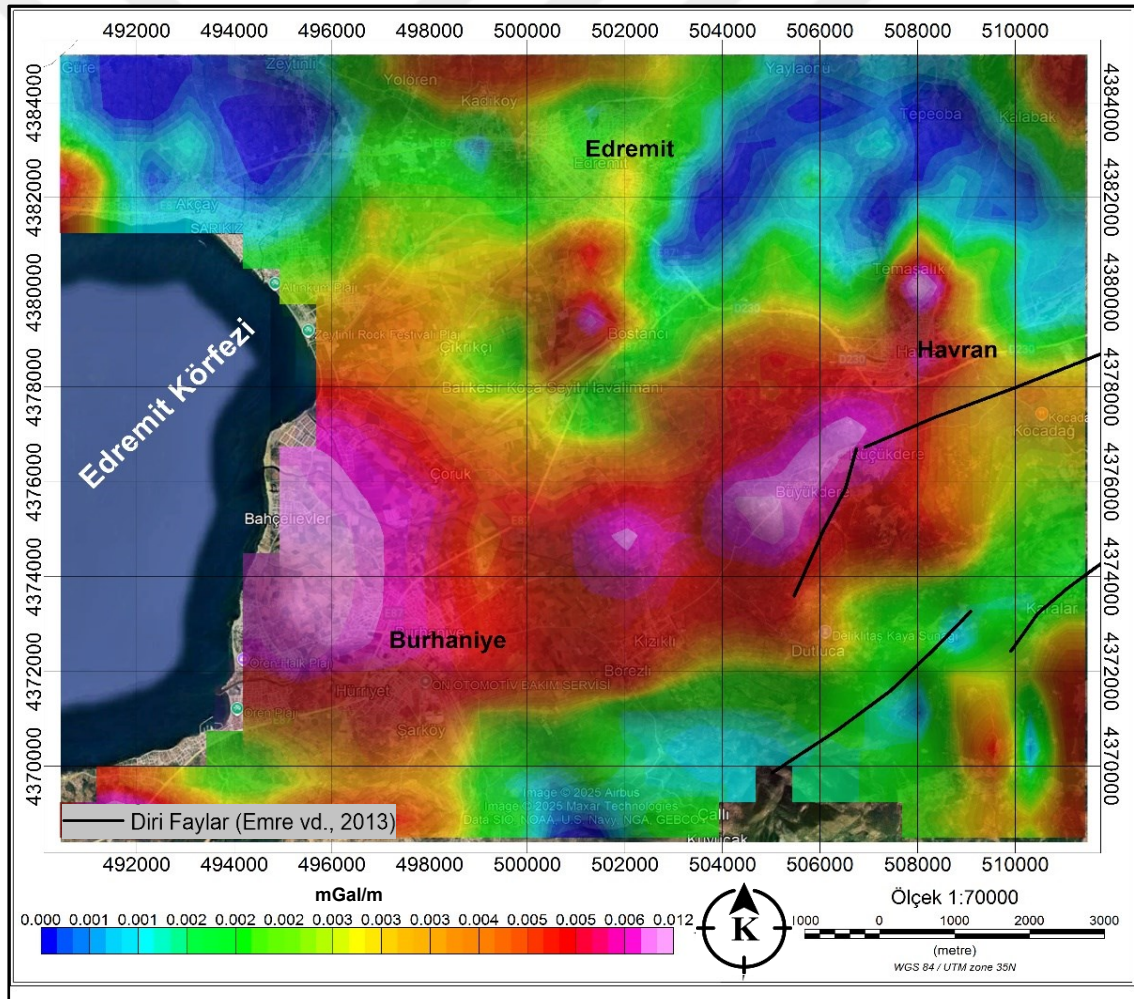
Tablo 1. Bazı kayaçların özgül ağırlıkları (Telford vd., 1990).

Kayaç Adı	Yaş Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Kuru Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)
Sedimanter Kayaçlar		
Alüvyon	1.98	1.54
Killer	2.21	1.70
Şeyl	2.40	2.10
Kireçtaşı	2.55	2.11
Magmatik Kayaçlar		Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Andezit		2.61
Granit		2.64
Bazalt		2.99
Metamorfik Kayaçlar		Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kuvasit		2.60
Mermer		2.77
Gnays		2.80

Havzanın orta kesimlerine doğru yer yer gravite değerlerinde nispi bir artış gözlenmekle birlikte, özellikle doğu kesimlerinde oldukça düşük anomali değerlerinin

devam ettiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu alanlarda kalınlığı artan, düşük yoğunluklu sedimanter dolgunun veya derinleşen havza geometrisinin varlığına işaret etmekte olup, Edremit Havzası'nın tektonik kontrollü graben karakterini destekler niteliktedir (Şekil 19).

Bouguer gravite anomalisi haritasında mavi ve koyu mavi renklerle temsil edilen negatif anomaliler, düşük yoğunluklu jeolojik birimlerin varlığına işaret etmekte olup, genellikle kalın sedimanter istifler, gevşek alüvyon dolgular veya yoğunluğu düşük kayalarla ilişkilendirilmektedir. Buna karşılık, kırmızı ve pembe tonlarla gösterilen pozitif gravite anomalileri, daha yüksek yoğunluklu kayaların varlığını yansıtmakta; bu alanlarda kristalin temel kayalar veya mafik bileşimli birimlerin yüzeylemesi ya da yüzeye yakın konumda bulunması olasılığı artmaktadır.

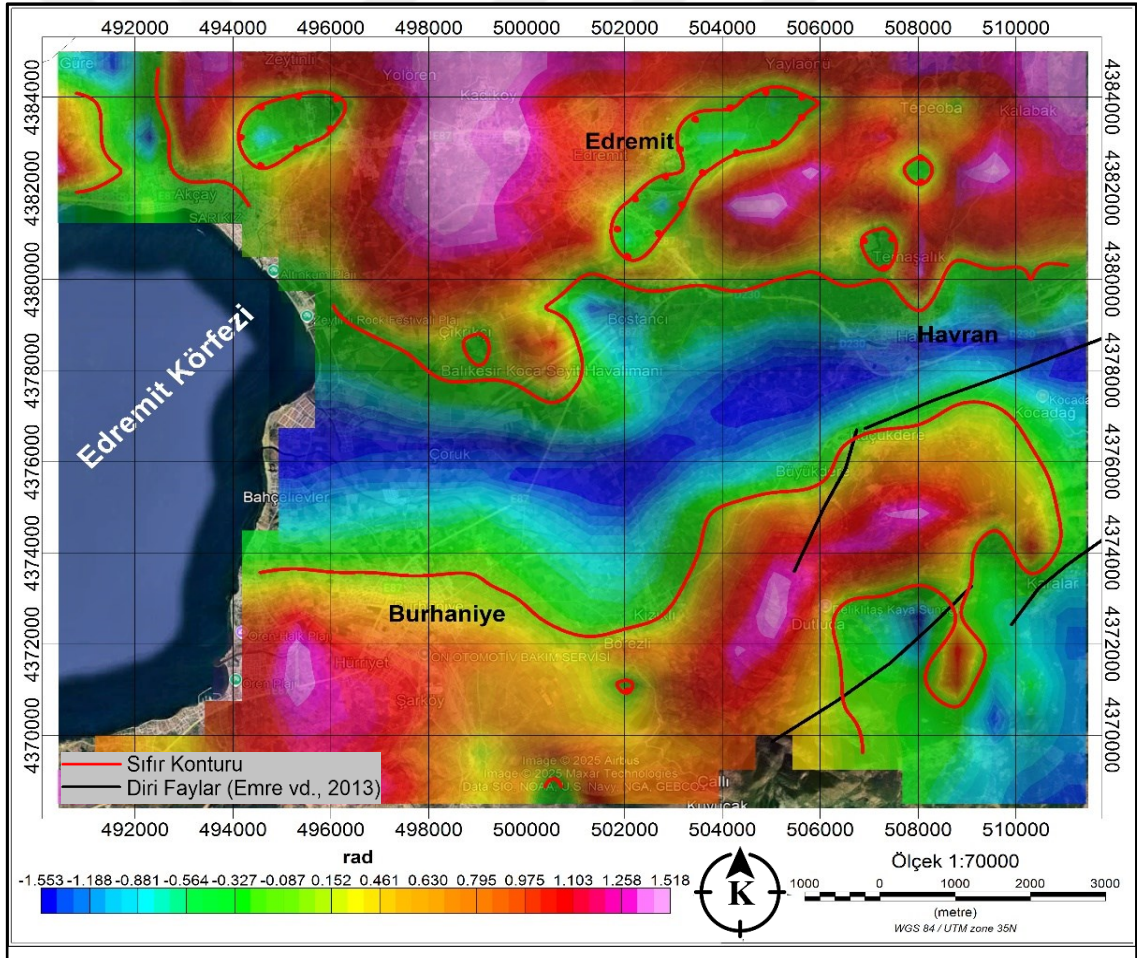


Şekil 20. Çalışma sahasının Gravite Bouguer Anomali değerlerinden elde edilen analitik sinyal haritası

Yoğunluk kontrastlarının yatay ve düşey değişimlerini daha net ortaya koyabilmek amacıyla hesaplanan analitik sinyal haritası (Şekil 20), özellikle yoğunluk değişimlerinin ani olduğu bölgelerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu haritada gözlenen yüksek

analitik sinyal değerleri, yeraltında yoğunluk farklarının keskin olduğu jeolojik sınırları, litolojik geçiş zonlarını veya fay hatlarını işaret etmektedir. Düşük Bouguer gravite anomalilerinin egemen olduğu alanlarda analitik sinyal değerlerinin yer yer yüksek olması, bu bölgelerin fay kontrollü çökellerle karakterize edilen geçiş zonları ya da farklı yoğunluktaki birimlerin keskin sınırlarla ayrıldığı yapısal alanlar olabileceğini düşündürmektedir.

Tilt açısı haritasında (Şekil 21) belirlenen sınırlar ise, yeraltındaki yapısal unsurların ve yoğunluk farklarına bağlı değişimlerin yatay konumlarını daha net bir biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle tilt açısı değerlerindeki ani değişimler, fay zonlarının sürekliliğini ve jeolojik birim sınırlarını vurgulamakta olup, Edremit Havzası'nın tektonik yapısının ve havza kenar faylarının konumunun belirlenmesi açısından önemli sonuçlar sağlamıştır.



Şekil 21. Çalışma sahasının Gravite Bouguer Anomali değerlerinden elde edilen tilt açısı haritası

Çalışma alanının orta kesimlerinde doğu–batı doğrultusunda uzanan düşük gravite anomalilerinin gözlemlendiği alanlarda, tilt açısı haritasında (Şekil 21) belirlenen anomali değişimleri, muhtemel fay zonları ve/veya yapısal süreksizliklerin varlığına işaret edecek

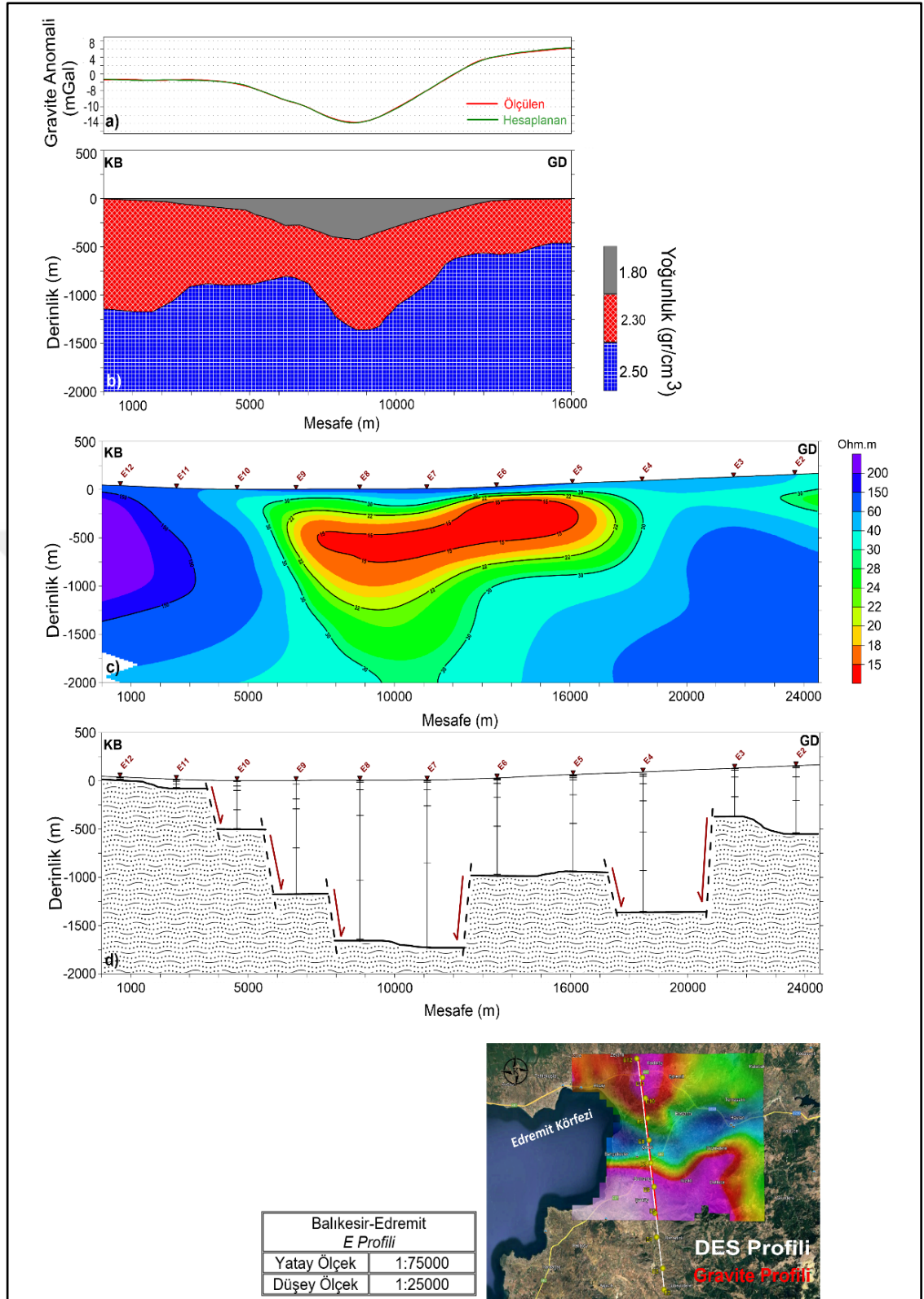
şekilde değerlendirilmiştir. Özellikle bu bölgelerde analitik sinyal haritasında (Şekil 20) yüksek değerlerin gözlenmesi, temel kaya ile havza dolgusu arasında belirgin bir yoğunluk kontrastının bulunduğunu ve faylarla kontrol edilen keskin geçiş zonları boyunca yoğunlaştığını düşündürmektedir.

Havzanın kuzey ve güney kesimlerinde belirlenen pozitif gravite anomalileri ise, daha yüksek yoğunluklu temel kayalar birimlerinin yüzeye yakın konumda bulunduğuna işaret etmektedir. Bu alanlarda yüzeyleyen porfiri granodiyoritler, Karakaya Formasyonu ve Kazdağı Metamorfikleri gibi birimlerin varlığı, gözlenen yüksek gravite değerleriyle uyumlu sonuçlar sunmaktadır. Tüm jeofizik anomalilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanında birden fazla yapısal unsurun etkili olduğu ve havza dolgusunu oluşturan düşük yoğunluklu birimler ile temel kayalar arasında belirgin yoğunluk kontrastlarının bulunduğu ortaya konulmuştur.

