

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2-BOYUTLU REZİSTİVİTE YÖNTEMİ KULLANILARAK
KARSTİK AKTİVİTE BELİRLENMESİ**

Fatih UÇAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2014

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2-BOYUTLU REZİSTİVİTE YÖNTEMİ KULLANILARAK
KARSTİK AKTİVİTE BELİRLENMESİ**

Fatih UÇAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından 2013.02.0121.017 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2014

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2-BOYUTLU REZİSTİVİTE YÖNTEMİ KULLANILARAK
KARSTİK AKTİVİTE BELİRLENMESİ**

Fatih UÇAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 20/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK
Doç. Dr. Nihat DİPOVA
Doç. Dr. Züheyr KAMACI



2014

ÖZET

2-BOYUTLU REZİSTİVİTE YÖNTEMİ KULLANILARAK KARSTİK AKTİVİTE BELİRLENMESİ

Fatih UÇAR

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK
Haziran 2014, 96 sayfa

Aşınmaya karşı direnç gösteremeyen ve kolay eriyebilen kayalardan oluşan bölgeler karstik araziler olarak tanımlanmakta ve yüzey çöküntüleri veya kayaçların içerdikleri küçük ya da büyük ölçekli erime boşlukları ile karakterize edilmektedirler. Bu boşlukların oluşumu ve genişlemesi, yapılaşma ve altyapı çalışmaları açısından büyük tehlike oluşturmakta, bu sebeple, karstik boşlukların yerlerinin ve boyutlarının belirlenmesinin ülkemiz açısından önemli bir konu olduğu düşünülmektedir.

Jeofiziksel çalışmalar, günümüzde jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede büyük kolaylık sağlamaktadırlar. Yüzey jeofiziği yöntemleri yakın yüzey profilini ve zemin özelliklerini belirlemek için başarıyla uygulanabilmektedir. Yeraltı yakın yüzey profilini belirlemek için uygun olan ve yaygın olarak kullanılan tekniklerden en önemlisi elektrik özdirenç yöntemidir. Elektrik özdirenç yöntemi ile yakın yüzey profilleri kolaylıkla elde edilebilmekte, çatlaklı, boşluklu bölgeler ve bozunmuş bölgeler kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

Bu tez kapsamında Akdeniz Üniversitesi kampüs alanında ve Antalya'nın Kepez ilçesinde yer alan Masa Dağı bölgesinde uygulanan 2-boyutlu elektrik özdirenç ölçümleri ile zeminlerin yakın yüzey profilleri belirlenmiştir. Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı örtülü bir yüzeye sahip olduğundan burada yapılan ölçümler, sismik yöntemler ve düşey elektrik sondajı verileri ile karşılaştırılmıştır. Bölgede beş farklı noktada ölçüm gerçekleştirilmiştir. Masa Dağı bölgesi ise topoğrafik enine kesiti açık olarak görülen bir alan olduğundan bölgede yapılan ölçümler sadece düşey elektrik sondajı verileri ile karşılaştırılmış, aynı zamanda elektrik özdirenç kesitleri arazi görünümü ile karşılaştırılabilir. Masa Dağı bölgesinde iki bölgede ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen elektrik özdirenç değerleri ile yeraltı boşluğunun varlığı tespit edilebilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: İki boyutlu elektrik özdirenç yöntemi, Düşey elektrik sondajı, Sismik kırılma yöntemi, Karstik arazi

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK (Danışman)
Doç. Dr. Nihat DİPOVA
Doç. Dr. Züheyr KAMACI

ABSTRACT

DETERMINATION OF KARSTIC ACTIVITY BY UTILIZING 2-DIMENSIONAL ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

Fatih UÇAR

**M.Sc. Thesis in Geological Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Özgür AKTÜRK
June 2014, 96 pages**

The region which is consisting of rocks which could not resist to abrasion and easily soluble is defined as karstic terrain, and it is characterized by surface collapse and small or large sized dissolution voids on rock surface. Formation and enlargement of those voids may cause dangerous situation during construction and infrastructure work. Therefore, it is important to determine the location and dimension of karstic features.

Geophysical investigations are important in determining the geometries of geological subsurface structures. In order to determine near surface profile and characteristic of soil, surface geophysical methods are successfully applied. Electrical resistivity is the most important methods among the convenient and commonly used methods to determine near subsurface profile. Using this method, near surface profile cavernous and weathered zones can be determined easily.

Within the scope of this thesis, near surface profiles were determined by utilizing 2D Electrical Resistivity Imaging (ERI) at Akdeniz University campus and Masa Dağı region. Since the ground surface is covered by soil, the results obtained from 2D Electrical Resistivity analyses at Akdeniz University campus compared with seismic analyses and VES analyses. The analyses were applied in five different locations in the campus. Around Masa Dağı location, since topographic cross-section of the region is clearly seen, 2D Electrical Resistivity results were compared only with VES. Masa Dağı analyses were applied in two different locations and presences of subsurface cavities were determined using resistivity values.

KEYWORDS: 2D electricity resistivity, Vertical electrical sounding, Seismic method, Karstic terrain

COMMITTEE: Asst. Prof. Özgür AKTÜRK (Supervisor)
Assoc. Prof. Nihat DİPOVA
Assoc. Prof. Züheyr KAMACI

ÖNSÖZ

Ülkemiz jeolojik geçmişi açısından ilgi çekicidir. Bu jeolojik geçmiş yeraltı zenginlikleri ve doğal güzellikler aracılığıyla ülke ekonomisine katkı sağladığı kadar tektonik aktivitesi ve kayaçların mühendislik özelliklerinin kimi zaman olumsuz etkileri ile büyük tehlikelere de yol açmaktadır. Mühendislik jeolojisi özelinde sorun barındırmayacak alanlarda çalışmak önemli bir noktadır. Yapıların sağlam zemin ve kaya birimleri üzerine oturtulması, zaman içinde bu sıkıntılardan kaynaklı can ve mal kaybına uğrayan ülkemiz açısından çok önemlidir.

Gelişen aletsel teknoloji ile jeofiziksel çalışmalar günümüzde jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede büyük kolaylık sağlamaktadırlar. Yüzeysel jeofiziği yöntemleri yakın yüzey profili hakkında ayrıntılı bilgi verebilmekte ve zemin özelliklerini belirlemek için başarıyla uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan elektrik öz direnç yöntemi ile yakın yüzey profilleri kolaylıkla elde edilebilmekte, çatlaklı, boşluklu ve bozunmuş bölgeler kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu sayede güvenli zemin ve kaya birimleri üzerine oturtulan yapılar ile olası kayıplar en az seviyede tutulmuş olacaktır. Bu tez kapsamında, kullanımının rahatlığı, veri alınmasının kolaylığı avantajları ile çok elektrotlu elektrik öz direnç yöntemi esas yöntem olarak seçilmiştir. Korelasyon açısından ise geleneksel elektrik öz direnç yöntemlerinden faydalanılmış, kimi yerde sismik ölçümler ile karşılaştırma yapılmıştır.

Bu tez kapsamında bilgi ve birikimini benimle paylaşan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK'e çalışma süresince maddi ve manevi katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Elde ettiğimiz jeofizik verilerinin yorumlanmasında yardımcı olan ve bilgisi ile yol gösteren Doç. Dr. Züheyr KAMACI'ya, kampüs alanında yapmış olduğumuz sismik çalışmalarda ekipman temin ederek yardımcı olan Jeofizik Mühendisi Yüksel KARAMAN'a, arazi çalışmalarının neredeyse her aşamasında benimle bulunan, düşey elektrik sondajı çalışmalarını gerçekleştirerek veri elde etmeme yardımcı olan, arazi çalışmalarında fikir ve görüşlerini benimle paylaşan meslektaşım Arş. Gör. Halil BÖLÜK'e, arazi çalışmalarında yardımcı olan meslektaşlarım Arş. Gör. Ferdi DEMİRTAŞ ve Arş. Gör. Koray KOÇ'a ve son olarak ölçümlerde yardımcı olan Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü lisans öğrencilerine çok teşekkür ederim.