5.2. E Profilinin Değerlendirmesi

E profili, çalışma alanının en batı kesiminde, Edremit Körfezi'ne yaklaşık 5 km mesafede konumlanmakta olup, kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan toplam 11 adet DES noktasından oluşturulmuştur. Profilin toplam uzunluğu yaklaşık 24 km'dir (Şekil 22c, d). DES verileri, rejyonel ölçekli çalışmalar kapsamında elde edildiğinden, ölçüm noktaları arasındaki mesafeler ortalama 2 km civarındadır. Bu profil boyunca elde edilen jeoelektrik verilerde, "jeoelektrik temel" olarak tanımlanan birimlerin, yüzey jeolojisinde gözlenen volkanik birimlerden farklı özellikler sergilediği belirlenmiştir. Stratigrafik kesitlerle birlikte değerlendirildiğinde, söz konusu jeoelektrik temelin, bölgede yaygın olarak yüzeyleyen ve daha masif özellik gösteren Kazdağı Metamorfikleri ile temsil edildiği düşünülmektedir. Bu masif birimlerin yüksek öz direnç değerleriyle karakterize olması, profil boyunca belirlenen taban kaya geometrisinin ve havza dolgusunun kalınlığının yorumlanmasında önemli bir veri seti sunmaktadır.

E profiline ait elektrik öz direnç bir boyutlu ters çözüm sonuçları ve buna karşılık oluşturulan yapı kesiti birlikte değerlendirildiğinde, profilin kuzey kesiminde yüzey jeolojisinde Karakaya Formasyonu olarak tanımlanan volkanik birimlerin hemen altında, farklı bir jeolojik birimin gelişmediği ve Kazdağı Metamorfikleri'nin E12 noktasından E9 noktasına kadar süreklilik gösterdiği gözlenmektedir. Bu kesim boyunca "jeoelektrik temel" olarak tanımlanan birimlerin, yüzeylenen formasyonlarla uyumlu biçimde devam ettiği ve belirgin bir düşey yer değiştirme göstermediği anlaşılmaktadır.



Şekil 22. a) E profiline ait Gravite Anomalisi, b) 2.5 B’li Talwani gravite modeli, c) 1 Boyutlu DES ters-çözümü ve d) elektrik yapı kesiti

Buna karşılık, E11 ve E10 noktalarından sonra E8 noktasına kadar uzanan yaklaşık 6 km’lik kesimde, basamaklı faylarla kontrol edilen bir yapı gelişmiş olup, jeoelektrik temelin yaklaşık 1500–1750 m derinliklere kadar düştüğü belirlenmiştir. E6 ile E10 numaralı DES noktaları arasında gözlenen bu temel topoğrafyasındaki belirgin

derinleşme, çalışma alanında graben karakterli bir yapının varlığına işaret etmektedir. Eş zamanlı olarak Bouguer gravite anomali haritası (Şekil 18) ve profil boyunca oluşturulan 2.5B Talwani modelinin (Şekil 22b) birlikte incelenmesi sonucunda, E profili üzerinde havzanın en derin kesimlerinin E7 ile E9 noktaları arasında yer aldığı görülmektedir. Bu kesimde gravite ve elektrik öz direnç yöntemlerinden elde edilen bulguların birbirini net bir biçimde desteklediği anlaşılmaktadır.

Profilin devamında, E7 ile E6 noktaları arasında yaklaşık 500–700 m atıma sahip bir fay zone boyunca jeoelektrik temelin yaklaşık 1000 m derinliğe kadar yükseldiği gözlenmiştir. Bu yapısal yükselime karşılık olarak, Bouguer gravite anomali haritasında (Şekil 19) ve 2.5B Talwani modelinde (Şekil 22b), E7 noktasının güneyinde gravite anomalisi üreten yapının derinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu fay zoneunda gravite ve elektrik öz direnç yöntemlerinin uyumlu sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca E7 ve E6 noktalarında jeoelektrik temel seviyesinin süreklilik gösterdiği anlaşılmaktadır. Çalışma alanında E5 noktasının yaklaşık 500 m güneyinden itibaren Bouguer gravite anomali haritasının kapsama alanı sona ermektedir. Bu noktadan sonra yalnızca elektrik öz direnç kesitleri değerlendirildiğinde, E4 noktasında jeoelektrik temelin yaklaşık 250 m daha derinleştiği ve temel birimlerin yaklaşık 1250 m derinliğe ulaştığı belirlenmiştir. Profilin devamında ise fay kontrollü bir yapı etkisiyle jeoelektrik temelin yeniden yükselerek yaklaşık 500 m derinliklere kadar çıktığı tespit edilmiştir.

5.2.1. E Profilinin Yapısal Yorumu ve Bölgesel Tektonik ile İlişkisi

E profili boyunca elde edilen elektrik öz direnç ve gravite verilerinin birlikte değerlendirilmesi, Edremit Havzası'nın tektonik kontrollü bir graben sistemi karakteri sergilediğini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle E6–E10 DES noktaları arasında gözlenen jeoelektrik temeldeki belirgin derinleşme, basamaklı normal faylarla sınırlandırılmış bir çöküntü alanına işaret etmekte olup, havzanın gelişiminin genişleme rejimi altında şekillendiğini düşündürmektedir. Bu yapı, havza eksenini boyunca düşük yoğunluklu sedimanter dolgunun kalınlaştığını gösteren düşük Bouguer gravite anomalileri ile de desteklenmektedir.

E7–E9 noktaları arasında tanımlanan maksimum havza derinliği, hem 2.5B Talwani gravite modellemesi hem de DES tabanlı öz direnç kesitlerinde uyumlu biçimde izlenmekte olup, bu zoneun Edremit Havzası'nın ana depo merkezi niteliğinde olduğu değerlendirilmektedir. Buna karşılık, E7–E6 arasında tanımlanan ve yaklaşık 500–700 m atıma sahip fay zoneu boyunca jeoelektrik temelin yükselmesi, havza içi ikincil yapısal blokların varlığına işaret etmektedir. Bu yapısal yükselilerin, gravite anomalilerindeki

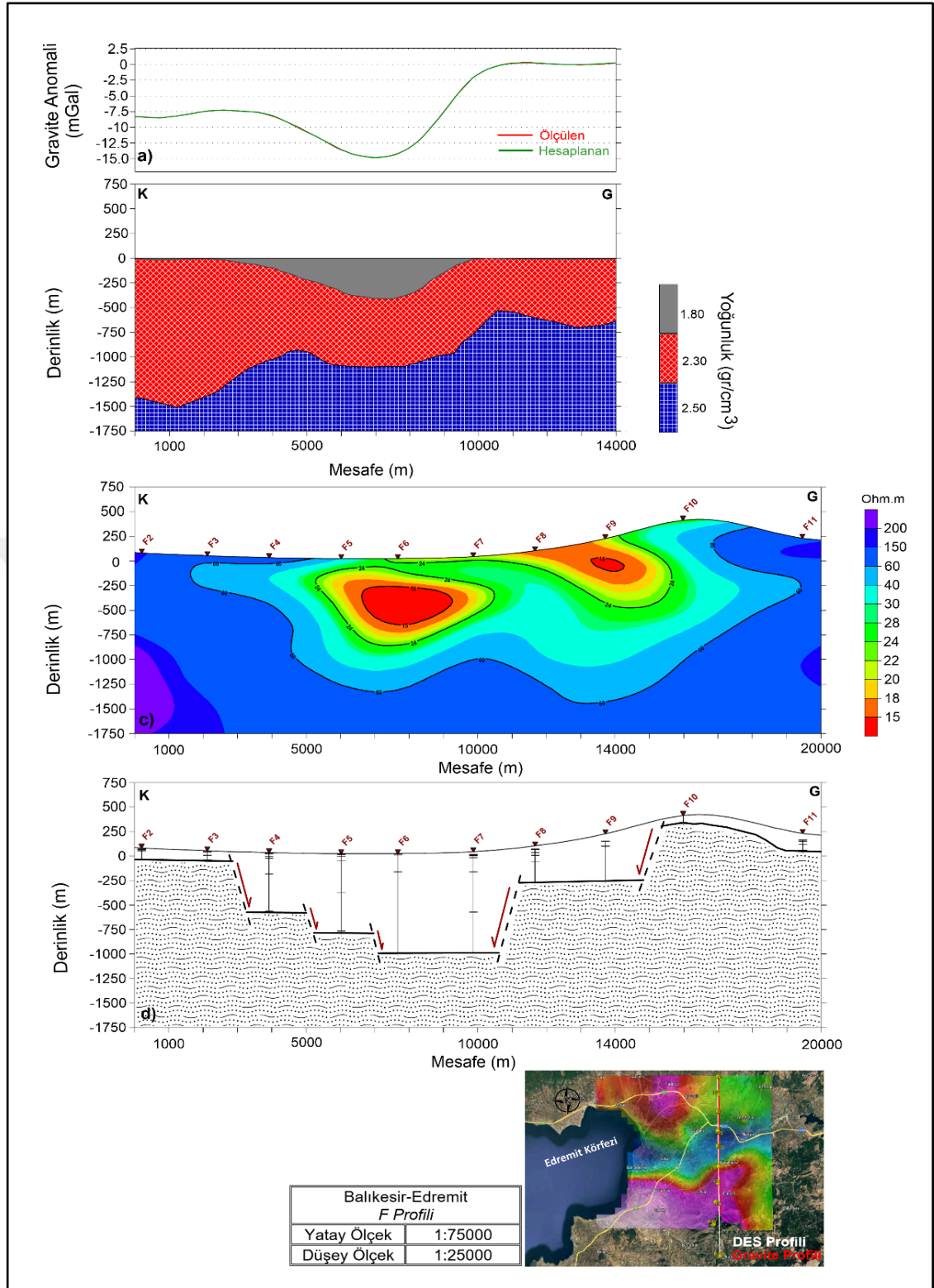
yerel artışlarla örtüşmesi, yoğunluk ve öz direnç verilerinin birlikte havza geometrisini başarıyla yansıttığını göstermektedir. E profilinin genelinde gözlenen fay kontrollü jeoelektrik temel değişimleri, Edremit Havzası'nın yalnızca tek bir ana fayla sınırlı basit bir graben yapısından ziyade, çok sayıda ikincil fay ve blok hareketi ile şekillenmiş karmaşık bir tektonik mimariye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, E profiline ait sonuçlar, havzanın bölgesel ölçekte Kuzey Ege genişleme rejimi ile uyumlu olarak geliştiğini ve taban kaya topoğrafyasının büyük ölçüde faylanma ile kontrol edildiğini destekler niteliktedir.

5.3. F Profilinin Değerlendirmesi

F profili, çalışma alanının orta kesiminde, Edremit ilçe merkezi ile Havran ilçesi arasında konumlanmakta olup, E profilinin yaklaşık 5 km doğusunda yer almaktadır. Profil, kuzey–güney doğrultusunda uzanan toplam 10 adet DES noktasından oluşturulmuş ve yaklaşık 20 km uzunluğundadır (Şekil 23c, d). DES verileri, rejyonel ölçekli çalışmalar kapsamında elde edildiğinden, ölçüm noktaları arasındaki mesafeler ortalama 2 km civarındadır.

Bu profil boyunca elde edilen jeoelektrik veriler incelendiğinde, “jeoelektrik temel” olarak tanımlanan birimlerin, yüzey jeolojisinde gözlenen volkanik birimlerden farklı elektriksel özellikler sergilediği belirlenmiştir. Stratigrafik kesitlerle birlikte değerlendirildiğinde, söz konusu jeoelektrik temelin, bölgede yaygın olarak yüzeyleyen ve daha masif bir karaktere sahip Kazdağı Metamorfikleri ile temsil edildiği düşünülmektedir. Bu birimlerin yüksek öz direnç değerleriyle ayırt edilebilir olması, F profili boyunca taban kaya derinliğinin ve havza dolgusunun kalınlığının güvenilir biçimde belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Profile ait elektrik öz direnç verilerinin bir boyutlu ters çözüm sonuçları ve yapı kesiti birlikte değerlendirildiğinde, profilin kuzey kesiminde yüzey jeolojisinde Oligo–Miyosen yaşlı granitoidlerin yer aldığı ve jeoelektrik temelin yaklaşık 4 km boyunca yüzeye yakın seviyelerde süreklilik gösterdiği gözlenmektedir. Profil boyunca, yüzeyde Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla başlayan ve altta volkanik ile sedimanter birimlerin ardalanmasıyla devam eden bir istiflenme belirlenmiştir. F2 ve F3 numaralı DES noktalarında ölçülen yüksek öz direnç değerlerinin, Kuvaterner çökellerinin yerel özelliklerini ve göreceli olarak daha kuru veya daha iri taneli litolojileri yansıttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 23. a) F profiline ait Gravite Anomalisi, b) 2.5 B’li Talwani gravite modeli, c) 1 Boyutlu DES ters-çözümü ve d) elektrik yapı kesiti

Profilin orta kesimlerinde, uç kesimlere kıyasla daha düşük öz direnç değerlerinin gözlenmesi, yüzeyde alüvyonla başlayan ve derinleştikçe volkanik ile sedimanter kayaların ardalanmasıyla devam eden daha kalın bir havza dolgusuna işaret etmektedir.

F4 noktasından itibaren başlayan fay zonunun, basamaklı bir yapı boyunca F6–F7 noktalarının bulunduğu kesime kadar jeoelektrik temeli derinleştirdiği ve bu bölgede temel derinliğinin yaklaşık 750 m'ye ulaştığı belirlenmiştir. Bu derinleşme, Bouguer gravite anomali haritası (Şekil 19) ve profil boyunca oluşturulan 2.5B Talwani gravite modeli (Şekil 23b) ile de desteklenmekte olup, F profili boyunca en derin havza kesiminin F6 ve F7 noktaları arasında yer aldığını göstermektedir. Bu kesimde gravite ve elektrik özdirenç yöntemlerinden elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

F7 noktasından sonra, jeoelektrik temelin fay kontrollü olarak yeniden yükseldiği belirlenmiş; F8 ve F9 noktalarının bulunduğu kesimde temel derinliğinin yaklaşık 250 m'ye kadar sığlaştığı tespit edilmiştir. F9 noktasından sonraki kesimde gravite verilerinin bulunmaması nedeniyle değerlendirmeler yalnızca elektrik özdirenç verilerine dayalı olarak yapılmış olup, F9 ile F10 noktaları arasında yer alan bir fay zonu boyunca jeoelektrik temelin yüzeylendiği anlaşılmaktadır. Jeoelektrik temel derinliği açısından E profili ile karşılaştırıldığında, F profilinde batıdan doğuya doğru ilerledikçe havza derinliğinin belirgin biçimde azaldığı ve havza geometrisinin doğuya doğru sığlaştığı net bir şekilde ortaya konulmuştur.

5.3.1. F Profilinin Yapısal Yorumu ve Bölgesel Tektonik ile İlişkisi

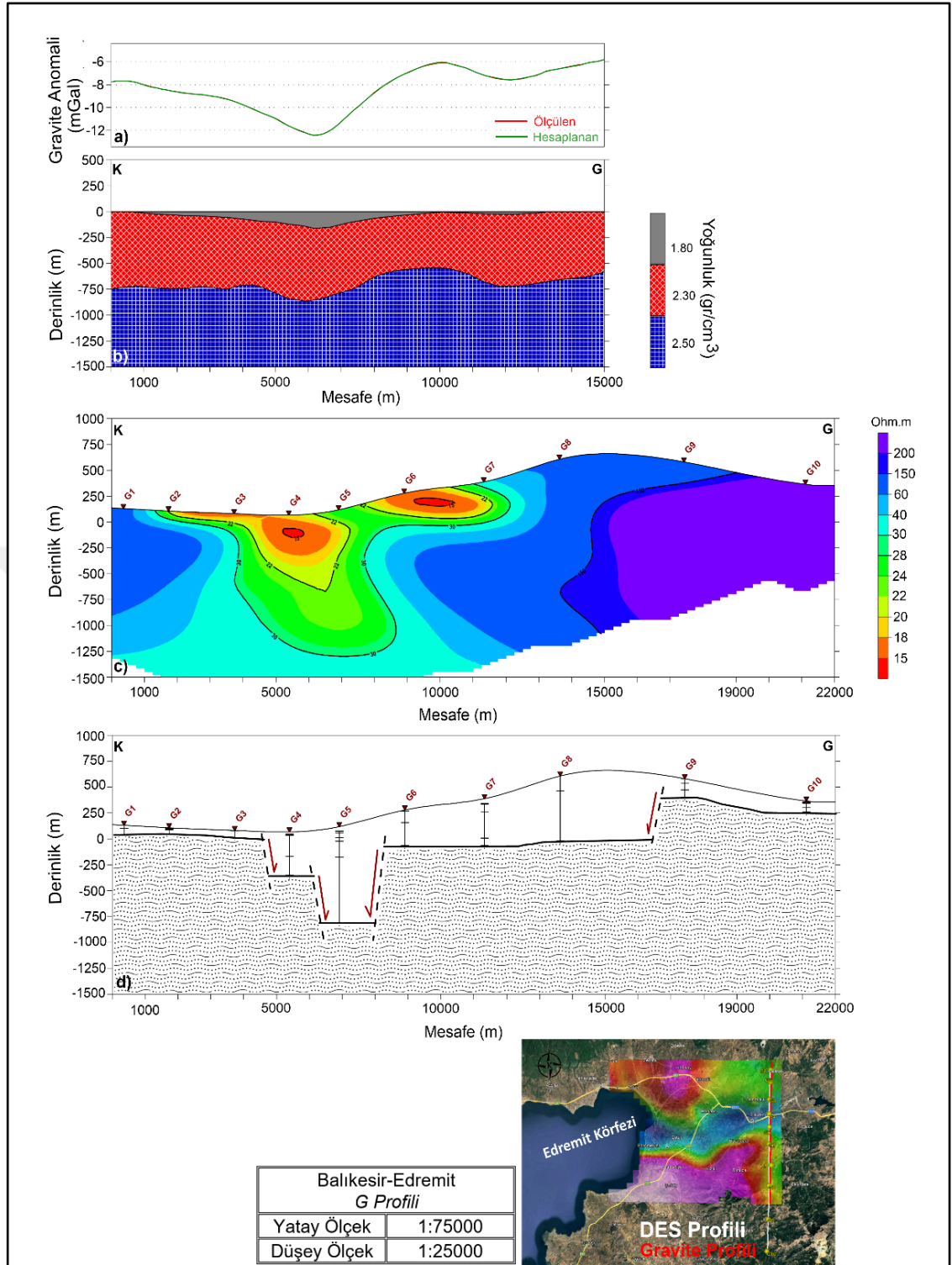
F profili boyunca elde edilen elektrik özdirenç ve gravite verilerinin birlikte değerlendirilmesi, Edremit Ovası'nın orta kesiminde taban kaya topoğrafyasının fay kontrollü olarak şekillendiğini ve havzanın doğuya doğru sığlaşan asimetrik bir graben geometrisi sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle F4–F7 DES noktaları arasında belirlenen basamaklı faylanma ile jeoelektrik temelin yaklaşık 750 m derinliğe kadar düşmesi, havza dolgusunun bu kesimde kalınlaştığını ve yapısal olarak aktif bir çöküntü zonunun geliştiğini göstermektedir. Bu yapısal derinleşmenin Bouguer gravite anomalilerindeki yerel düşüşler ve 2.5B Talwani gravite model sonuçlarıyla uyumlu olması, yoğunluk ve özdirenç verilerinin havza geometrisini güvenilir biçimde yansıttığını ortaya koymaktadır. Profilin kuzey ve güney uçlarında jeoelektrik temelin sığlaşması ve yer yer yüzeylemesi ise, havzayı sınırlayan temel kaya yükselimselrinin varlığına işaret etmekte olup, Edremit Ovası'nın bölgesel ölçekte Kuzey Ege genişleme rejimi altında gelişen, çok segmentli fay sistemleriyle kontrol edilen karmaşık bir tektonik yapıya sahip olduğunu desteklemektedir.

5.4. G Profilinin Değerlendirmesi

G profili, çalışma alanının en doğu kesiminde yer almakta olup Havran ilçe merkezinin yaklaşık 1 km doğusundan geçmektedir. Profil, kuzey–güney doğrultusunda uzanan toplam 10 adet DES noktasından oluşturulmuş ve yaklaşık 22 km uzunluğa sahiptir (Şekil 24c, d). DES verileri, rejyonel ölçekli çalışmalar kapsamında elde edildiğinden, ölçüm noktaları arasındaki mesafeler bu profil boyunca yaklaşık 2–3 km arasında değişmektedir. Bu bölgede ve çalışma alanının diğer kesimlerinde, “jeoelektrik temel” olarak tanımlanan birimlerin, yüzey jeolojisinde gözlenen volkanik birimlerden farklı özellikler sergilediği belirlenmiştir. Stratigrafik dikme kesitlerle birlikte değerlendirildiğinde, söz konusu jeoelektrik temelin daha masif bir karaktere sahip olup Kazdağı Metamorfikleri olarak adlandırılan birimlerle temsil edildiği düşünülmektedir.

Profile ait elektrik özdirenç bir boyutlu ters çözüm sonuçları ve buna karşılık oluşturulan yapı kesiti birlikte değerlendirildiğinde, profilin kuzey kesiminde yüzey jeolojisinde Karakaya Formasyonu’nun yer aldığı ve jeoelektrik temelin G1 ile G3 numaralı DES noktaları arasında yaklaşık 4–5 km boyunca yüzeye yakın seviyelerde süreklilik gösterdiği gözlenmektedir. G3 ile G5 noktaları arasında ise basamaklı faylanmanın etkisiyle jeoelektrik temelin bu profil boyunca en derin konumuna ulaştığı ve yaklaşık 750–800 m derinliğe kadar ulaştığı belirlenmiştir. Bu kesimden sonra, fay kontrollü bir yapı doğrultusunda jeoelektrik temelin yeniden yükselerek G6 noktasında yaklaşık 200 m derinliğe kadar sığlaştığı görülmektedir. G3 ile G6 numaralı DES noktaları arasında jeoelektrik temel topoğrafyasında gözlenen bu belirgin derinleşme, graben karakterli bir yapının varlığına işaret etmektedir.

Bu bölgede Bouguer gravite anomali haritası (Şekil 19) eş zamanlı olarak incelendiğinde, G profiline karşılık gelen hat boyunca havzanın en derin kesiminin G3 ile G5 noktaları arasında yer aldığı görülmektedir. Bu kesimde gravite ve elektrik özdirenç yöntemlerinden elde edilen bulguların birbiriyle uyumlu olduğu ve karşılıklı olarak birbirini desteklediği açıkça ortaya konulmaktadır. G6 noktasından sonra ise jeoelektrik temelin derinliğinin yaklaşık 10 km boyunca belirgin bir değişim göstermediği söylenebilir. Bu durum, Bouguer gravite anomali haritası (Şekil 19) ve profil boyunca oluşturulan 2.5B Talwani gravite modeli (Şekil 24b) ile de desteklenmektedir.



Şekil 24. a) G profiline ait Gravite Anomalisi, b) 2.5 B'li Talwani gravite modeli, c) 1 Boyutlu DES ters-çözümü ve d) elektrik yapı kesiti

G8 noktasının yaklaşık 2 km güneyinden itibaren Bouguer gravite anomali haritasının kapsama alanı sona ermektedir. Bu noktadan sonraki kesimde elektrik öz direnç ters çözüm sonuçları ve yapı kesiti değerlendirildiğinde, G8 ile G9 numaralı DES noktaları arasında yer alan bir fay zonu boyunca jeoelektrik temelin yüzeye yakın seviyelerde devam ettiği gözlenmektedir. G profili boyunca elde edilen bulgular,

havzanın jeoelektrik temel yapısının doğudan Edremit Körfezi'ne, yani batıya doğru ilerledikçe giderek derinleştiğini ve en derin kesimlerde temel derinliğinin yaklaşık 800 m'den 1500–1750 m aralığına ulaştığını ortaya koymaktadır.

5.4.1. G Profilinin Yapısal Yorumu ve Bölgesel Tektonik ile İlişkisi

G profili boyunca elde edilen elektrik öz direnç ve gravite verilerinin birlikte değerlendirilmesi, Edremit Havzası'nın doğu kesiminde taban kaya topoğrafyasının basamaklı normal faylarla kontrol edildiğini ve havzanın doğudan batıya doğru belirgin biçimde derinleştiğini ortaya koymaktadır. Özellikle G3–G6 DES noktaları arasında tanımlanan graben karakterli yapı, havza dolgularının bu kesimde kalınlaştığını ve tektonik kontrolün belirgin olduğunu göstermektedir. Bu yapısal derinleşmenin Bouguer gravite anomalilerindeki düşük değerler ve 2.5B Talwani gravite model sonuçlarıyla uyumlu olması, yoğunluk ve öz direnç verilerinin havza geometrisini güvenilir biçimde yansıttığını ortaya koymaktadır. G6 noktasından sonra jeoelektrik temelin göreceli olarak sığ ve yatay bir geometri kazanması, havzanın doğu kesiminde tektonik etkinliğin azaldığını veya farklı fay segmentleriyle kontrol edilen daha dengeli bir yapısal bloğun varlığına işaret etmektedir. G profilinden elde edilen bulgular, Edremit Ovası'nın bölgesel ölçekte Kuzey Ege genişleme rejimi altında geliştiğini ve havza geometrisinin çok segmentli fay sistemleri tarafından şekillendirildiğini desteklemektedir.

5.5. E–F–G Profillerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi ve Havza Geometrisinin Sentezi

E, F ve G profillerine ait elektrik öz direnç (DES) ve gravite verilerinin birlikte değerlendirilmesi, Edremit Ovası'nın taban kaya topoğrafyasının belirgin biçimde tektonik kontrollü olduğunu ve havza geometrisinin doğudan batıya doğru derinleşen asimetric bir graben yapısı sergilediğini ortaya koymaktadır. Profiller boyunca tanımlanan jeoelektrik temel, genel olarak Kazdağı Metamorfikleri ile temsil edilmektedir. Bu masif birimlerin havza dolgusu ile arasındaki belirgin öz direnç ve yoğunluk değişimleri, taban kaya geometrisinin güvenilir bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Doğu kesimde yer alan G profilinde, jeoelektrik temel derinliği en fazla yaklaşık 750–800 m seviyelerine ulaşmakta ve bu kesimde havzanın göreceli olarak sığ bir yapı sergilediği görülmektedir. Orta kesimde konumlanan F profilinde ise fay kontrollü basamaklı yapıların etkisiyle jeoelektrik temelin yaklaşık 750 m derinliğe kadar indiği, ancak doğuya kıyasla daha karmaşık bir blok geometrisinin geliştiği belirlenmiştir. Buna

karşılık, batı kesimde yer alan E profilinde jeoelektrik temelin 1500–1750 m derinliklere kadar ulaşması, Edremit Ovası'nın en kalın sedimanter dolgusunun bu bölgede geliştiğini ve ana depo merkezin körfeze yakın kesimlerde yer aldığını göstermektedir.

Tüm profiller boyunca tanımlanan basamaklı normal faylar, havza tabanının tek bir ana fayla değil, çok segmentli ve çok kademeli bir fay sistemiyle şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu yapısal özellikler, Bouguer gravite anomali haritalarında izlenen düşük gravite zonları ve 2.5B Talwani gravite model sonuçları ile büyük ölçüde uyumlu olup, gravite ve elektrik öz direnç yöntemlerinin havza geometrisini birbirini tamamlayıcı biçimde ortaya koyduğunu göstermektedir. Özellikle profiller boyunca tanımlanan maksimum havza derinliklerinin, gravite anomalilerindeki minimum değerlerle çakışması, elde edilen jeofizik yorumların güvenilirliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, E–F–G profillerinin birlikte değerlendirilmesi, Edremit Ovası'nın bölgesel ölçekte Kuzey Ege genişleme rejimi altında gelişmiş, doğudan batıya doğru derinleşen, asimetrik ve çok segmentli bir graben sistemi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, havzanın tektonik evriminin anlaşılmasına katkı sağlamakta ve yeraltı yapısının modellenmesi açısından elektrik öz direnç ve gravite yöntemlerinin birlikte kullanımının önemini vurgulamaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Edremit Ovası ve çevresinin taban topoğrafyasının ortaya konulması amacıyla Bouguer gravite anomalileri ile jeoelektrik (DES) verileri birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen gravite ve jeoelektrik bulgular, Edremit Ovası'nın belirgin biçimde fay kontrollü bir çöküntü yapısı sergilediğini ve havza gelişiminin aktif tektonik süreçlerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bouguer gravite anomalisi haritasına göre (Şekil 19), anomali değerlerinin -15.699 ile $+16.831$ mGal arasında değiştiği belirlenmiştir. Havzanın kuzey ve güney kesimlerinde gözlenen yüksek pozitif gravite anomalileri; Sakarya Zonu, Eosen–Miyosen yaşlı granitoidler, Karakaya Formasyonu ve Kazdağı Metamorfikleri gibi yüksek yoğunluklu temel kayaç birimlerine karşılık gelmektedir. Buna karşın, havza boyunca doğu–batı doğrultusunda izlenen düşük gravite anomalileri, Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla dolu, düşük yoğunluklu bir çöküntü alanını temsil etmektedir. Bouguer gravite anomalisi haritasından türetilen analitik sinyal ve tilt açısı haritalarının birlikte değerlendirilmesi (Şekil 19 ve 20), yoğunluk farklarının belirgin olduğu geçiş zonlarını ve olası fay hatlarını açık biçimde ortaya koymuştur. Özellikle düşük gravite anomalilerinin gözlendiği alanlarda analitik sinyal değerlerinin yüksek olması, temel kaya ile havza dolgusu arasında güçlü bir yoğunluk farkının bulunduğunu desteklemektedir. Tilt açısı haritasında tanımlanan doğrusal sınırlar ise havzanın doğu–batı doğrultulu yapısal unsurlarla sınırlandığını ve fay kontrollü bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır.