Bana her zaman her konuda yardımcı olan anneme, babama ve ablama, her konuda başaracağıma inanan aileme tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Alanının Konumu.....	4
1.2.1. Antalya'nın genel konumu.....	4
1.2.2. Çalışma yapılan alanların konumları	5
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI	7
2.1. Antalya'nın Genel Jeolojisi.....	7
2.1.1. Allohton birimler	7
2.1.2. Otokton birimler	7
2.2. Neotektonik.....	11
2.3. Karst Jeolojisi.....	12
2.4. Jeofiziksel Yöntemler.....	19
2.4.1. Yer radarı yöntemi	19
2.4.2. Sismik kırılma yöntemi.....	20
2.4.3. Elektrik resistivite yöntemi.....	20
2.4.4. Gravite yöntemi	21
2.5. Elektrik Özdirenç Yöntemi	21
2.6. Önceki Çalışmalar	22
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Ön İncelemeler ve Büro Çalışmaları.....	24
3.2. Materyal	25
3.3. Metot	25
3.3.1. Klasik özdirenç yöntemi	25
3.3.2. Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi	29
3.3.3. Wenner-Alpha dizilimi	30
3.3.4. Wenner-Schlumberger dizilimi.....	31

3.3.5. Dipol-Dipol dizilimi	31
3.3.6. Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi ile veri alınması.....	31
3.4. Arazi Çalışmaları.....	32
3.5. Verilerin Modellenmesi.....	33
3.5.1. Düz çözüm	33
3.5.2. Ters çözüm (İnversiyon)	34
4. BULGULAR	36
4.1. Kampüs Bölgesi Çalışmaları	36
4.1.1. 1 numaralı çalışma bölgesi (Gıda ARGE binası).....	37
4.1.2. 2 numaralı çalışma bölgesi (Serbest kürsü bölgesi).....	55
4.1.3. 3 numaralı çalışma bölgesi (İİBF C blok – İlahiyat Fakültesi).....	60
4.1.4. 4 numaralı çalışma bölgesi (Yeni İlahiyat Fakültesi)	67
4.1.5. 5 numaralı çalışma bölgesi (Hukuk Fakültesi karşısı).....	71
4.2. Kepez Bölgesi Çalışmaları	78
4.2.1. Masa Dağı 1 numaralı çalışma bölgesi	79
4.2.2. Masa Dağı 2 numaralı çalışma bölgesi	86
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	89
6. SONUÇLAR	90
7. KAYNAKLAR.....	92

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

R	Direnç
V	Gerilim (Volt)
I	Akım (Amper)
ρ	Elektrik özdirenç
ρ_a	Görünür elektrik özdirenç
Ω	Direnç birimi (ohm)
k	Geometrik faktör
ΔV	Gerilim farkı
σ	Öziletkenlik

Kısaltmalar

DES	Düşey Elektrik Sondajı
VES	Vertical Electrical Sounding
ASTM	American Society for Testing and Materials
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Ülkemizdeki kalker (karbonat kayaçlar) ve jips birimlerini gösteren harita (Gunn 2004'den değiştirilmiştir).....	1
Şekil 1.2.	Damlataş mağarasından görünüm	2
Şekil 1.3.	Antalya İli'nin coğrafi koordinatlarını gösteren uydu görüntüsü (10/04/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	4
Şekil 1.4.	Antalya İli topoğrafik sınırlarını gösteren uydu görüntüsü (10/04/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	5
Şekil 1.5.	Antalya İli çalışma alanlarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	5
Şekil 2.1.	Antalya ve civarının jeolojisini gösteren harita (Akay vd 1985, Dipova ve Doyuran 2006b'den değiştirilmiştir).....	8
Şekil 2.2.	Antalya kıyı platoları (Dipova ve Yıldırım 2005).....	9
Şekil 2.3.	Antalya platolarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth) ve Antalya platolarının topoğrafik kesiti.....	10
Şekil 2.4.	Karstik aşınım şekilleri (yüzey çöküntüleri ve yeraltı boşlukları) şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.5.	Sadeleştirilmiş karstik oluşum görüntüsü (Jol 2007)	13
Şekil 2.6.	Karstik boşluklardaki büyüme ve genişlemenin sadeleştirilmiş ifadesi.....	14
Şekil 2.7.	Kızılören obruğunu gösteren uydu görüntüsü (21/06/2009 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	15
Şekil 2.8.	Akseki polyesini gösteren uydu görüntüsü (13/08/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth) ve Akseki polyesinin topoğrafik kesiti.....	16
Şekil 2.9.	Damlataş mağarasından sarkıt ve dikit birikim şekilleri görünümü	16
Şekil 2.10.	Karst oluşumunu gösteren şema.....	17
Şekil 2.11.	Dikey çatlakların çözünme süreci (Sowers 1996).....	18
Şekil 2.12.	Numune özdirencinin ölçülmesi.....	22
Şekil 3.1.	(a) ARES çok kanallı rezistivite cihazı, (b) rezistivite cihazının akü bağlantısı, (c) akıllı kablunun elektrot bağlantısı	25
Şekil 3.2.	Klasik özdirenç yöntemi şeması.....	26

Şekil 3.3.	Yarı sonsuz (2π) ortamın ifadesi	26
Şekil 3.4.	k faktörü hesabı için şema.....	27
Şekil 3.5.	Kaya, zemin ve minerallerin rezistivite değerleri (Loke 2004)	28
Şekil 3.6.	Rezistivite ölçümleri için farklı elektrot dizilimleri.....	30
Şekil 3.7.	İki boyutlu bir öz direnç araştırması için elektrotların düzenlenmesi ve ölçümlerin ardışımı (Loke 2004)	32
Şekil 3.8.	Öz direnç ölçümlerini yorumlamada kullanılan modeller.....	33
Şekil 3.9.	İki boyutlu ölçümlerde elde edilen verilerin en küçük kare yöntemi ile modellenmesi (RES2DINV 2004)	35
Şekil 4.1.	Çalışma alanlarından birer görünüm (a) Kampüs ve (b) Masa Dağı	36
Şekil 4.2.	Kampüs alanındaki çalışma noktalarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	37
Şekil 4.3.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	37
Şekil 4.4.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları	38
Şekil 4.5.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1 (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu öz direnç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları	39
Şekil 4.6.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	39
Şekil 4.7.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları.....	40
Şekil 4.8.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2 başlangıç noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu öz direnç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları.....	41
Şekil 4.9.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	41
Şekil 4.10.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları.....	42
Şekil 4.11.	Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan tüm ölçümler için SURFER ile oluşturulmuş lejant.....	42

Şekil 4.12. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları için SURFER kesiti.....	43
Şekil 4.13. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları için SURFER kesiti.....	43
Şekil 4.14. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları için SURFER kesiti.....	43
Şekil 4.15. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları için SURFER kesiti.....	43
Şekil 4.16. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1 ve HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SKETCHUP programı ile karşılaştırılması (a) Batıdan Doğuya uzun eksen görünümü (b) Güneyden Kuzeye kısa eksen görünümü	44
Şekil 4.17. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde elektrik özdirenç sonuçlarına göre daraltılmış alanda gerçekleştirilen Broad-Side analizi için atış noktaları.....	45
Şekil 4.18. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Broad-Side analizinden elde edilen sismik hızların ve sismik dalgaların harita üzerinde gösterilmesi	45
Şekil 4.19. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Broad-Side analizi sonuçlarının gösterilmesi.....	46
Şekil 4.20. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Broad-Side analizi sonuçlarına göre elde edilen tahmini boşluklu bölge	47
Şekil 4.21. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik çevresel atış sonrası arazi görünümü	48
Şekil 4.22. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik yelpaze atış sonrası arazi görünümü	48
Şekil 4.23. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik çevresel atış.....	49
Şekil 4.24. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik yelpaze atış.....	49
Şekil 4.25. HAT 1’de gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	50
Şekil 4.26. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	50
Şekil 4.27. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	51

Şekil 4.28. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	51
Şekil 4.29. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.30. HAT 2’de gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	52
Şekil 4.31. HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	53
Şekil 4.32. HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 4.33. HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	54
Şekil 4.34. HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	54
Şekil 4.35. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	55
Şekil 4.36. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları	56
Şekil 4.37. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesi (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu özdirenç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları.....	56
Şekil 4.38. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	57
Şekil 4.39. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları.....	57
Şekil 4.40. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	58
Şekil 4.41. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti.....	58
Şekil 4.42. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	59
Şekil 4.43. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti.....	59

Şekil 4.44. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	60
Şekil 4.45. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)	61
Şekil 4.46. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları	61
Şekil 4.47. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	62
Şekil 4.48. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları	62
Şekil 4.49. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Dipol-Dipol ölçüm sonuçları	63
Şekil 4.50. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	63
Şekil 4.51. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	64
Şekil 4.52. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	64
Şekil 4.53. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Dipol-Dipol ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti	65
Şekil 4.54. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	65
Şekil 4.55. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	66
Şekil 4.56. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Dipol-Dipol ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	66
Şekil 4.57. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)	67
Şekil 4.58. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları	68