DES verilerinin değerlendirilmesi, gravite bulgularını önemli ölçüde desteklemiştir. E profili boyunca, Kazdağı Metamorfikleri'nin yüzeylettiği kuzey kesimlerden itibaren jeoelektrik temelin güney yönünde basamaklı fayların etkisiyle 1500 – 1750 m derinliklere kadar indiği belirlenmiştir. Bu kesimde, Bouguer gravite anomalisi ve 2.5B Talwani gravite modeliyle uyumlu olarak, havzanın en derin bölümü E7–E9 noktaları arasında tanımlanmıştır. F profili incelendiğinde, jeoelektrik temelin F5–F7 noktaları arasında yaklaşık 750 m derinliğe ulaştığı, doğuya doğru ilerledikçe havza derinliğinin azaldığı gözlenmiştir. G profili ise Havran çevresinde, jeoelektrik temelin G3–G5 noktaları arasında yaklaşık 750 – 800 m derinliğe ulaştığını, batıya doğru ise havza derinliğinin belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Bu bulgular, Edremit Ovası'nın doğudan batıya doğru derinleşen asimetric bir çöküntü havzası niteliğinde olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Gravite ve jeoelektrik kesitlerin birlikte yorumlanması, bölgedeki temel kaya topoğrafyasının basamaklı normal faylarla kontrol edildiğini ve graben karakterli bir morfolojinin geliştiğini göstermektedir. Özellikle Edremit Körfezi yönünde belirginleşen düşük gravite anomalileri, kalın alüvyon birikimleri ve aktif tektonizma etkisiyle gelişmiş genç çökellerin varlığını desteklemektedir. Havzanın kuzey ve güneyinde yer alan Kazdağı Metamorfikleri ve granitoid kayaçlar gibi yüksek yoğunluklu birimler, havza kenarlarını sınırlandırmakta; gravite ve jeoelektrik veriler ise temel kaya ile havza dolgusu arasındaki yoğunluk ve özdirenç kontrastlarını ve buna bağlı yapısal sınırları net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Edremit Havzası'nın jeolojik evriminin aktif tektonik süreçlerle şekillendiğini ve havza oluşumunda fay sistemlerinin baskın bir rol oynadığını göstermektedir.

Sonuç olarak, Edremit Havzası ve çevresinin, aktif tektonik rejim altında gelişmiş, gravite ve elektrik özdirenç yöntemlerle açık biçimde tanımlanabilen fay kontrollü bir çöküntü alanı olduğu ortaya konulmuştur. Bölge, yalnızca akademik jeofizik araştırmalar açısından değil; aynı zamanda jeotermal enerji potansiyeli, yeraltı suyu kaynaklarının belirlenmesi ve deprem tehlike değerlendirmeleri açısından da stratejik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, çok disiplinli yaklaşımları içeren ileri jeofizik, jeolojik ve jeoteknik çalışmaların bölge ölçeğinde sürdürülmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Akyürek, B., Soysal, Y. (1978). Kırkağaç-Soma (Manisa)-Savaştepe, Korucu, Ayvalık (Balıkesir)-Bergama (İzmir) civarının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 6432, Ankara (yayınlanmamış).
- Altınır, D., Koçyiğit, A., ve Özkan-Altınır, S. (1991). Stratigraphy and sedimentology of the Kalabak Formation in NW Anatolia. *Geological Bulletin of Turkey*, 34, 1–16.
- Altınlı, İ. E. (1973). Bilecik Jurasîğı. 50. Yıl Yerbilimleri kongresi, *Tebliğler Dergisi*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü yayını, 112-113s.
- Altınoğlu, F. F. (2023). Mapping of the structural lineaments and sedimentary basement relief using gravity data to guide mineral exploration in the Denizli Basin. *Minerals*, 13(10), 1276.
- Altundaş, S., (2010). *Beton Dayanımının Tahmininde Kullanılan Jeofizik Yöntemler*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Arslan, G., vd. (2011). Türkiye Rejyonal Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi: İzmir-Çanakkale-Balıkesir Çevresi Jeofizik Etüdü. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)*, Ankara.
- Aydan, Ö., ve Ulusay, R. (2013). Geotechnical and earthquake engineering aspects of urban development in seismic areas. *Springer*.
- Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (2019). Balıkesir İli 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı Açıklama Raporu. Balıkesir, 158 s.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B. (1973). Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, *Maden Tetkik ve Arama yayını*, 70-77, Ankara.
- Binley, A., ve Kemna, A. (2005). DC resistivity and induced polarization methods. *Hydrogeophysics*, 129–156.
- Blanc, P. (1965). Serie stratigraphique de Çalköy (Anatolie Occidentale, Turquie) presence despilites dans le Permien. *Societe geologique de France, Comptes Rendus* 3, 100-102.

- Blakely, R. J. (1995). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – A synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1–3), 3–30.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Can, Ş., Sarı, R., Yılmaz Ş., Altunkaynak, Ş. (2006). Kuzeybatı Anadolu’da Neo-Tetis çarpışma zonu boyunca litosferik dilim kopmasından türemiş Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) ve Kozak (İzmir) granitoidlerinin jeokimyası ve K-Ar soğuma yaşları. Türkiye 59. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri kitapçığı.
- Büyüksaraç, A., Eyisüren, O., Bektaş, Ö., ve Karaca, Ö. (2023). Bedrock Depth Calculation of Çanakkale (Turkey) Basin Using Rayleigh Ellipticity and Microgravity Survey. *Geofísica Internacional*, 62(1), 387–401.
- Candansayar, M. E. (2016). JFM316 Elektrik Yöntemler (Doğru Akım Öz direnç Yöntemi) [Ders notu]. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
- Clark, D. A. (1997). Magnetic petrology of igneous intrusions: Implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, 28(2), 77–86.
- ÇŞB (2019). Balıkesir İl Çevre Durum Raporu (2019). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 232, Ankara.
- Çiçek İ., Öner E., İlhan R. (2025). Fiziki Coğrafya Araştırmaları, Ege Üniversitesi Yayınları, 625-627, İzmir.
- Dahlin, T., ve Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2D resistivity imaging with ten electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, 379–398.
- Dhaoui, M., Gabtni, H., Jallouli, C., Jleilia, A., Mickus, K. L., ve Turki, M. M. (2014). Gravity analysis of the Precambrian basement topography associated with the northern boundary of Ghadames Basin (southern Tunisia). *Journal of Applied Geophysics*, 111, 299–311.
- DMİ (2020). Edremit Meteorolojik Gözlem Verileri (1970–2020). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Ankara.
- DSİ (2017). Edremit-Güre-Kazdağı Yöresi Hidrolojik Değerlendirme Raporu. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Balıkesir 25. Bölge Müdürlüğü.

- Dönmez, M., Akçay, E.A., Genç, Ş.C. ve Acar, Ş. (2005). Biga Yarımadası'nda Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131, 49-61.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş. C., Altunkaynak, Ş., Eyüpoğlu, M., Ilgar, Y. ve Yavaş, F. (2009). Biga Yarımadası Tersiyer volkanizmasının stratigrafik, petrografik ve kimyasal özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Rapor No: 11165, Ankara (yayımlanmamış).
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F., Kar, H. (2004). New results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in northwest Turkey. *Turkish journal of Earth Sciences*, "A special issue commemorating, Okan Tekeli", 177-186.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Ilgar, A., Dönmez, M. ve Akçay, A. E. (2007a). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Ayvalık, İ17 Paftası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 98, Ankara.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Ilgar, A., Akçay, A. E. (2007b). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Balıkesir, İ18 Paftası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 97, Ankara.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Okay, A. İ., Şentürk, Y. ve Kar, H. (2012). Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi, Biga Yarımadası'nın Tersiyer Öncesi Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Özel Yayın Serisi-28*, Ankara-İstanbul.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., ve Elmacı, H. (2018). Active fault map of Turkey. *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)*, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30*, Ankara-Türkiye, ISBN: 978-605-5310-56-1.
- Eşder, T., Yakabağ, A., Sarıkaya, H., Çiçekli, K. (1991). Aliaga (İzmir) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ege Bölge Müdürlüğü*, İzmir.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* (4. Baskı). Prentice Hall.

- Florio, G. (2020). The estimation of depth to basement under sedimentary basins from gravity data: Review of approaches and the ITRESC method, with an application to the Yucca Flat Basin (Nevada). *Surveys in Geophysics*, 41(5), 935-961.
- Granit, Y., Tintant, H. (1960). Observation preliminaires sur le Jurassic de la region de Bilecik (Turquie): *Comptes Rendus Acad. Science*, Paris, 251, 1801-1803.
- Gürer, F., ve Yılmaz, Y. (2002). Geology and tectonic evolution of the Edremit Basin, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 1–20.
- Helaly, A. S., (2019). Shaping buried bedrock topography using resistivity and gravity data in Wadi Allaqi, Eastern Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Geology*, 63, 21-37.
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2013). *Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications*. Cambridge University Press.
- Ibrahim, A. and Hinze, J. W. (1972). *Mapping Buried Bedrock Topography with Gravity*.
- İşseven, T., Aydın, N. G., ve Arslan, M. S. (2023). 2D modelling the depth of the southeastern Thrace Basin by using Bouguer gravity anomalies. *Acta Geophysica*, 72(2), 849-860.
- Kanar, F., Pehlivan, Ş., Kandemir, Ö., Tok, T., Çakır, K. (2013). 1: 100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Bursa-H22 Paftası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 192, Ankara.
- Kaya, O. (1978). Ege kıyı kuşağı (Dikili-Zeytindağı-Menemen-Yenifoça) Neojen stratigrafisi. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Monografiler serisi*, 17, İzmir.
- Kayadibi, Ö., Akıllı, H., Gürboğa, Ş., Arıkan, S., Tan, S., Deveci-Aral, Z., Kürçer, A. (2022). Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Doğu Anadolu Fay Sistemi Boyunca Gelişmiş Havzaların Jeotermal Enerji Potansiyellerinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yöntemleri ile İncelenmesi: 3- Edremit (Balıkesir) Havzası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 14118, 130, Ankara.
- Kearey, P., Brooks, M., ve Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration* (3. Baskı). Blackwell Science.
- Krushensky, R.D. (1976). Neogene calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar Yeşiller area, northwest Anatolia, Turkey. *Bulletin Volcanologique*, 40, 336-360.

- Krushensky, R.D., Akçay, Y., Karaege, E. (1980). Geology of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. *Bull USA, Geol. Survey*, 1461.
- Leaman, D. E. (1998). The gravity terrain correction – practical considerations. *Exploration Geophysics*, 29(4), 467–471.
- Loke, M. H., ve Barker, R. D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections. *Geophysical Prospecting*, 44, 131–152.
- Loke, M. H. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software.
- Loke, M. H., Chambers, J. E., Rucker, D. F., Kuras, O., ve Wilkinson, P. B. (2013). Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics*, 95, 135–156.
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Lyrio, J. C. S. O., ve Li, Y. (2023). Basement mapping using nonlinear gravity inversion with borehole and seismic constraints. *Minerals*, 13(9), 1173.
- Mertoğlu, O., Bakır, N., ve Kaya, T. (2015). Geothermal energy use, country update for Turkey. World Geothermal Congress, Melbourne.
- MGM (2015). Türkiye İklim Sınıflandırması ve Bölgesel İklim Özellikleri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, No: 16, Ankara.
- Miller H. G., Singh V. (1994). Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217.
- MTA (2002). 1/25.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji/Topografya Paftaları – Balıkesir Edremit Bölgesi (I17-c3, I18-d4, J17-b2, J18-a1). *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Nabighian, M. N., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O., LaFehr, T. R., Li, Y., Peirce, J. W., ve Wright, D. L. (2005). The historical development of the gravity method in exploration. *Geophysics*, 70(6), 63–89.
- Neumary, M. (1887). Uber Trias und Kohlenkalkversteinerungen aus dem westlichen Kleiasian, Ans. Kais. Akad. Wiss. *Wien.*, 241-243.
- Okay, A. İ. (1987). Notes on the geology of northwest Turkey. Guide book on the geology of the western Anatolia for the IGCP project number five. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 1-11, Ankara.

- Okay, A. İ. (1988). Çan-Yenice-Biga arasının jeolojisi ve tektoniği. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu, 2544 (yayımlanmamış).
- Okay, A. İ., Siyako, M. ve Bürkan, K. A. (1990). Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2/1, 83-121.
- Okay, A. I., Siyako, M., ve Bürkan, K. (1991). Geology and tectonics of the Biga Peninsula. *MTA Bulletin*, 113, 1–23.
- Okay, A. I., ve Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society of London, Special Publications, 156, 475–515.
- Okay, A. İ., Göncüoğlu, M. C. (2004). The Karakaya Complex: A Review of Data and Concepts. *Turkish Journal of Earth Science*, TUBITAK, 13/2, 77-96.
- Okay, A. I., Satır, M., ve Tüysüz, O. (2006). The tectonics of the Sakarya Zone: Evolution of a continental fragment in NW Anatolia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 87–106.
- Özalaybey, S., Zor, E., Ergintav, S., ve Tapırdamaz, M. C. (2011). Investigation of 3-D basin structures in the İzmit Bay area (Turkey) by single-station microtremor and gravimetric methods. *Geophysical Journal International*, 186(2), 883–894.
- Özdağ, Ö. C., Akgün, M., ve Gönenç, T. (2020). Determining bedrock of the northern part of İzmir Bay, western Anatolia, using a combination of microtremor, ESPAC, VES, and microgravity methods. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 61(4), 433–450.
- Özdemir, A. (2008). Çok-elektrotlu Özdirenç Ölçümlerinin Mühendislik Jeolojisi, Çevre ve Yeraltısuyu Kirliliği Araştırmalarındaki Uygulamalarının Değerlendirilmesi.
- Özhan, N. (1977). Edremit ve Armutova (Gömeç) Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Panthi, J., Johnson, C. D., Pradhanang, S. M., Savage, B., Ismail, M. Y., ve Boving, T. B. (2023). Delineating bedrock topography with geophysical techniques: An implication for groundwater mapping. *Catena*, 230, 107258.
- Parasnis, D. S. (1997). *Principles of applied geophysics* (5. Baskı). Chapman ve Hall.
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2. Baskı). Wiley-Blackwell.

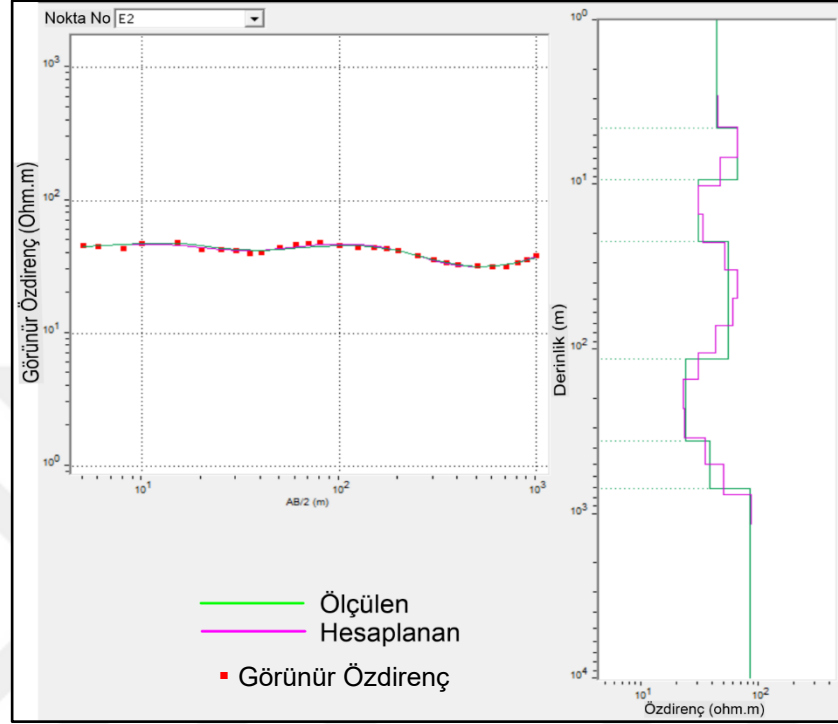
- Roest, W. R., Verhoef, J. and Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 55, 116-125.
- Saka, K. (1979). Edremit Körfezi ve civarı Neojeni'nin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu*, 1341, 17s, Ankara.
- Seaton, W. J., ve Burbey, T. J. (2002). Evaluation of two-dimensional resistivity methods in a fractured crystalline-rock terrane. *Journal of Applied Geophysics*, 51, 21–41.
- Sharma, P. V. (1997). *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge University Press.
- Sharma, S. P., ve Baranwal, V. C. (2005). Delineation of groundwater-bearing fracture zones in a hard rock area integrating hydrogeological, geophysical, and remote sensing data. *Hydrogeology Journal*, 13(7), 118–128.
- Siyako, M., Bürkan, K. A., Okay, A. İ. (1989). Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrolleri Jeoloji Derneği Bülteni* 1/3, 183- 199, Ankara.
- Şimşek, Ş. (2003). Hydrogeological and geochemical structure of geothermal fields in Turkey. *Geothermics*, 32(4–6), 669–678.
- Soupios, P. M., Papadopoulos, N., Papazachos, C., Saltas, V., Vallianatos, F., ve Makris, J. (2007). Application of integrated geophysical methods in hydrogeological and environmental investigations: An overview. *Surveys in Geophysics*, 28(1), 71–91.
- Štěpančíková, P., Dohnal, J., Pánek, T., Łój, M., Smolková, V. and Šilhán, K. (2011). The application of electrical resistivity tomography and gravimetric survey as useful tools in an active tectonics study of the Sudetic Marginal Fault (Bohemian Massif, central Europe). *Journal of Applied Geophysics*, 74(1), 69-80.
- Nursalam, L. O., Arisona, A., Ramli, R., Harudu, L., Kasmianti, S., Harianto, E., Ikhsan, F. A., ve Sejati, A. E. (2019). Mapping of subsurface geological structure and land cover using microgravity techniques for geography and geophysics surveys: A case study of Maluri Park, Malaysia. *Geosfera Indonesia*, 4(3), 280–290.
- Niebauer, T. (2007). Gravimetric Methods – Absolute Gravimeter: Instruments, Concepts and Implementation. *In Treatise on Geophysics*, 43–64.
- Tapırdamaz, M. Cengiz., (2019). Aktif Tektonik Araştırma Grubu. <http://atag.itu.edu.tr/v4/?p=135.2019.04.26>

- Talwani, M., Worzel, J.L. and Landisman, M. (1959). Rapid Gravity Computations For Two-Dimensional Bodies With Applications To The Mendocino Submarine Fracture Zones, *Jour. Of Geophys. Res.*, 54, 49-59.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2. Baskı). Cambridge University Press.
- Torge, W. (1989). *Geodesy* (2. Baskı). Berlin: Walter de Gruyter.
- Uluğtekin, M., Gönenç, T., ve Özdağ, Ö. C. (2022). Examining several edge detection techniques in gravity method together with 3D bedrock topography: A case study from the northern part of the İzmir/Turkey. *Journal of Earth System Science*, 131(3), 144.
- Yaltrak, C. (2003). Tectonic evolution of the Gulf of Edremit and surrounding region (NW Turkey). *İstanbul Technical University Publications*.
- Yılmaz, Ö. (2001). Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data. *SEG*.

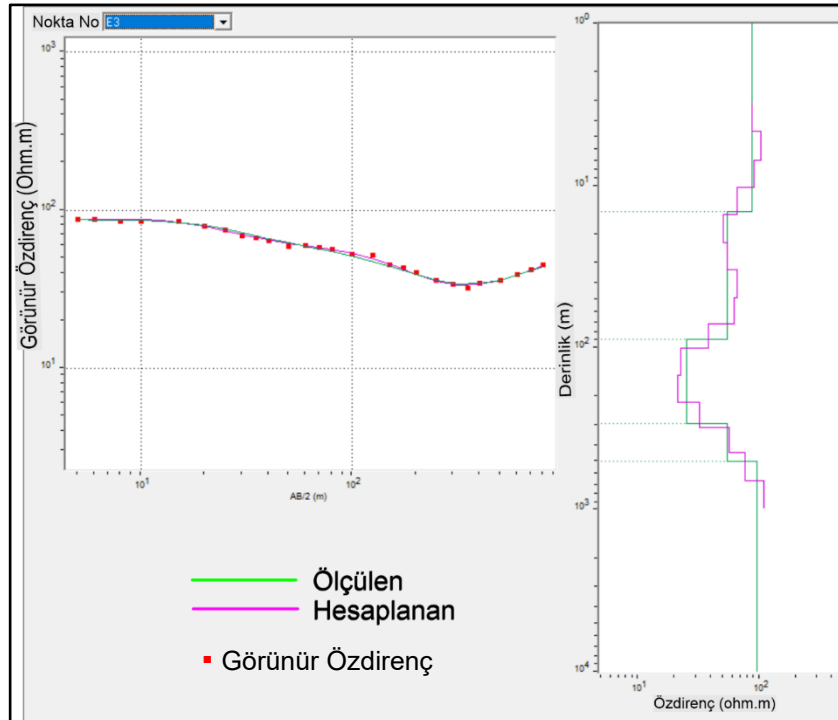
EKLER

Ek 1.Düşey Elektrik Sondaj Noktalarına ait Eğriler ve Tabaka Modelleri

E2 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

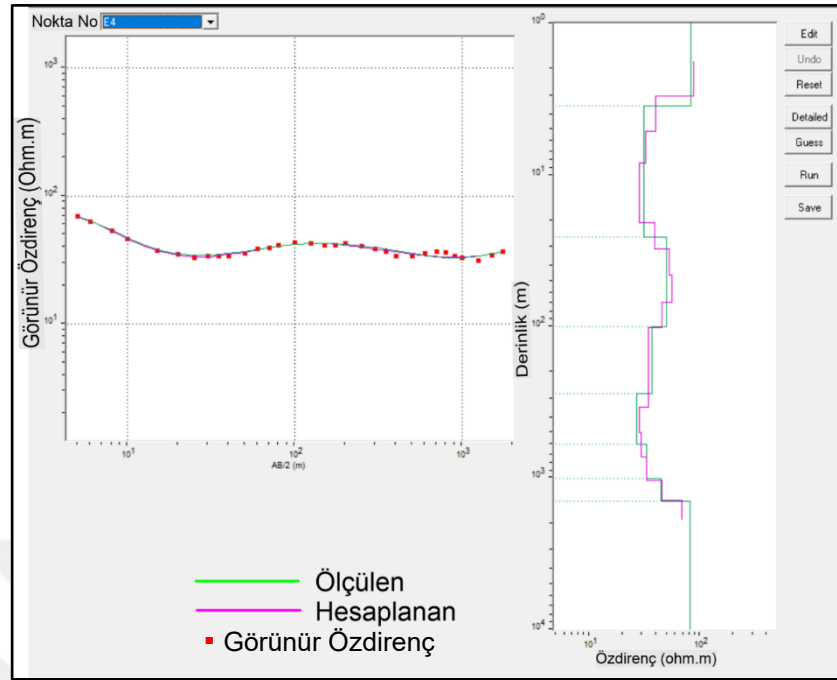


E3 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

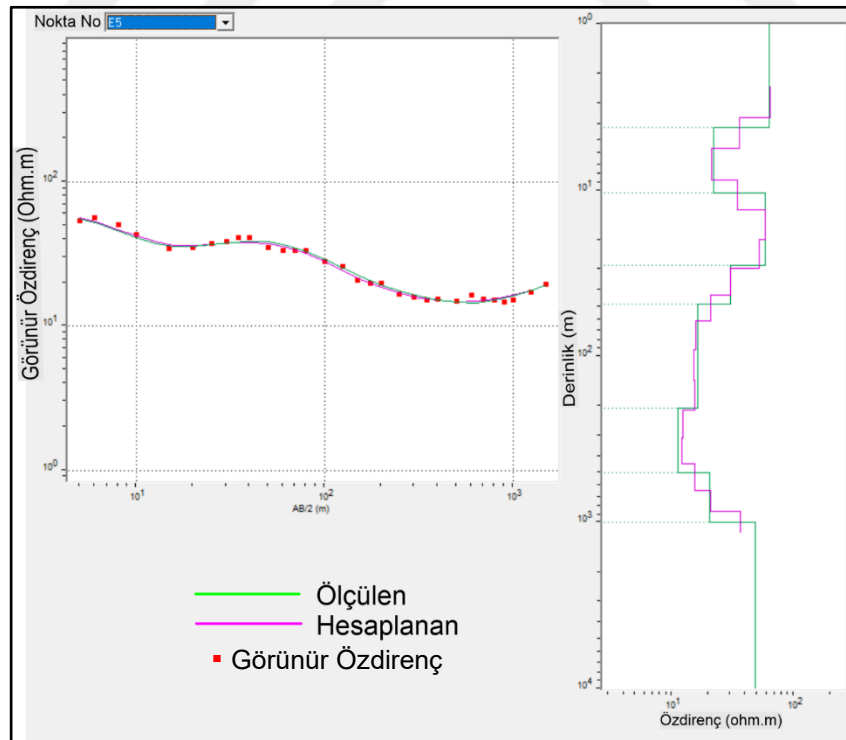


Ek 1 (Devamı)

E4 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

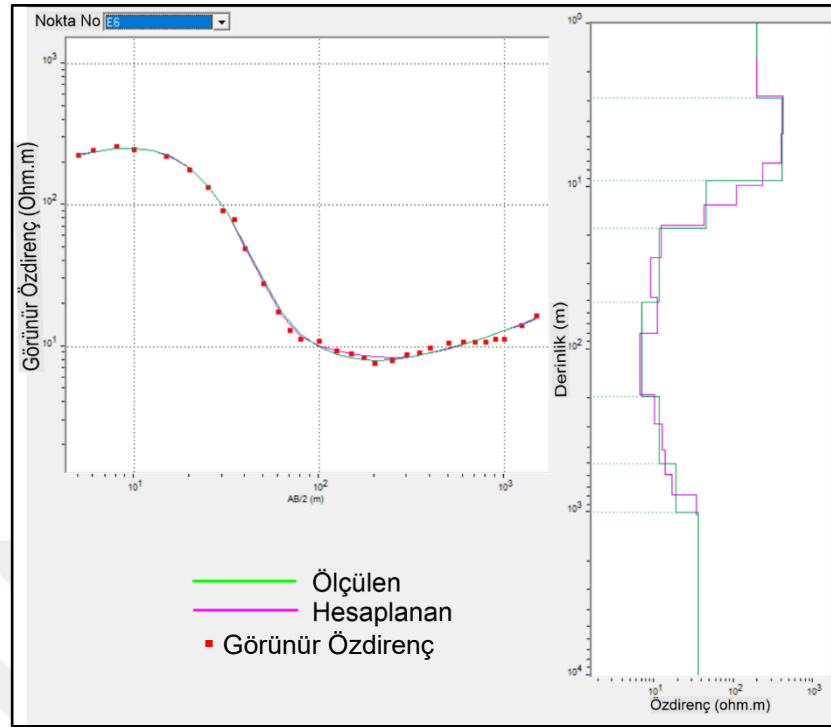


E5 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

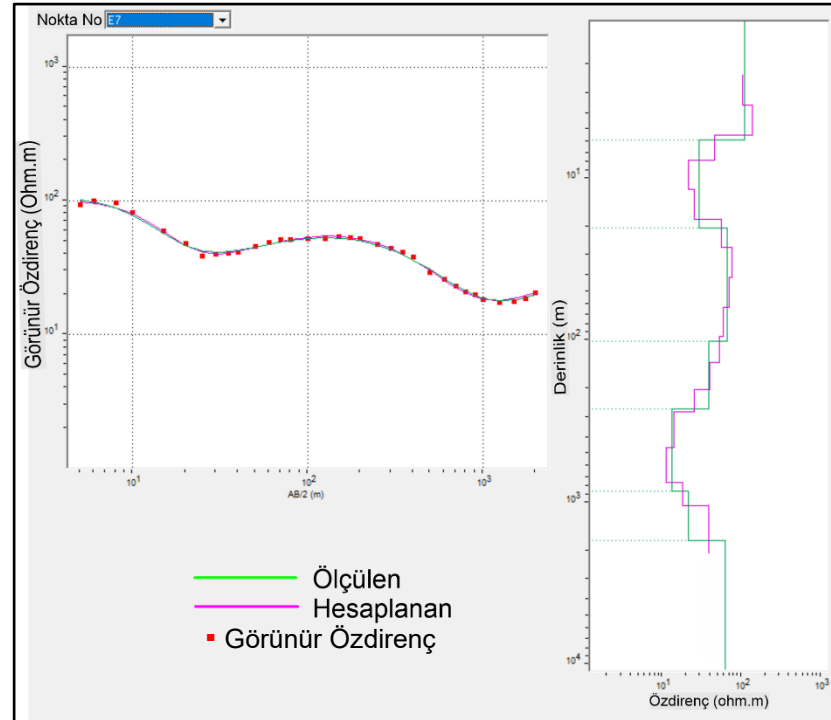


Ek 1 (Devamı)

E6 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

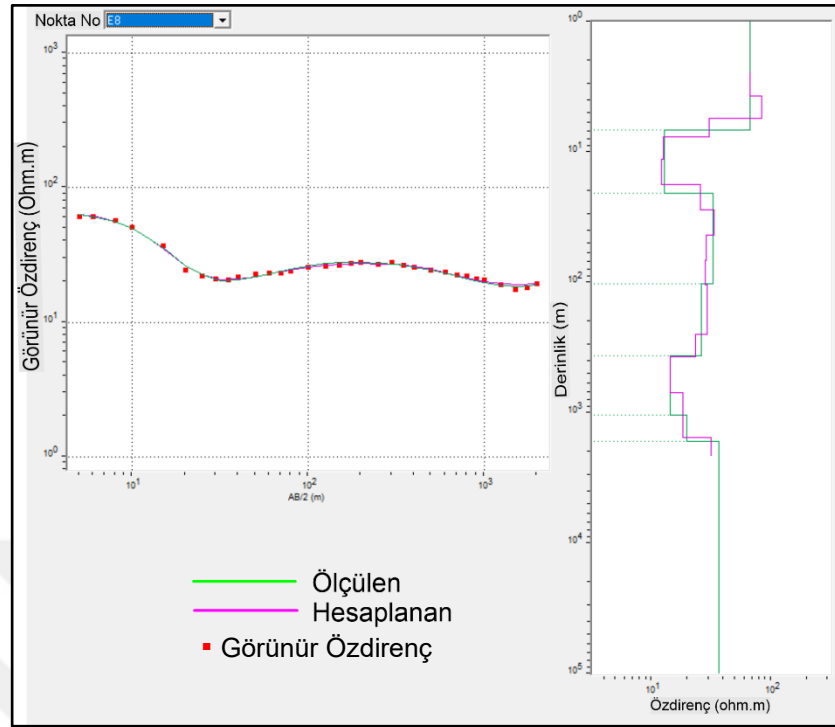


E7 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

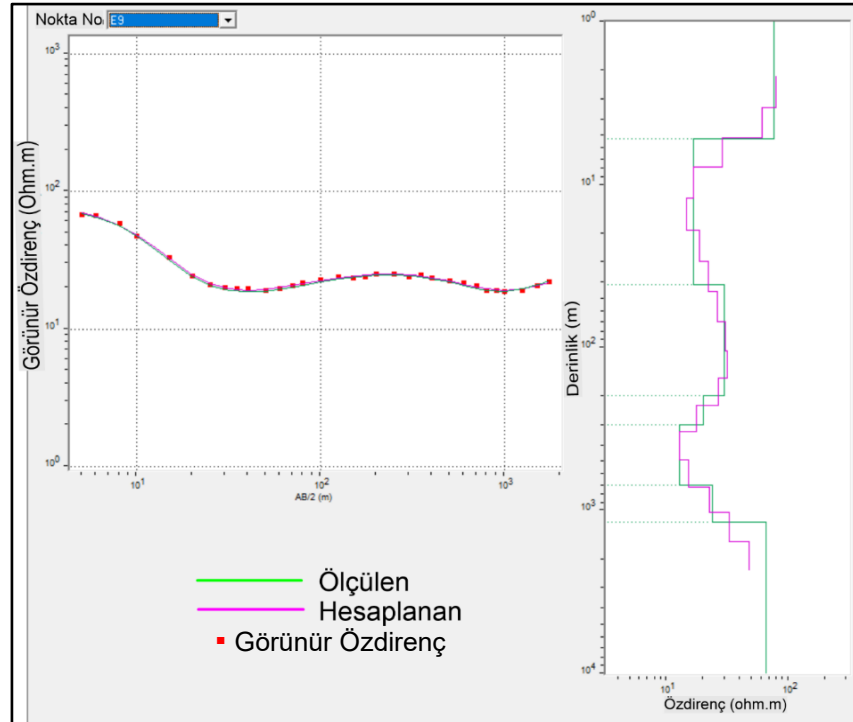


Ek 1 (Devamı)