Şekil 4.59. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	69
Şekil 4.60. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları.....	69
Şekil 4.61. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 4.62. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 4.63. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	71
Şekil 4.64. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları	71
Şekil 4.65. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1 (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu özdirenç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları	72
Şekil 4.66. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	73
Şekil 4.67. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları.....	74
Şekil 4.68. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2 (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu özdirenç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları	74
Şekil 4.69. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2'de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	75
Şekil 4.70. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2'de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları.....	75
Şekil 4.71. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	76
Şekil 4.72. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	77

Şekil 4.73. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 4.74. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması	78
Şekil 4.75. Masa Dağı alanındaki çalışma noktalarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	79
Şekil 4.76. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	80
Şekil 4.77. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi arazi görünümü	80
Şekil 4.78. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışma hattı ve düşey elektrik sondajı çalışma noktası	81
Şekil 4.79. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	81
Şekil 4.80. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları	82
Şekil 4.81. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan DES ölçüm sonuçları	83
Şekil 4.82. DES ve çok elektrotlu ölçüm sonuçlarının SURFER programı ile karşılaştırılması işlemi.....	83
Şekil 4.83. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan DES ölçümü ve sonuçların topoğrafik kesit üzerinde görünümü.....	84
Şekil 4.84. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümü ve sonuçların topoğrafik kesit üzerinde görünümü	85
Şekil 4.85. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü ve sonuçların topoğrafik kesit üzerinde görünümü..	85
Şekil 4.86. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth).....	86
Şekil 4.87. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi arazi görünümü	86
Şekil 4.88. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Alpha ölçüm sonuçları	87

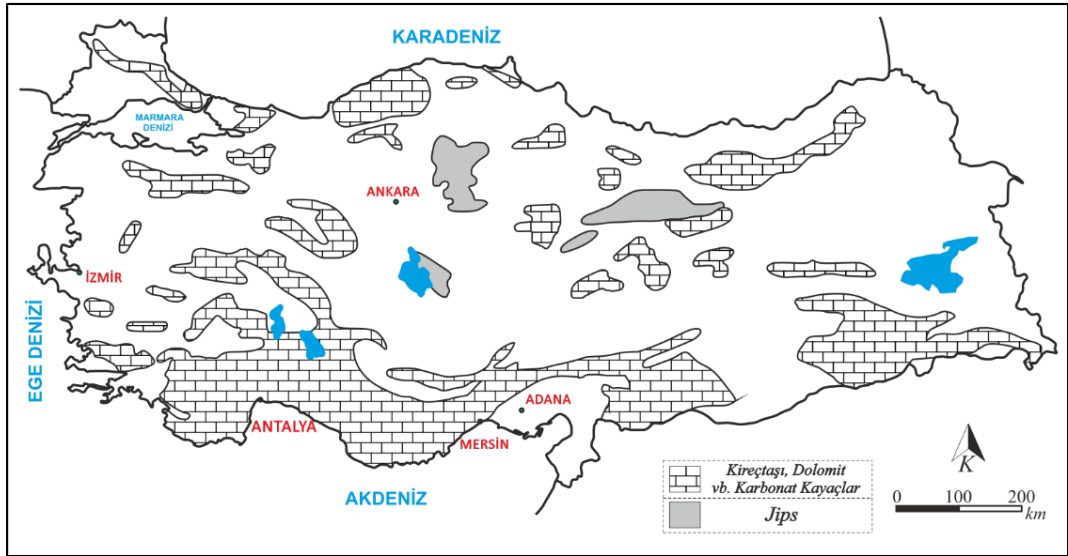
Şekil 4.89. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları	88
--	----

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Aşınmaya karşı direnç gösteremeyen ve kolay eriyebilen kayalardan oluşan araziler karstik araziler olarak tanımlanır. Karstik bölgeler kalker, tuz ve jips gibi eriyebilen kayaçların dış etkiler ile (örneğin topraktaki CO₂ ile zenginleşen ve asidik özellik kazanan akarsu, havadaki CO₂ ile zenginleşen ve asidik özellik kazanan yağmur suyu gibi) çözünmesi sonucunda oluşurlar. Bu bölgesel çözünmeler, yüzey çöküntüleri ve kayaçların içerdikleri küçük ya da büyük ölçekli erime boşlukları ile karakterize edilirler. Bu boşlukların oluşumu ve genişlemesi, yeraltı suyu ve yüzey sularının akışına bağlı olduğundan ve genellikle düzensiz bir yayılım gösterdiğinden yapılaşma ve altyapı çalışmaları açısından büyük tehlike arz eder. Karstik boşluklar çözünme işlemi süresince birbirleri ile bağlantılı hale gelirler ve yüzey sularının akifere ulaşımını sağlarlar. Bu sebeple erime süreci sürekli devam eder ve karstik boşluklar zamanla genişler. Yıllar boyu süren bu süreç sonucunda binalara, yapılara destek olan zeminler tamamıyla çökebileceği gibi aynı yapılarda farklı oturmalar da gözlenebilir. Bunların yanı sıra köprü ve yollar gibi ulaşım unsurları da karstik zeminlere rastlayabilir. Ayrıca drenaj unsurlarının bu boşluklar ile kesişmesi sonucunda, tehlikeli olarak nitelendirilen sıvı atıkların karstik boşluklar boyunca rahatça hareket edip yeraltı suyuna karışması da mümkündür. Böylelikle gerek doğrudan (içme suyuna karışması gibi) gerekse dolaylı yoldan canlı sağlığını etkiler. Bütün bu nedenlerden dolayı karstik boşlukların yerlerinin, boyutlarının ve derinliklerinin belirlenmesinin ve bunların yapı temellerine etkilerinin araştırılmasının geniş karst yayılımı olan ülkemiz açısından önemli bir konu olduğu düşünülmektedir.

Karstik yapılar ülkemizde birçok yerde gözlenebilmektedir. Ülkemizde karstik oluşum sürecinde, Karadeniz ve Akdeniz Bölgeleri'nde kalker, İç Anadolu Bölgesi'nde ise tuz ve jips etkili olmuştur (Gunn 2004) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Ülkemizdeki kalker (karbonat kayaçlar) ve jips birimlerini gösteren harita (Gunn 2004'den değiştirilmiştir)

Özellikle Sivas ve çevresinde Jips karstı gözlenirken, Batı Karadeniz’de ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneyinde kalker birimler görülmektedir. Karstik şekillerin en yaygın olduğu bölge ise kalkerli arazinin geniş alan kapladığı Akdeniz’dir (Gunn 2004).

Karstik aşınım şekillerinden en küçüğü lapyadır. Daha sonra büyüklük sırasına göre dolin, uvala ve obruk oluşmaktadır. En büyük karstik aşınım şekli ise polyedir. Küçük karstik aşınım şekilleri zamanla genişleyerek daha büyük karstik şekilleri meydana getirmektedir. Dolinlerin zamanla genişleyip uvalayı, uvalaların da zamanla genişleyip obrukları oluşturması buna örnek olarak gösterilebilir.

Bir diğer karstik aşınım şekli ise mağaralardır. Mağaralar, karstik aktivite ile oluşmuş doğal yeraltı boşluklarıdır. Mağara içlerinde de karstik şekiller gözlenmektedir. Mağara tavanından aşağıya salınarak oluşmuş yapılar sarkıt, mağara tabanından yukarıya doğru gelişen yapılar dikit olarak adlandırılır. Şekil 1.2’de Damlataş mağarasındaki sarkıt ve dikitlerin genel bir görünümü yer almaktadır. Mağara içlerinde ayrıca, sarkıt ve dikitlerin zaman içerisinde büyümeye devam etmesi ve birleşmesinden oluşan sütun biriktirme şekilleri de yer alabilmektedir.



Şekil 1.2. Damlataş mağarasından görünüm

Antalya kenti genellikle kalkerli birimlerden ve kentin geriye kalan kısmı ise plaj kumulu, alüvyon gibi toprak zeminlerden oluşmaktadır. Yerleşim alanı içinde yaygın bir alanda mostra veren ve hâkim litolojiyi oluşturan kalkerli birimler Poisson (1977) tarafından “Antalya Travertenleri” olarak tanımlanmıştır. 1996 yılına kadar literatürde “traverten” olarak değerlendirilen karasal kökenli ikincil kalsiyum karbonat çökelimleri bu tarihten itibaren “Tufa” olarak değerlendirilmiştir (Ford ve Pedley 1996). Antalya bölgesindeki tufa birimleri yaklaşık 600 km²’lik bir alanı kapsamaktadır. Birimin kalınlığı batıda 250 metreye, doğu kısımda ise 20-30 metreye ulaşmaktadır (Glover ve Robertson 1998). Antalya kenti tufa zemin üzerine kurulu olan nadir yerleşim alanlarından birisidir (Dipova 2005). Antalya Tufalarının jeolojik ve litolojik özellikleri yeterince bilinmemektedir. Tufaların haritalanması, masif kayadan terra rossaya kadar

değişen litolojik özelliklerinin dar alanlarda değişim göstermesi nedeniyle zordur, fakat sağlıklı bir yapılaşma için çok gereklidir. Tufaların genel olarak bilinen özellikleri sık dokulu veya masif, süngersi veya poroz, bitki boşluklu ve mağara boşluklu olmasıdır. Bu özelliklerin, yapılaşmanın hızla devam ettiği Antalya ve yakın çevresinin jeotekniğine olan etkisi belirlenmelidir.