E8 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

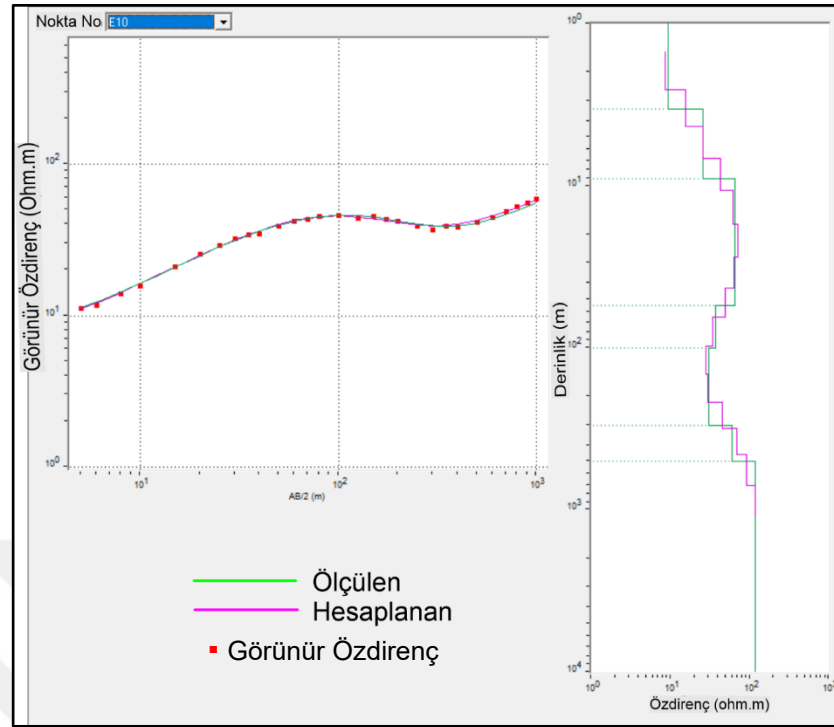


E9 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

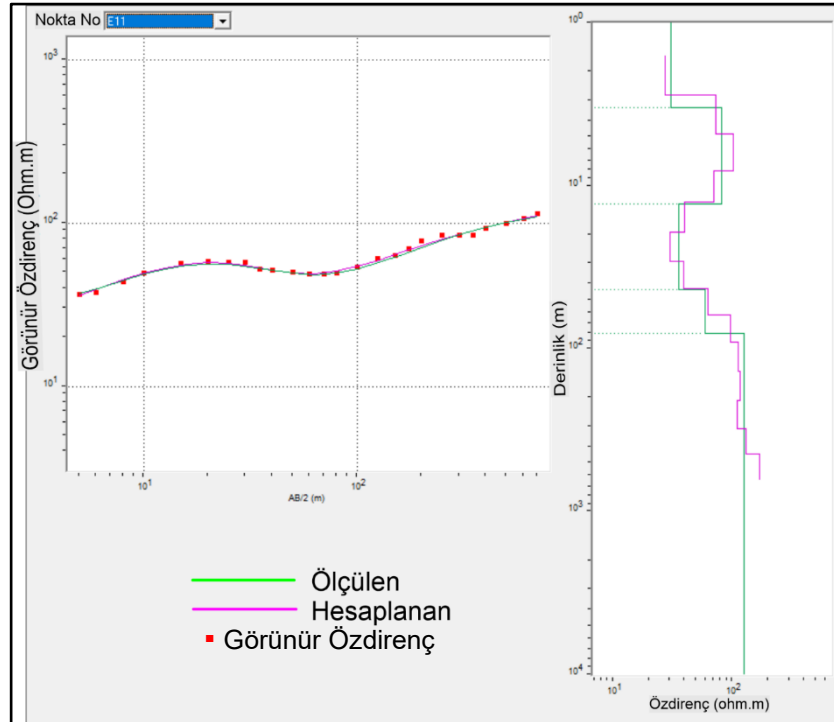


Ek 1 (Devamı)

E10 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

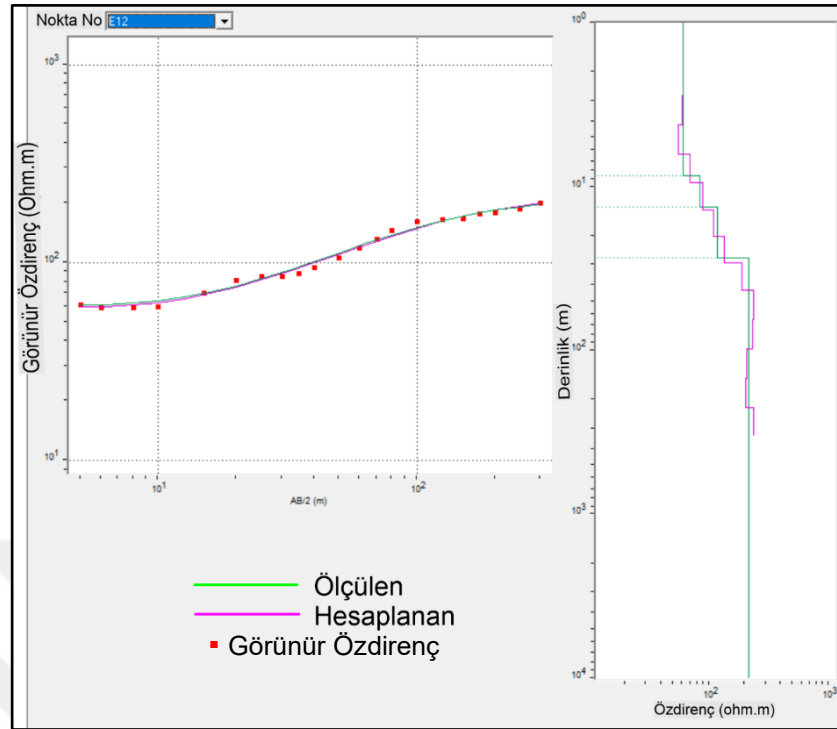


E11 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

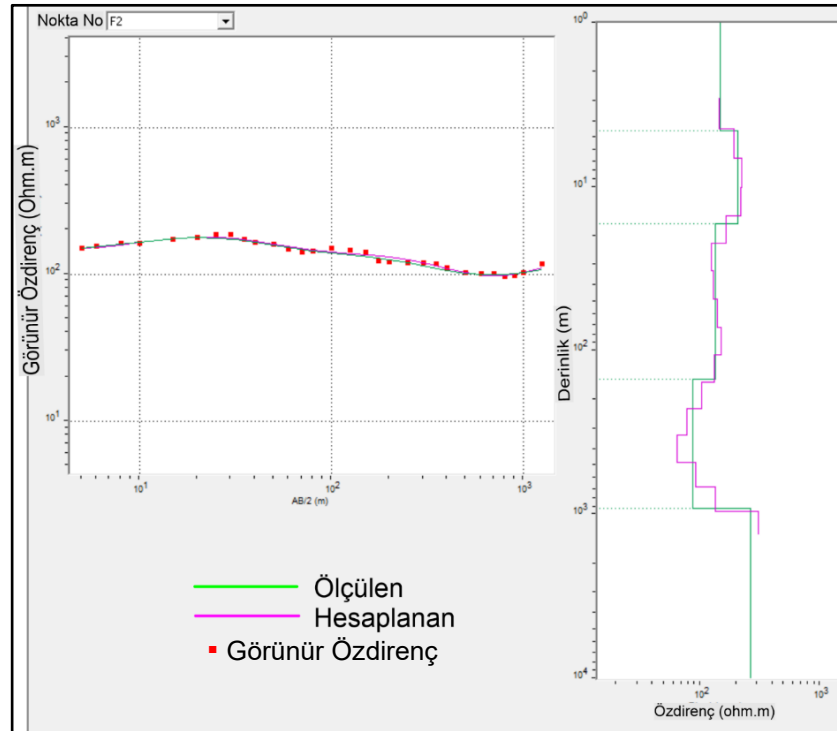


Ek 1 (Devamı)

E12 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

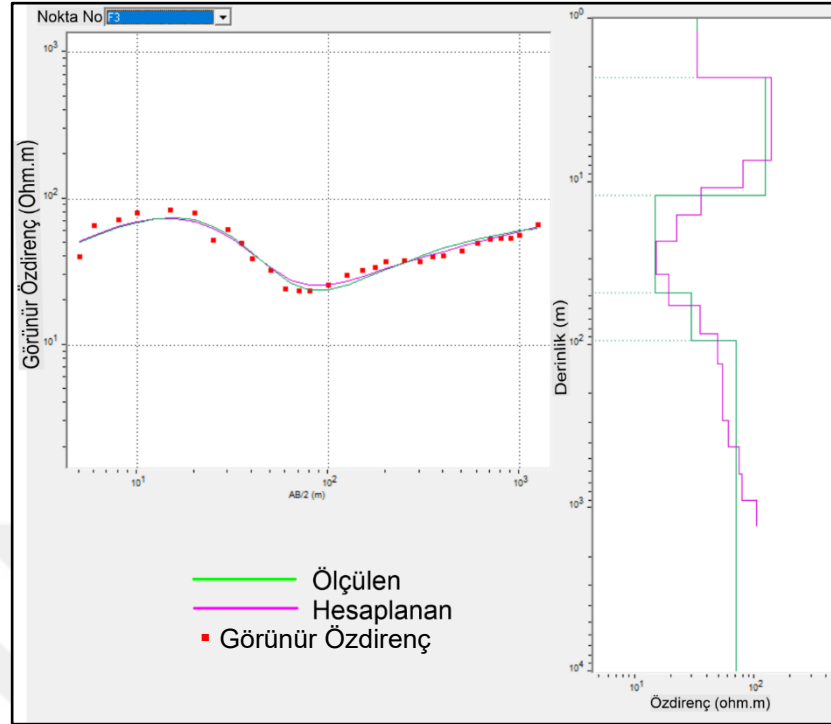


F2 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

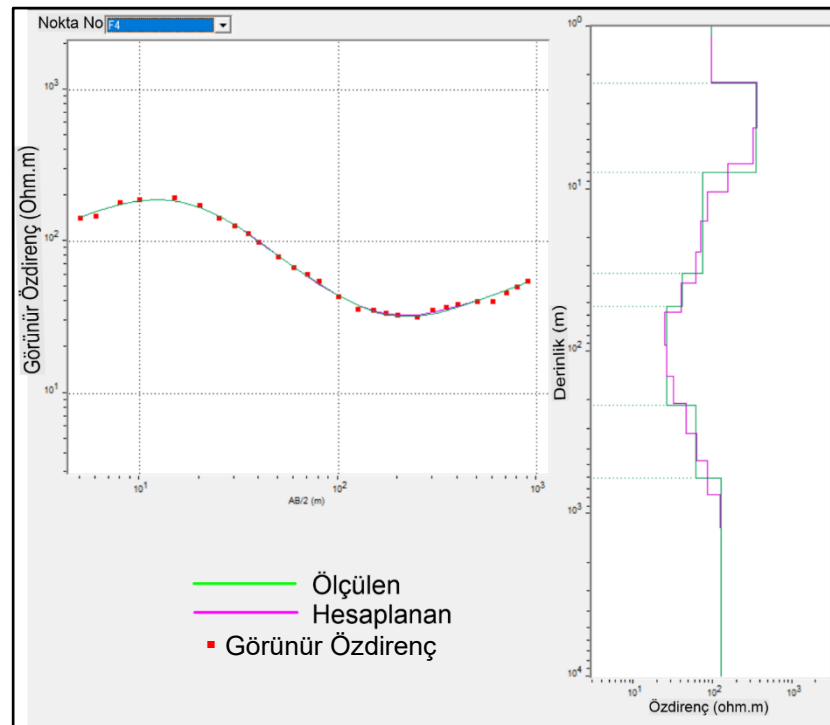


Ek 1 (Devamı)

F3 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

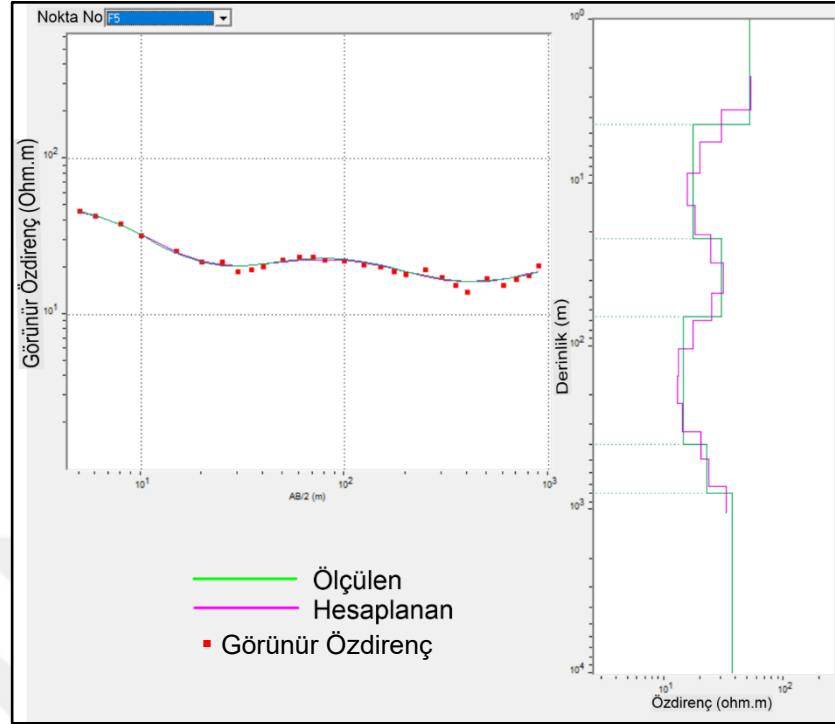


F4 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

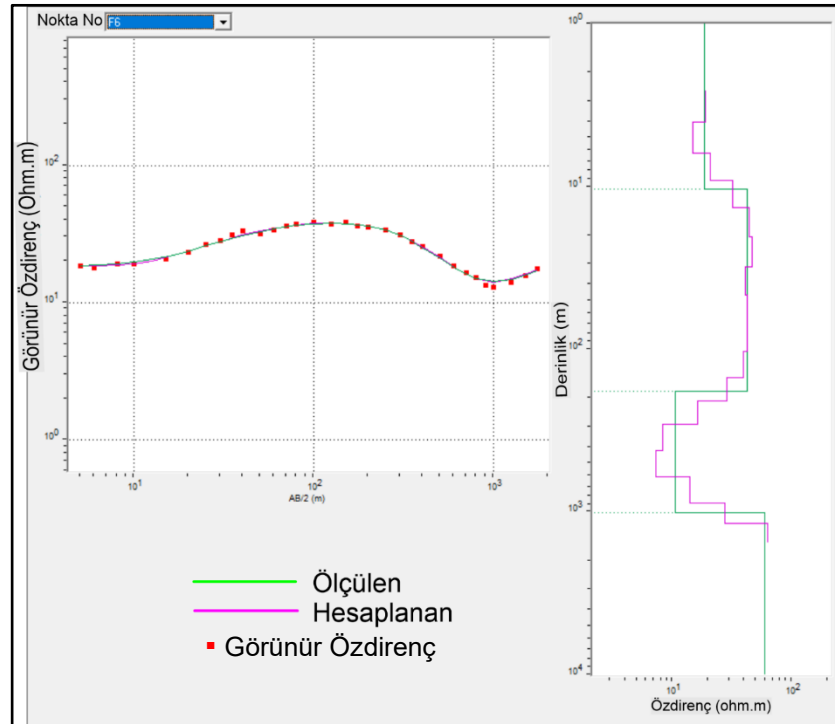


Ek 1 (Devamı)

F5 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

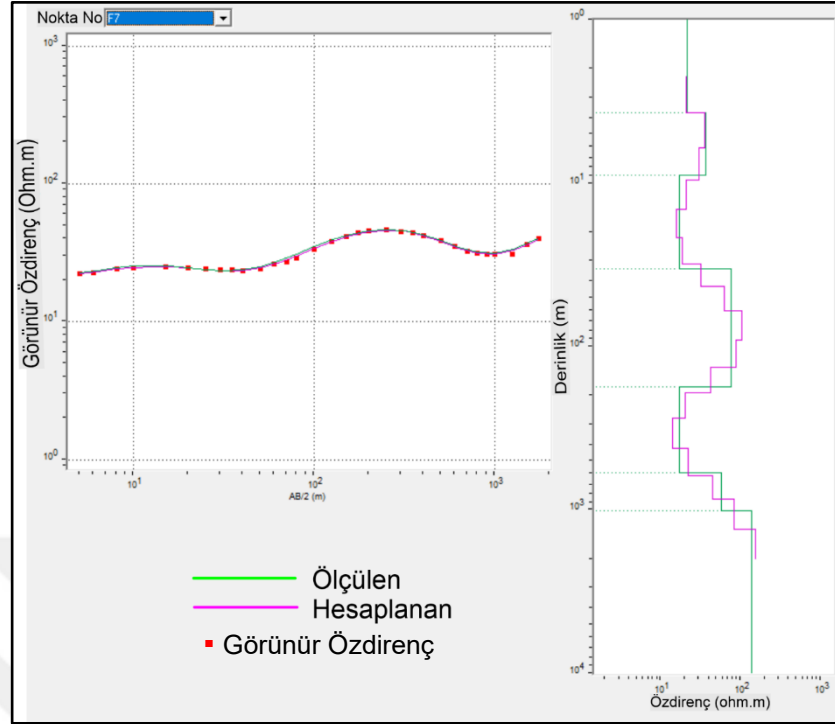


F6 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

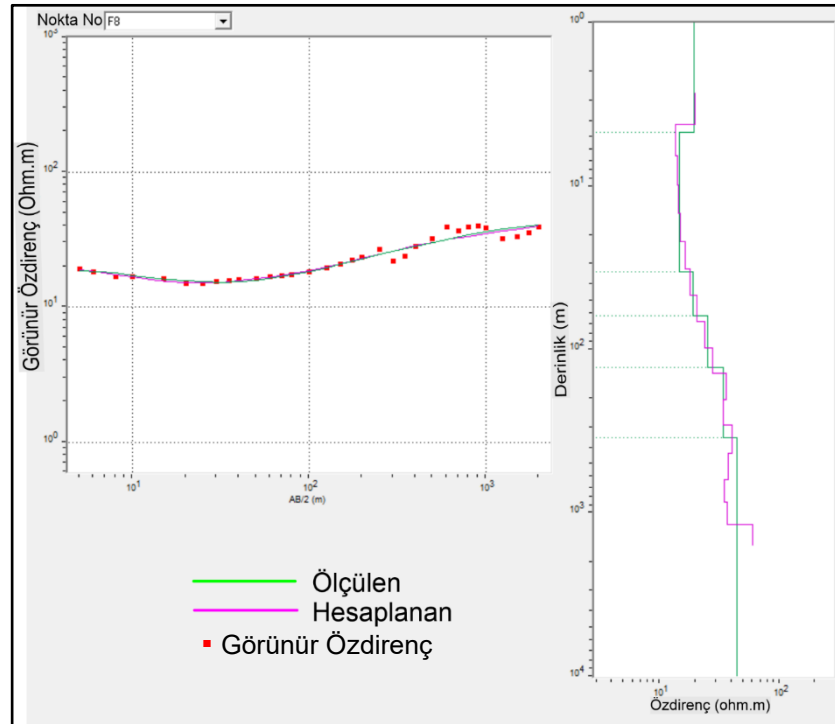


Ek 1 (Devamı)

F7 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

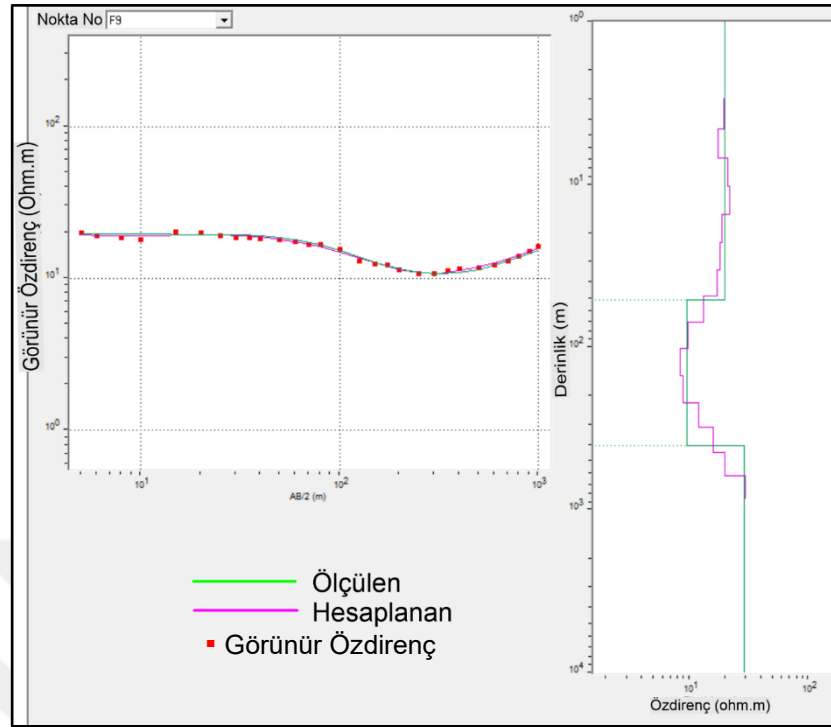


F8 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

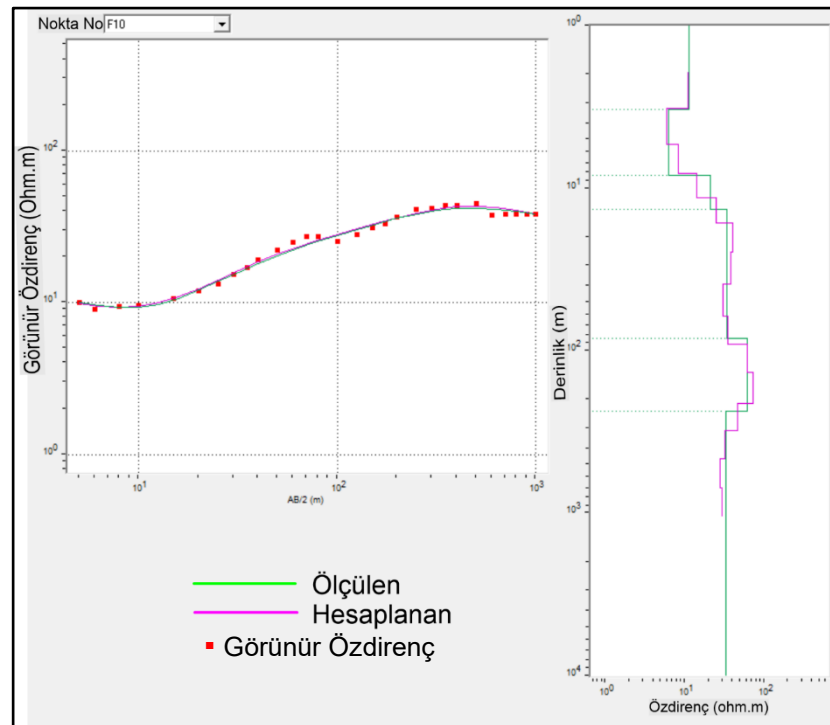


Ek 1 (Devamı)

F9 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

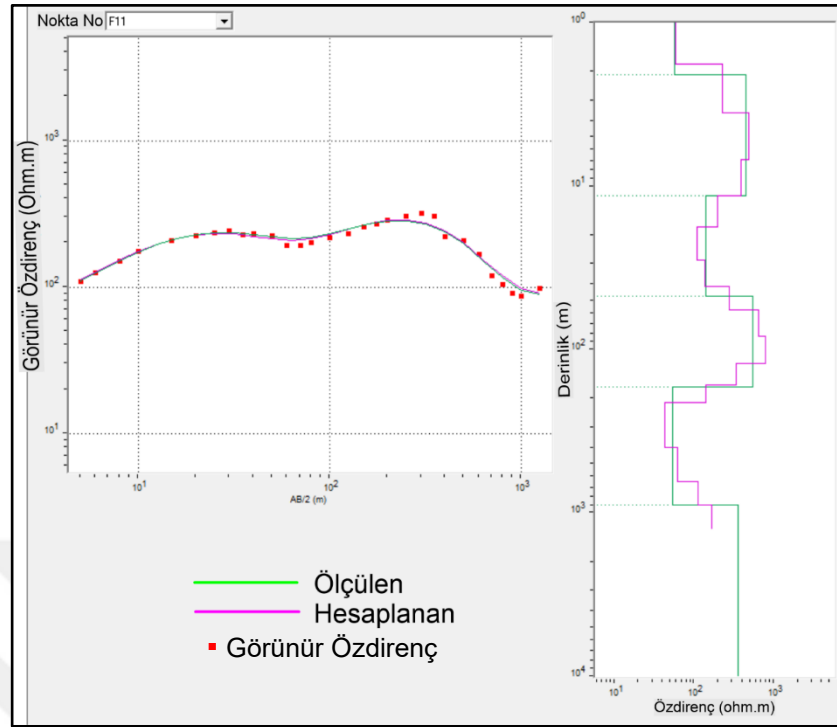


F10 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

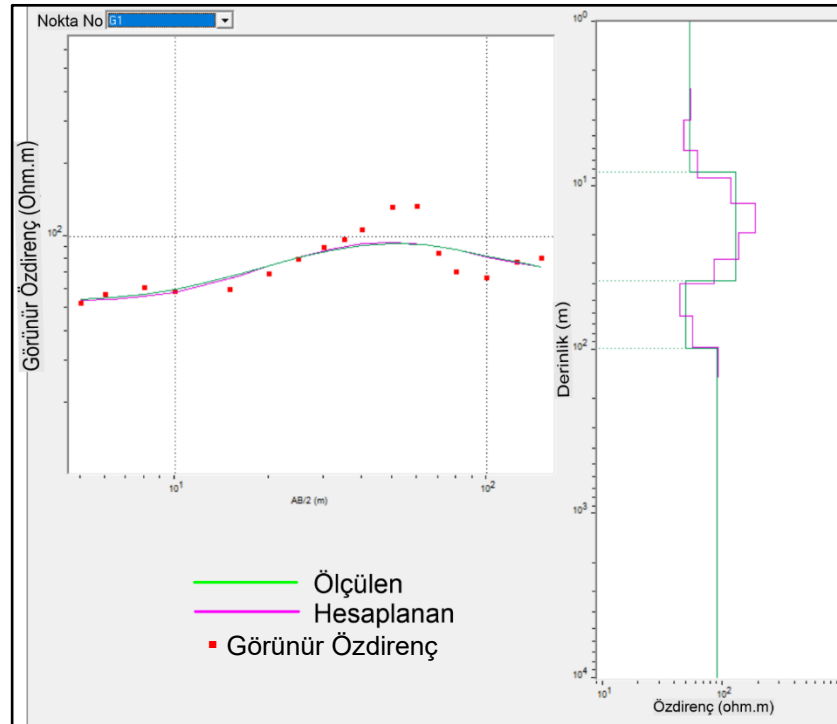


Ek 1 (Devamı)

F11 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

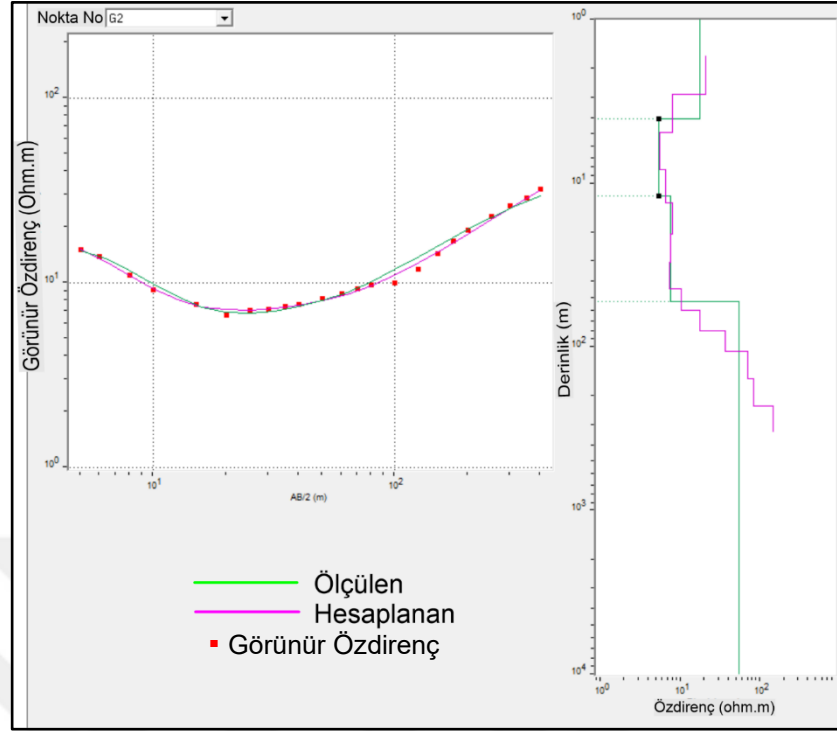


G1 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

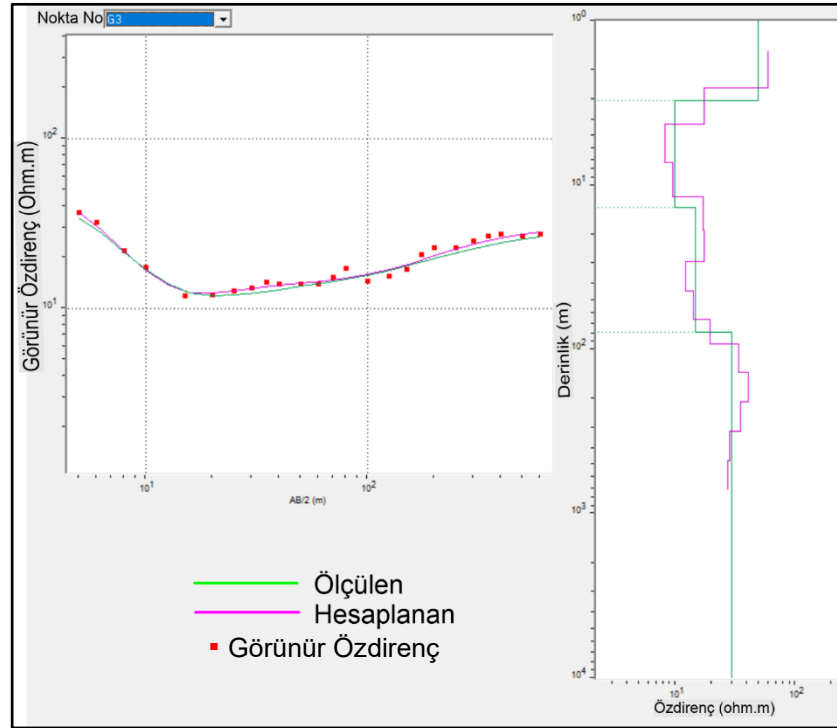


Ek 1 (Devamı)