Jeoloji ve inşaat mühendisliği çalışmalarına veri sağlamak amacıyla, Antalya zeminlerinin (tufa) emniyet gerilmesini, zeminin elastik parametrelerini, ayrıca zeminin yapısal durumlarını; kırık, çatlak ve fayları, erime boşluklarını veya mağaraları, bozunma bölgelerini tespit edebilmek jeofizik çalışmaları ile mümkün olabilmektedir. Jeofizik yöntemlerden, jeoelektrik yöntemi ve sismik yöntemler, Antalya zemin sorunlarını çözümlmek için en verimli etüt yöntemlerdir (Türker vd 1991).

Bir kısmı proje hatalarından kaynaklanan ama esas olarak alüvyon ve tufaların zemin özelliklerinin göz ardı edilmesinden kaynaklanan farklı oturma ve hatta çökme problemleri gözlemlenen binaların varlığı bile tek başına Antalya'nın kendine özgü zemin özelliklerinin ciddiye alınması için yeterli bir nedendir. Akdeniz'e kıyısı olan diğer ülkelerde de tufa birimleri bulunmaktadır ancak bu ülkelerde tufa birimleri genellikle kentleşme bölgesinin dışında tutulmuş veya bu alanlar milli park olarak değerlendirilmiştir (Dipova 2005). Elverişsiz zemin zararlarının en aza indirilmesinin tek yolu, yerleşim alanlarını ve şehirleri jeolojik olarak güvenli zeminler üzerine kurmak ve binaları da zemin çalışmaları ile elde edilecek olan parametrelere uygun olarak inşa etmektir.

Sonuç olarak bu tezin amacı, Akdeniz Üniversitesi Kampüs Alanı başta olmak üzere, zeminlerin yakın yüzey profillerinin arazide uygulanacak 2-boyutlu elektrik özdirenç deneyleri ile belirlenmesi; karstik zeminlerin içermiş olduğu erime boşluklarının yerlerinin, derinliklerinin ve ebatlarının yine bu deneyler yardımı ile tespit edilmesi ve sözü edilen bölge zeminlerinin üç boyutlu sığ yüzey haritalarının yapılmasıdır.

Jeofiziksel çalışmalar, günümüzde kullanılan birçok yöntem ile, dokanak ilişkisi kesin olarak belirlenemeyen jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede büyük kolaylık sağlamaktadırlar. ASTM yüzey jeofiziği yöntemleri seçim standartlarına (ASTM D6429-99) göre yeraltı boşluklarını belirlemek için uygun olan ve yaygın olarak kullanılan başlıca dört teknik bulunmaktadır. Bunlar; yer radarı, sismik yöntemler, rezistivite yöntemi ve mikrogravite yöntemidir.

Yüzey jeofiziği yöntemleri yakın yüzey profilini, yapısal unsurları ve diğer zemin özelliklerini belirlemek ve haritalamak için başarıyla uygulanabildiği gibi; fiziksel, elektriksel ve kimyasal özellikleri ölçerek yeraltı yapılarının varlığını doğrudan veya dolaylı olarak belirlemek için de kullanılabilirler. ASTM yüzey jeofiziği yöntemleri seçim standartlarına (ASTM D6429-99) göre yeraltı yakın yüzey profilini belirlemek için uygun olan ve yaygın olarak kullanılan tekniklerden en önemlisi elektrik özdirenç yöntemidir. Elektrik özdirenç yöntemi, örtü tabakası kalınlığını, ana kaya derinliğini, çatlaklı, boşluklu bölgeleri ve bozunmuş bölgeleri haritalamak için kullanılabilir. Elektrik özdirenç yöntemi ile yakın yüzey profilleri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

1.2. Çalışma Alanının Konumu

1.2.1. Antalya'nın genel konumu

Antalya İli Türkiye'nin güneybatısında 29°16' - 32°36' doğu boylamları ile 36°05' - 37°26' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.3). Akdeniz Bölgesi'nin batısında bulunan Antalya İli, doğusunda Mersin ve Karaman, kuzey doğusunda Konya, kuzeyinde Isparta ve Burdur, batısında ise Muğla İlleri ile sınır komşusudur. Kentin yüzölçümü 20.909 km² (Harita Genel Komutanlığı 2009) olup, Türkiye yüzölçümünün (783.562 km²) %2,6'sına karşılık gelmektedir.



Şekil 1.3. Antalya İli'nin coğrafi koordinatlarını gösteren uydu görüntüsü (10/04/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

Antalya İli iklimi genel olarak, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olarak ifade edilen Akdeniz iklimine girmektedir. Yazın ortalama sıcaklık 30°C - 35°C arasında olup Ocak ayında ise sıcaklık ortalama 6°C - 15°C arasında değişmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2013). Yazın hiç görülmeyen yağmur, Aralık ve Ocak aylarında nadir olarak, ilkbahar ve sonbahar aylarında sağanak halinde yağmaktadır.

Akdeniz Bölgesi içinde Batı ve Orta Toros Dağları yer almaktadır. Burada kalker türü kayaların yaygın, yükseltinin fazla ve yağış koşullarının yeterli olması nedeniyle karstik şekiller yaygın olarak bulunmaktadır. Akdeniz Bölgesinde karstik şekiller hem yüzeyde (lapyta, polye vs) hem de derinlerde (mağara) gelişme göstermişlerdir.

Antalya kenti; güneyinde Akdeniz, kuzeyinde denize paralel olarak uzanan Batı Toroslar, batısında Bey Dağları ve doğusunda Geyik Dağı ile topoğrafik olarak sınırlanmıştır (Bkz. Şekil 1.3). Topoğrafik yapısı sebebiyle ön kısmında dar kıyı düzlükleri ve bunların gerisinde yüksek sıradağlardan oluşan Antalya'da yükselti, Konyaaltı kıyısının 1 km gerisinde yaklaşık olarak 600 metreye, Konyaaltı kıyısının 20 km gerisinde ise yaklaşık olarak 2500 metreye kadar ulaşabilmektedir (Şekil 1.4). Antalya kentinin doğusunda Aksu ve Yamansaz düzlükleri ve batısında ise Boğaçay'ın oluşturduğu alüvyonal düzlükler bulunmaktadır. Antalya'da deniz derinliği, kıyından 3-10 km uzaklığa kadar 0 ile 200 metre arasında yumuşak bir eğimle değişmekte olup,

200 metreden sonra eğim dikleşmekte ve körfez ortalarına doğru derinlik 1000 ile 2000 metreye ulaşmaktadır (Dipova ve Cangir 2011).



Şekil 1.4. Antalya İli topoğrafik sınırlarını gösteren uydu görüntüsü (10/04/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

1.2.2. Çalışma yapılan alanların konumları

Bu çalışmada başta Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı olmak üzere zeminlerin yakın yüzey profillerinin iki boyutlu elektrik özdirenç deneyleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle Akdeniz Üniversitesi kampüs alanında çalışmalar gerçekleştirilmiş ve daha sonra Antalya’da karstik etkinliğin açık olarak gözlenebildiği yerler çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Antalya İli çalışma alanlarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı arazi çalışmaları 5 farklı noktada, 7 hat üzerinde yapılmış ve 15 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Masa Dağı (Kepez) bölgesinde ise 2 farklı noktada, 2 hat üzerinde 4 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Antalya'nın Genel Jeolojisi

Batı Toroslar'da "Antalya Napları" veya "Antalya Karmaşığı" olarak bilinen kaya topluluklarının Orta Toroslar'daki devamını oluşturan Antalya Birliği, allokton ve otokton birimler olmak üzere ikiye ayrılmıştır (Blumenthal 1951, Özgül ve Arpat 1973, Özgül 1976, 1984, Okay ve Özgül 1984, Okay 1986). Orta Antalya Naplarına ait olan kireçtaşı birimleri allokton konumlu olup, otokton konumlu birimler olarak, Jura-Kretase, Paleosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlarının değişik litostratigrafik birimleri yüzeylenmektedir (İnan 1980). Bu jeolojik birimlerin kronolojik açıdan yaşlı birimden genç birime doğru değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Allokton birimler