G2 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

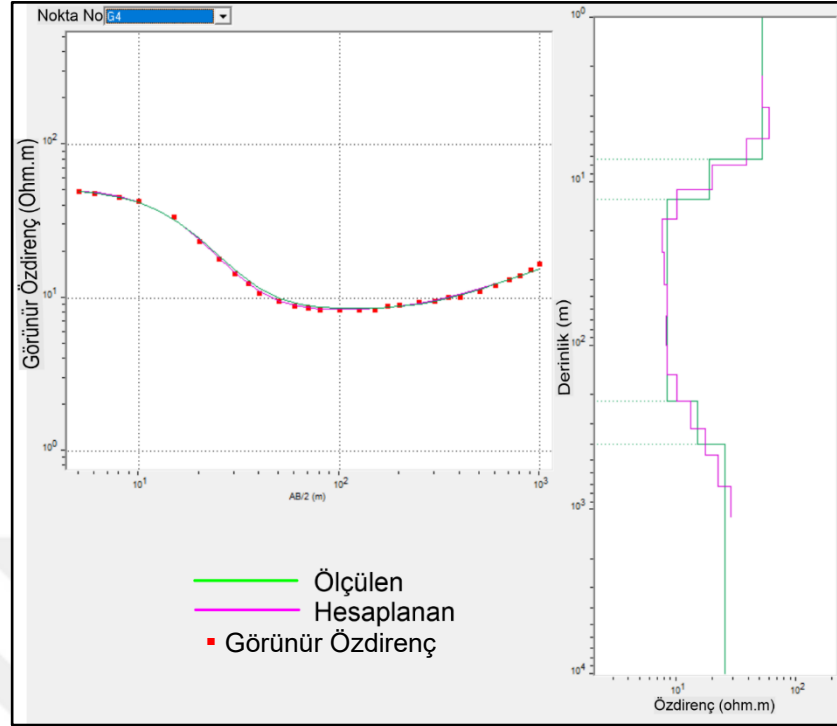


G3 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

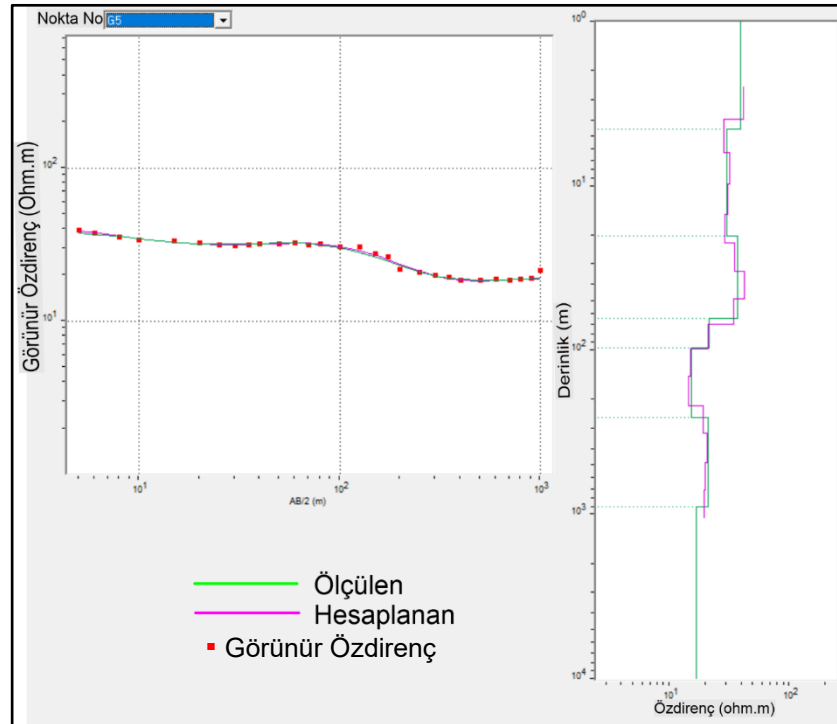


Ek 1 (Devamı)

G4 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

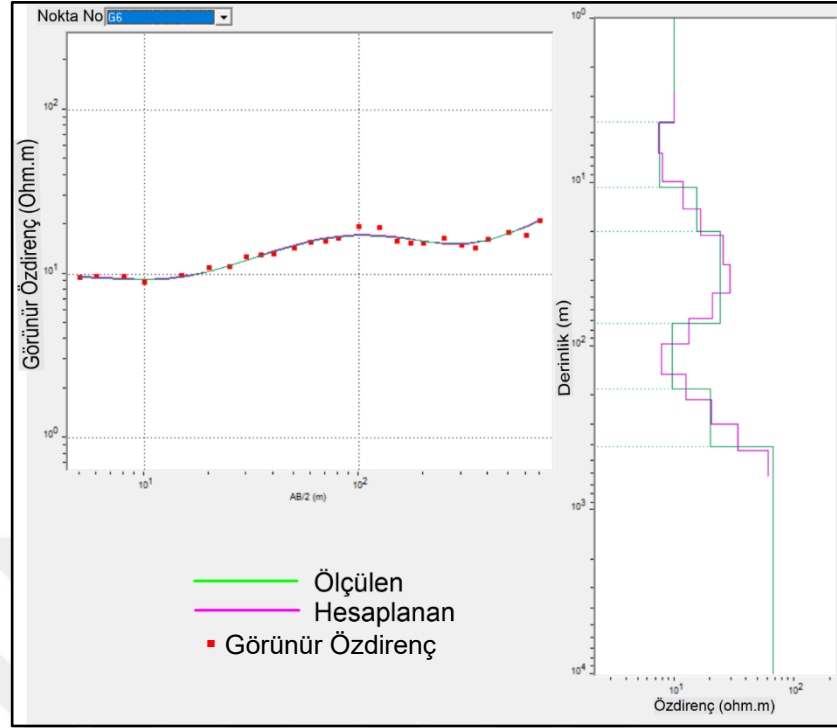


G5 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

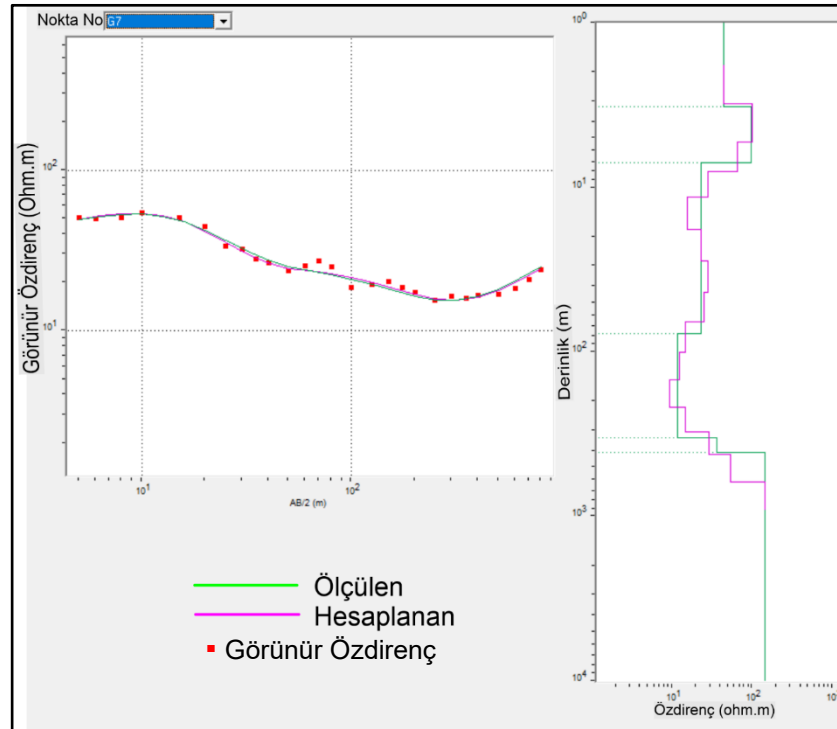


Ek 1 (Devamı)

G6 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

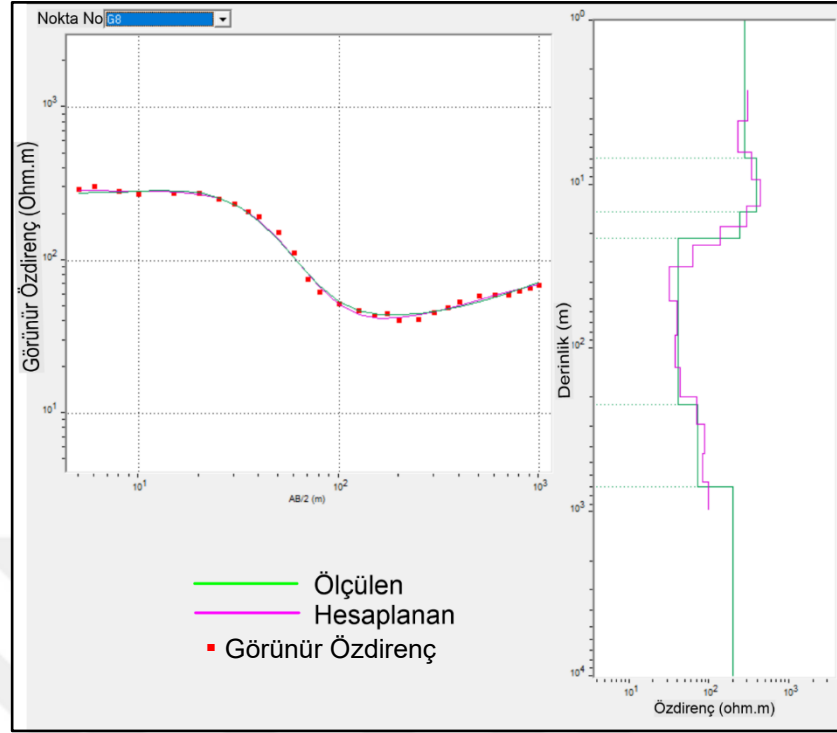


G7 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

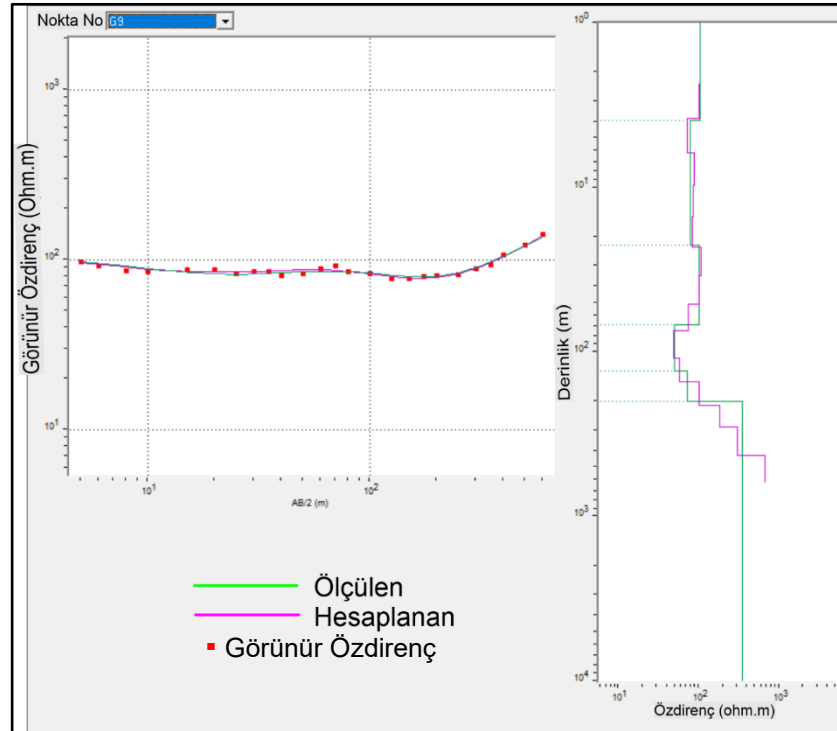


Ek 1 (Devamı)

G8 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları

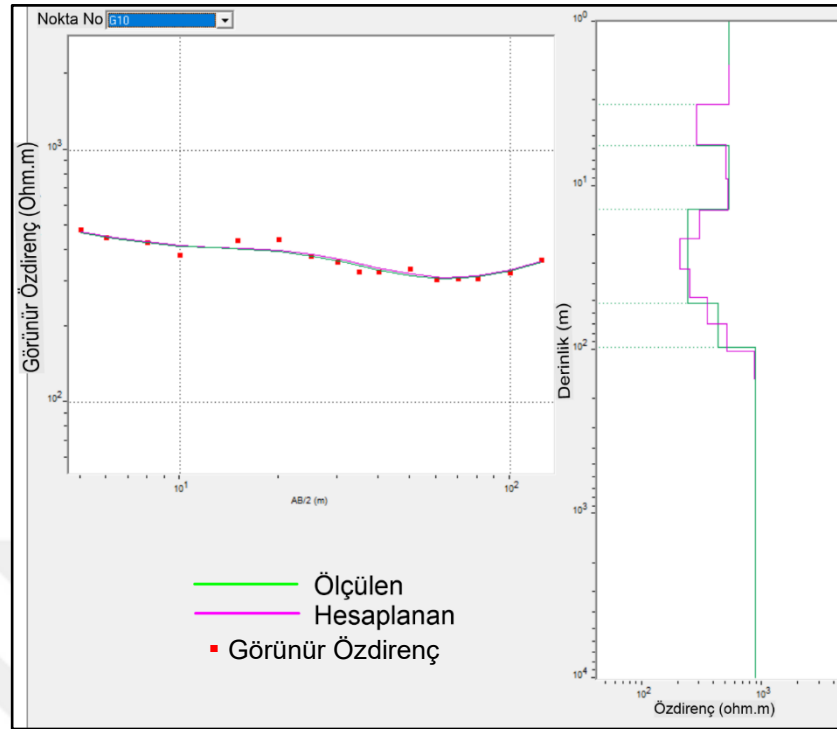


G9 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları



Ek 1 (Devamı)

G10 DES noktasına ait değerlendirme sonuçları



ÖZGEÇMİŞ

Serkan Köksal, lisans eğitimini 2005 yılında Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2006 yılında özel bir şirkette başladığı çalışma hayatına, 2010-2012 yılları arasında atandığı Niğde İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde, 2012 yılında naklen atama ile geçtiği Maden Tetik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Daire Başkanlığında, Havadan Jeofizik Araştırmalar Koordinatörü olarak devam etmektedir. Araştırmacı, MTA Genel Müdürlüğünde çalıştığı süre içerisinde endüstriyel hammadde, jeotermal, havadan jeofizik araştırmalar projelerinde aktif olarak görev almıştır. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.