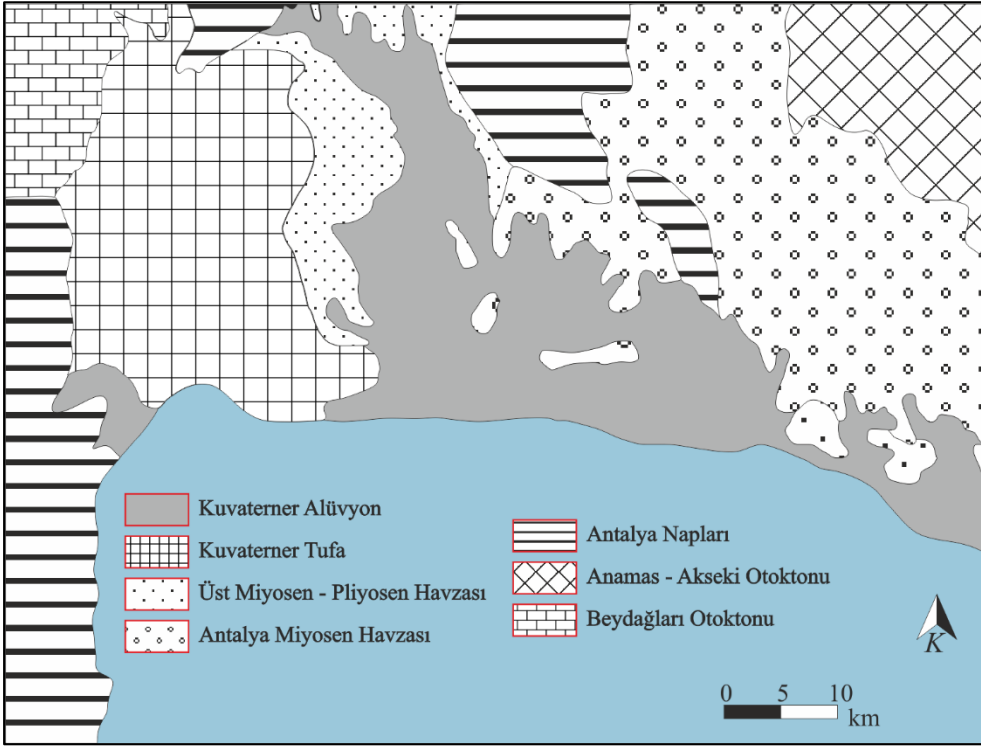
Şenel vd (1981) tarafından Orta Antalya Napı olarak adlandırılan Alakırçay Grubunun üyesi olan kireçtaşı birimi çörtlü mikrit ve plaket görümlü halobialı mikrit özelliğindedir. Bu birim Kalafatçoğlu (1973) tarafından "Gökdere Formasyonu", Günay vd (1982) tarafından ise "Ispartaçay Formasyonu" olarak isimlendirilmiştir. Alakırçay Grubunun ve Tahtalıdağ Napındaki Üst Aniziyen-Noriyen (Triyas) kayalarının genelde Gökdere Formasyonu ile temsil edildiği Şenel (1997) tarafından belirtilmiştir. Birim ince-orta tabakalı, bej-krem-gri-açık gri renkli, plaket görümlü, çört yumrulu, bol radyolaryalı, halobialı mikritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yersel kalkarenit, şeyl, tabakalı çört, tüfit, yastık lav ara seviyeleri içermektedir. Birim seyrek diyabaz dayıklıdır. Birimin yaşı Üst Aniziyen-Noriyen olarak kabul edilmiştir. Formasyonun mevcut jeolojik veriler doğrultusunda volkanizmanın zaman zaman etkili olduğu duraysız havza ortamında çökeldiği belirtilmiştir (Şenel 1997).

2.1.2. Otokton birimler

Yerleşim alanı içinde yaygın şekilde gözlenen ve hâkim litolojiyi oluşturan kalkerli birimler Poisson (1977) tarafından "Antalya Travertenleri" olarak tanımlanmıştır. "Traverten" olarak değerlendirilen karasal kökenli ikincil kalsiyum karbonat çökelimleri 1996'dan itibaren itibaren "Tufa" olarak değerlendirilmiştir (Ford ve Pedley 1996). Bölgedeki tufa birimleri yaklaşık olarak 600 km²lik bir alanı kapsamaktadır (Glover ve Robertson 1998). Daha önceki çalışmalarda "traverten" olarak tanımlanan kaya birimlerinin; ortam sıcaklığı düşük, tatlı suların etkisi ile oluşması ve ılık su çökeli olmaları nedeni ile "Antalya Tufası" olarak isimlendirilmesi daha uygun olmaktadır (Dipova ve Doyuran 2006a). Yeraltı suyunun yüzeye çıktığı bölgelerde, karbonatı su içinde barındıran CO₂'nin havaya karışması ve mikroorganizma etkileri ile CaCO₃ çökelmekte ve tufa oluşmaktadır (Dipova 2005). Traverten zemine göre daha yumuşak ve suya doyma koşullarında sıkışabilen bir zemin türü olan tufalar genel olarak yerleşim alanının güney doğusunda ve Konyaaltı Belediyesi sınırları içerisinde yüzeylenmektedir.

Beydağları otoktonu; Daniyen'de Antalya Naplarının, Langiyen'de de Likya Naplarının yerleşimine sahne olmuştur. Tufa birimi, yağışla yeraltına süzülen suların asitçe zenginleşip, Beydağları'nın yapısında yer alan kalkerli çözmesi ve bu çözeltinin fay hatları boyunca Kırkgöz kaynakları olarak yüzeye çıkması sonucu bünyelerindeki

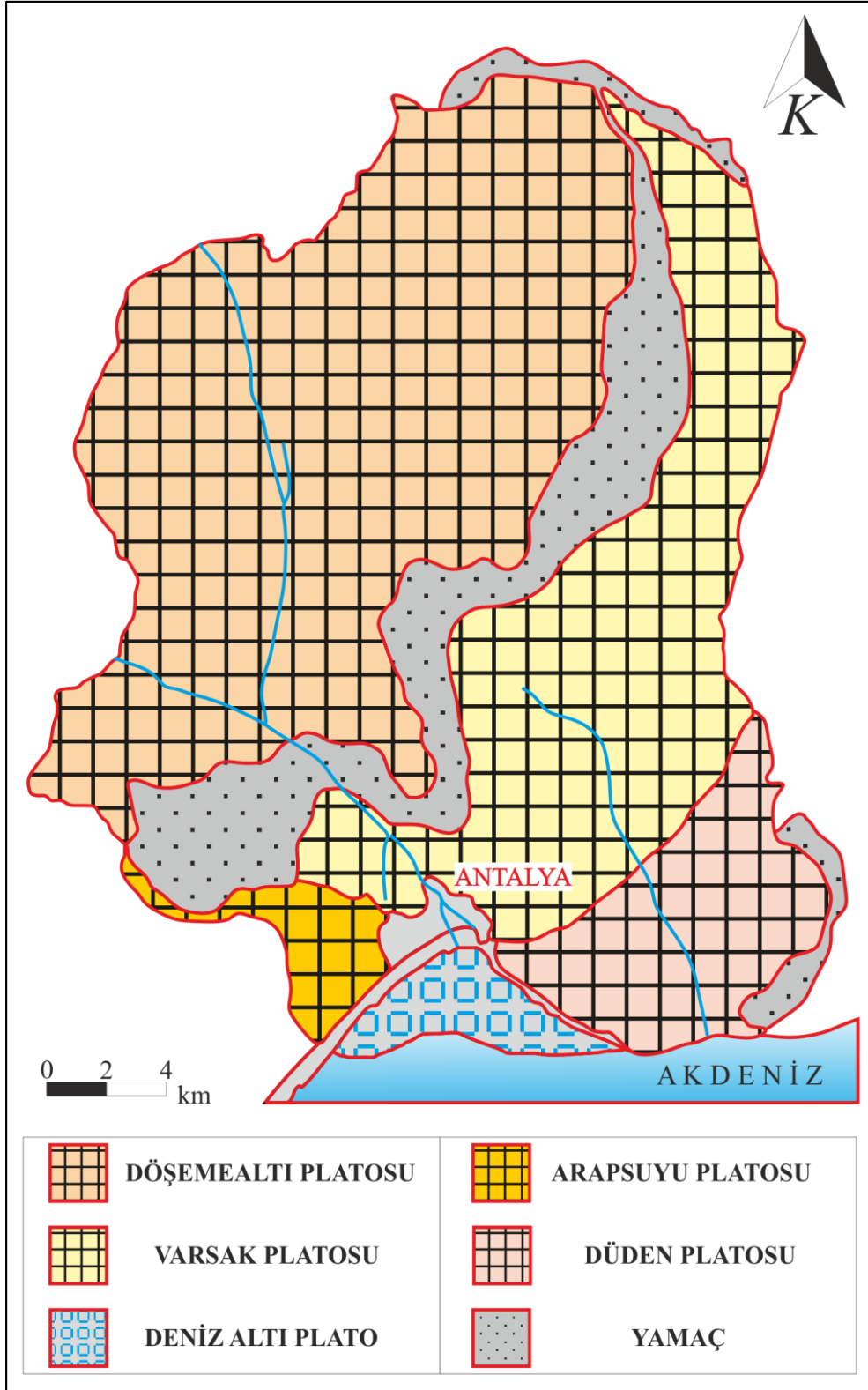
CO₂'nin ayrılıp CaCO₃'ün çökmesi ile oluşmuştur. Başka bir deyişle, tufa birimi, Antalya ilinin 30 km kuzeyinde yer alan Kırkgöz ve diğer kaynak gruplarından tahliye olan bikarbonatça zengin karst sularının, az eğimli ve kısmen geçirimli tabanda hareket ederken çöktüğü ikincil karbonatlar olarak değerlendirilmiştir. Doğuda Aksu Çayı'ndan batıda Beydağları'na kadar yaklaşık 21 km, güneyde deniz kıyısından kuzeyde Kırkgöz kaynaklarına kadar yaklaşık 30 km olmak üzere 630 km²'lik bir alanda gözlenmektedir (İnan 1985) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Antalya ve civarının jeolojisini gösteren harita (Akay vd 1985, Dipova ve Doyuran 2006b'den değiştirilmiştir)

Nossin'e (1989) göre, SPOT sayısal uydu görüntüleri ile yapılan değerlendirmeler neticesinde tufa platoları iki temel gruba ayrılmıştır. Bu iki grup ise kendi içinde biri deniz altında olmak üzere beş farklı plato şeklinde gözlenmiştir (Dipova ve Yıldırım 2005) (Şekil 2.2).

Literatürde karasal ve çok sığ bataklık ortamının ürünü olarak tanımlanan ve geniş yayılımlara sahip tufalar Antalya özelinde iki plato halinde gözlenmektedir. Bunlar 250-300 m kotları arasında yer alan yaklaşık 17 km uzunluğundaki üst plato (Döşemealtı platosu) ve 40-150 m kotları arasında yer alan yaklaşık 7.5 km uzunluğundaki alt plato (Düden-Varsak platosu) olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.3) (İnan 1985).

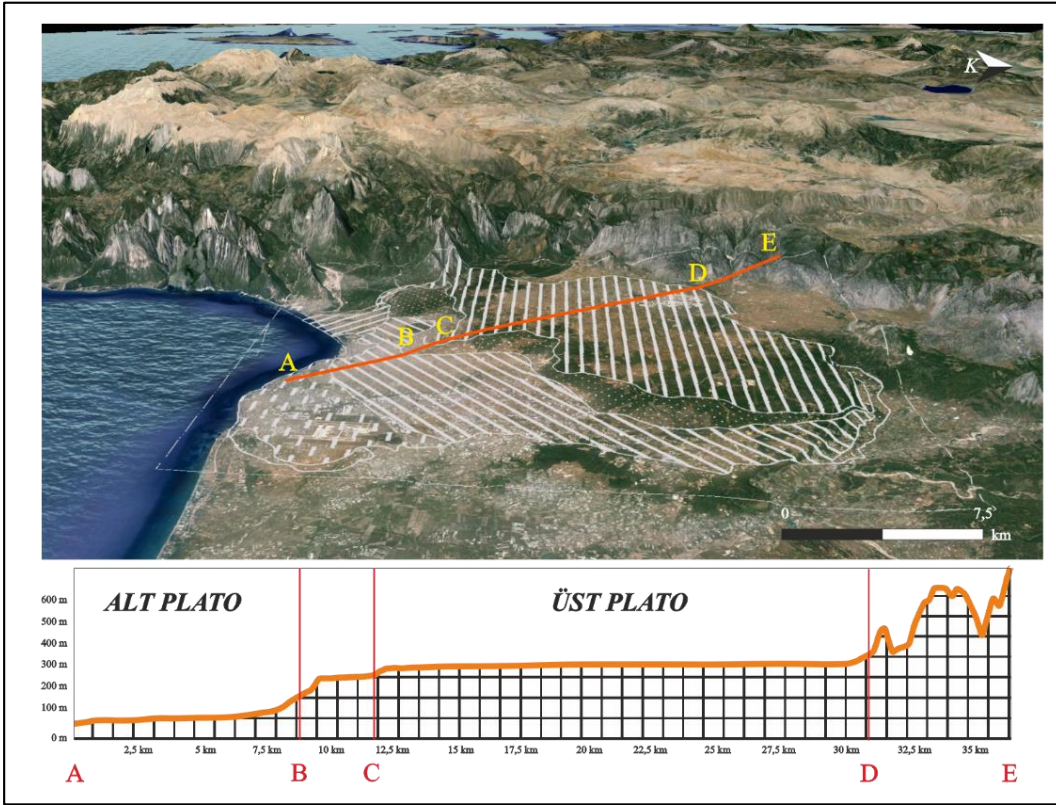


Şekil 2.2. Antalya kıyı platoları (Dipova ve Yıldırım 2005)

Tufa, Akdeniz ikliminin etkisi sonucunda gelişen Akdeniz tipi karstlaşma ile birlikte ilksel ve etkin gözenekliliğin yaygın olarak izlendiği Antalya zeminlerinde,

oluşumunu günümüzde de sürdürmektedir. Tufalar eski topoğrafyanın şekline göre çökme ortamındaki farklı ekolojik koşullar (sıcaklık ve derinlik), karbonat yoğunluğu, flora ve fauna değişikliğine göre fiziksel olarak masif, bitki dokulu, süngerimsi ve oolitik olmak üzere değişik tiplerde doku sunmaktadırlar (Özüş 1992).

Günümüzde tufa oluşumu genellikle yüksek debili şelalarda, küçük debili nehirlerde ve özellikle üst traverten (Döşemealtı) platosunda yeraltı suyu akımının geliştiği yerlerde çöklimini sürdürmektedir. Traverten birim seyrek de olsa içerdiği Condora sp. bulgusuna dayanılarak kronolojik açıdan Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kabul edilmiştir (Akay vd 1985).



Şekil 2.3. Antalya platolarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth) ve Antalya platolarının topoğrafik kesiti

Yerleşim alanı içerisinde yaygın bir şekilde yüzeylenen tufalar üzerinde ayrıca lokal olarak 0,10-1,50 m arasında değişen kalınlıklarda örtü yüzlekleri şeklinde güncel kırmızı renkli terra rossa türü killi birimler yüzeylenmektedir. Sıcak iklim koşullarını yansıtan bu birimler, zayıf karbonik asit özelliğindeki yağmur sularının, kireçtaşlarını ve tufaları eritmesi sonucu kalsiyum bikarbonat ile birlikte açığa çıkan kil ve demir oksit minerallerinin bulunduğu yerlerde veya partikül-jel halinde taşınarak traverten bünyesinde çökeliyle oluşmuştur (Özüş 1992).

Yerleşim alanının batısında Hurma, Bahtılı ve Çakırlar kesiminde Göksu (Boğaçayı), Çandır ve Sarısu çaylarına bağlı olarak gelişen alüvyon zeminler, farklı fasiyesleri yansıtan litolojilerden oluşmaktadırlar. Bu alanlar içerisinde değerlendirilen

Hurma bölgesinde yeraltı suyu seviyesi 1-2 m arasında olup 0-15 m'lik düşey kalınlık içerisinde siyah renkli turba, organik kökenli yüksek plastisiteye sahip taşlaşmamış kil türü litolojiler, kum ve çakıllı seviyeler ile birlikte bulunmaktadır. Bahtılı ve Çakırlar köyü içerisinde ise yeraltı suyu seviyesi mevsimsel yağışlara bağlı olarak 3-8 m arasında değişmekte olup alüvyon zeminler, kil-kum-çakıl türü litolojilerin karasal ortamda düzensiz yığılımlarından oluşmaktadır (DSİ 1985). Yerleşim alanının güney doğusunda Yamansaz, Kemerağzı, Karaçalı, Aşağı Kemerağzı ve Özlü köyü civarında da farklı litolojik fasiyesleri içeren alüvyon zeminler yüzeilenmektedir. Kemerağzı köyünün doğusunda Yamansaz Gölü olarak tariflenen kesimde alt traverten platosu (Düden-Varsak ovası) bünyesindeki yeraltı sularının, kaynaklardan tahliye olması nedeniyle bataklık-sazlık bir alan oluşmuştur. Bu bölge içerisinde de yeraltı su seviyesi 1-2 m arasında olup, siyah renkli turba-organik, kil-kum-çakıl türü litolojilerle ardalanim sunmaktadır. Bu alüvyon birimin altında Pliyosen yaşlı filiş fasiyesinin karakteristik marn, kıltaşı, silttaşı ve kumtaşı litolojileri (Yenimahalle Formasyonu) bulunmaktadır (DSİ 1985).

Lara ve Konyaaltı sahillerinde yüzeilen kumsal çökelleri düzensiz içyapıya sahip olup dalga işlevi ile oluşan kum-çakıl birikintileridir. Kıyı kenar çizgisi içerisinde kalan kesimlerde yüzeilenmektedirler (Şenel ve Gedik 1996).

2.2. Neotektonik

Bölgenin neotektonik özelliklerinin belirlenebilmesi için tüzel ve özel araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

MTA tarafından 14.09.1975 tarihli Landsat Multi Spectral Spectrum (MSS) 4, 5 ve 7. bantları ile Thematic Mapper (TM) 5 ve 6. bantlara ait pozitif filmler kullanılarak yapılan değerlendirmelerde bölgede genellikle KD-GB uzanımlı olmak üzere KB-GD ve D-B uzanımlı çok sayıda çizgiselliğe değinilmiştir. Bu çizgisellikler kırık olarak değerlendirilmiş olup, karst yeraltı suyu dolaşımı açısından büyük öneme sahip oldukları ve Kırkgöz kaynaklarının bu sistem dâhilinde ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca üst traverten platosunda Bıyıklı Düdeni ile Düdenbaşı yeraltı nehri arasındaki karst yeraltı suyu sisteminin açığa çıktığı Varsak çökme dolininin (sinkhole), KB-GD ve D-B uzanımlı 2 büyük çizgiselliğin kesişim noktasında bulunduğu; böylelikle Bıyıklı Düdeni ile Düdenbaşı yeraltı nehrini birleştiren söz konusu KB-GD yönlü çizgiselliğin, travertenlerdeki karst sisteminin gelişiminin yapısal unsurlar tarafından kontrol edildiğinin göstergesi olduğu belirtilmiştir.

Aydar ve Dumont (1979) Landsat görüntülerinden travertenlerde KD-GB, KB-GD ve K-G doğrultulu olmak üzere bölgenin Miyosen sonrası genç tektoniğine bağlı üç tip çizgisellik saptamışlardır. Kıyı falezleri boyunca ölçülen bu süreksizliklerin düşey eğimli olup, traverten platosunu bloklara ayırdıkları tespit edilmiştir. Travertenlerin birincil boşluklu yapısına ek olarak süreksizlik yüzeylerinde de erimeler oluşmuştur. Bu boşluklar yapı statığı, yeraltı suyu hidroliği ve yeraltı suyu kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır (Karagüzel ve Özçelik 1994).

Koçyiğit (1984) tarafından ise Antalya Travertenlerinde gözlenen çizgiselliklerin Ege hendeği boyunca diri yitime bağlı olan çekme tektoniği rejiminden kaynaklanan blok faylanmadan kaynaklandığı açıklanmaktadır.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi tarafından hazırlanan ve 1881-1998 yılları arasında magnitüdü 4'ten büyük ($M > 4$) olan Türkiye depremlerinin episantr dağılım haritasına göre çizgiselliği belirgin ve aktif olduğu kabul edilen beş adet muhtemel aktif fay hattı tespit edilmiştir. Bu fay hatları aşağıda sıralanmıştır:

1. Hat: Batıda Göynük (Kemer-ANTALYA) beldesinde,
2. Hat: Doğuda Aksu (ANTALYA) beldesinde,
3. Hat: Doğuda Manavgat (ANTALYA) ilçesinde,
4. Hat: Batıda Finike-Turunçova (ANTALYA) beldesinde,
5. Hat: Akdeniz'de 1 ve 2 numaralı hatta dik.

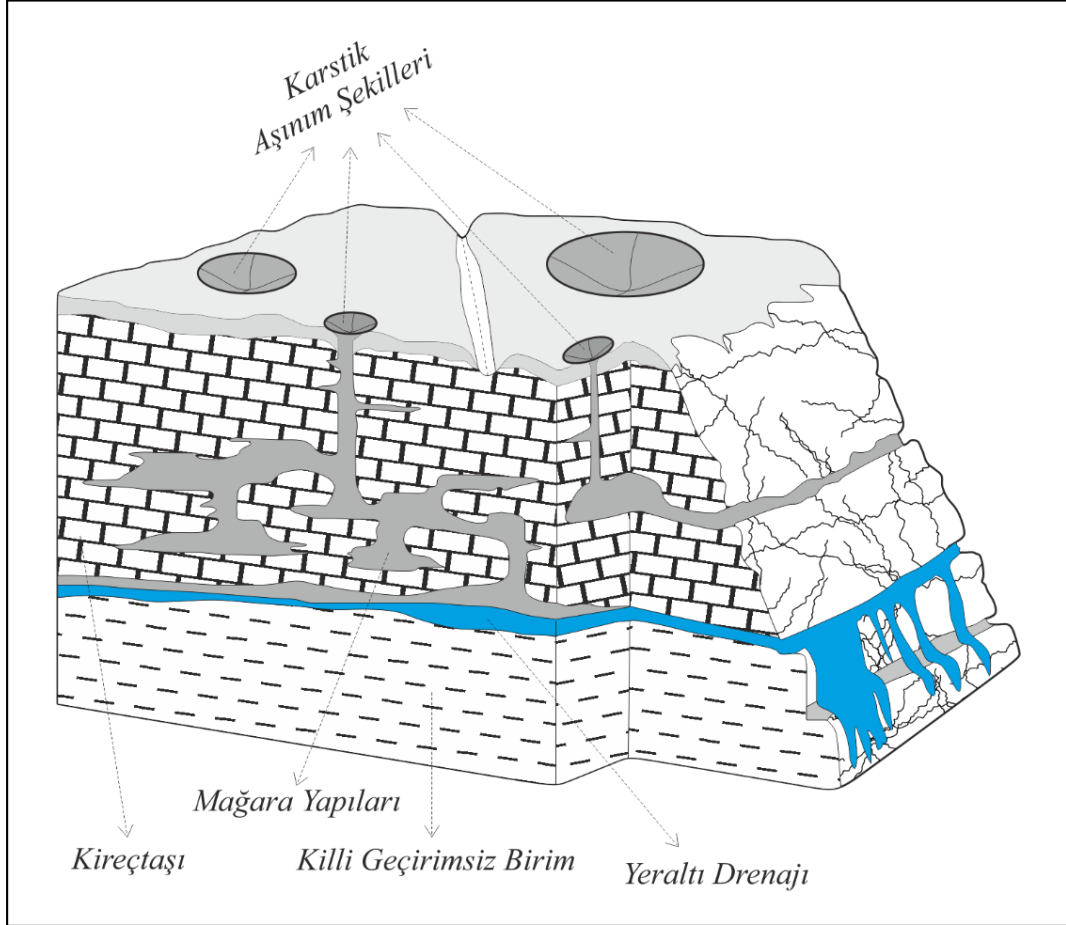
2.3. Karst Jeolojisi

“Karst” sözcüğü Slovence “Kras”, İtalyanca “Carso”, Almanca “Karst” olarak bilinen sözcüklerden literatüre geçmiş olup aynı zamanda Slovenya'nın batı kesiminde yer alan bir bölgenin de adıdır. Slovenya'nın İtalya sınırında bulunan Kras bölgesi, içerdiği çöküntü kısımlar ile karakterize olmuş bir bölgedir. Karst sözcüğü Slav dillerinde “çorak, verimsiz, ürün vermeyen toprak” anlamlarına gelmekte olup yer bilimleri literatürüne de bu şekilde girmiş, aşınmaya karşı dirençsiz, kolay eriyebilen kayalardan oluşan araziler için kullanılmaya başlanmıştır (Kranjc 2011).

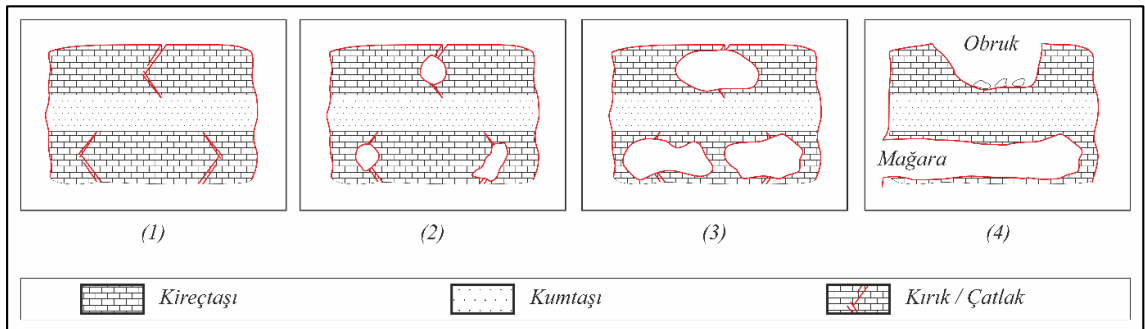
Kireçtaşı, Jips, Anhidrit ve Halit (Tuz) kayaç türleri, yerkabuğundaki diğer kayaçlara oranla daha çözünebilir türdedirler (Sowers 1996). Karstik alanlar ve araziler; kalker, tuz, jips gibi eriyebilen kayaçların çözünmesi sonucu oluşmakta, yüzey çöküntüleri, yeraltı drenajları ve erime boşlukları ile temsil edilmektedirler (Şekil 2.4).

Neredeyse bütün karstik şekiller, eriyebilen kayaçların çözünmesi sonucu oluşan yeraltı mağara ve boşluklarının tetiklemesi sonucunda meydana gelen çökmeler (Şekil 2.5) ile oluşmaktadır (Palmer 1991). Karstik boşlukların oluşumu daha önce de belirtildiği gibi kalker, tuz, jips gibi eriyebilen kayaçlarda gerçekleşmektedir. Jips, Anhidrit ve Halit'in çözünebilme özelliklerinin daha üst seviyede olmalarına karşın, bu kayaçlar yeryüzünde -çok kurak alanlar hariç- sınırlı bölgelerde gözlenebilmektedirler. Bu sebeple daha geniş yayılım gösteren kireçtaşlarının çözünebilirliği, mühendislik ve yapılaşma açısından daha ilgi çekici hale gelmektedir (Sowers 1996). Şekil 2.5'te kireçtaşı biriminde karstik boşluk oluşumu ve devamında obruk ve mağara oluşması gözlenmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere bir obruk ya da mağara oluşumu temelde aynı sürece dayanmaktadır. Şekil 2.5'te (1) numaralı kısımda kireçtaşı biriminde yer alan kırık ve çatlaklar belirtilmiştir. Bu kırık ve çatlaklardan süzülen asidik su sebebiyle kireçtaşı biriminde bazı aşınmalar, çözünmeler gerçekleşmektedir. (2) numaralı kısımda kireçtaşındaki çözünme sebebiyle meydana gelen küçük çaplı boşluklar görülmektedir. Kireçtaşında çözünme meydana getiren asidik özellikli suyun hareketinin devamı ile bu boşluklarda büyüme gözlenir ve (3) numaralı kısımdaki gibi daha büyük çaplı karstik boşluklar oluşmaktadır. 2 boyutlu elektrik öz direnç yönteminde temel olarak (3) numaralı kısımdaki karstik boşlukların tespiti için çalışmalar yapılmıştır. Kireçtaşındaki karstik

boşlukların büyümeleri, kayacın dayanımını azaltıcı niteliktedir, dolayısıyla dayanımın aşıldığı noktada çökmeler ya da kısmi oturmalar gözlenebilmektedir. Şekil 2.5'in (4) numaralı kısmında üst kireçtaşı birimindeki çökme ile obruk oluşumu gözlenmiştir. Yine aynı kısımda, alt kireçtaşında gözlenen çökme ve boşlukların birleşmesi ile açık hava ile temas eden boşluk, mağara özelliği kazanmıştır. Karstik şekillerin oluşum sürecinde, kireçtaşları birimleri arasında kumtaşı biriminin bulunması zorunlu değildir.

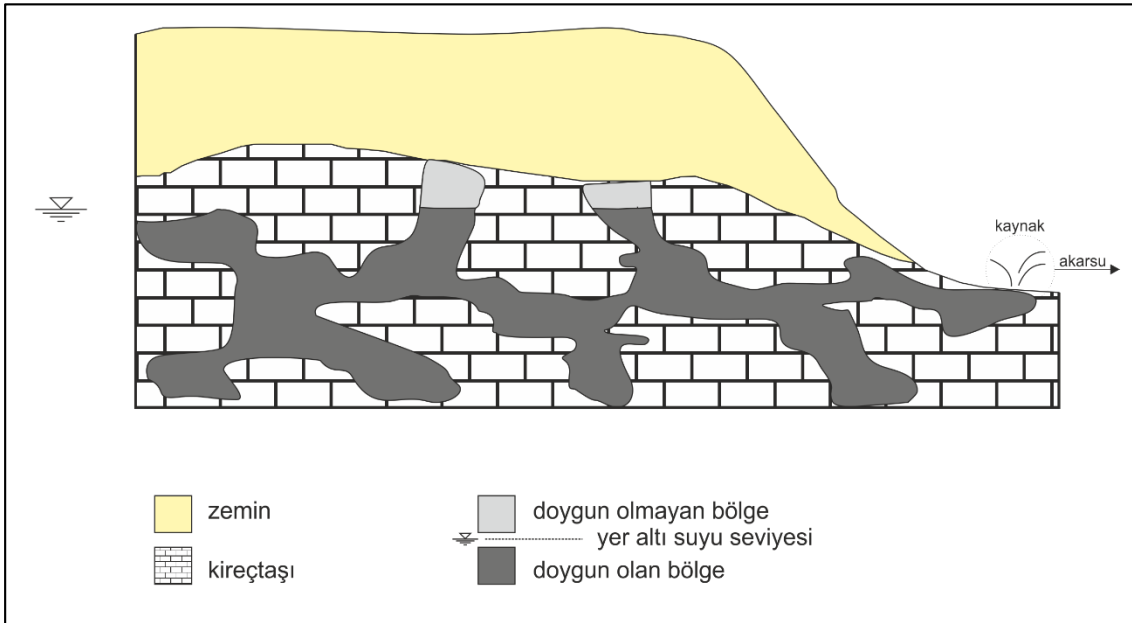


Şekil 2.4. Karstik aşınım şekilleri (yüzey çöküntüleri ve yeraltı boşlukları) şematik gösterimi



Şekil 2.5. Sadeleştirilmiş karstik oluşum görüntüsü (Jol 2007)

Başka bir deyişle; karstik şekiller, yeraltı mağara ve boşlukları içeren kayacın dayanımından kaynaklı olarak meydana gelen ani çökmeler ya da zamana bağlı oturmalar ile ifade edilmektedir. Bu çöküntü ve boşlukların oluşumu asidik özellikli suların kayaç içerisine hareket etmesi ve kayaçta çözünme meydana getirmesi ile mümkündür. Karstik boşluklar genellikle birbirleri ile bağlantılı haldedirler. Suyun kayaç içerisindeki hareketi tamamlanmadığı sürece çözünme ve erime işlemi de devam edeceğinden, boşluklar kayaç içerisinde büyüme ve genişleme gösterecek, devamında boşluklarda birleşme gözlenecektir (Şekil 2.6). Büyüme, genişleme ve birleşme gösteren boşluklar yüzey sularının akifere ulaşımını sağlarlar. Bu çöküntü ve boşlukların oluşumu ve genişlemesi, yeraltı suyu ve yüzey sularının akışına bağlı olup zaman içerisinde kayacın dayanımını azaltacağından yapılaşma ve altyapı çalışmaları açısından tehlike oluşturmaktadırlar. Kalkerlerin içerdiği erime boşlukları üzerindeki kalıntı zeminler için duraylılığı uygun yer seçimi, yapılaşma açısından ve bu yapılaşmanın sürdürülebilirliği bakımından önemlidir. Eriyebilen kayaçların asidik özellikli yeraltı suyunun hareketi ile çözünmesi örtü zemin formasyonunun çökmesine veya kaya zemin kontağında erime boşluklarının oluşmasına sebep olabilmektedir (Sowers 1996). Yıllar boyu süren erime süreci ile binalara destek olan zeminler tamamen çökebilmekte ya da yapıların zeminlerinde farklı oturmalar gözlenebilmektedir. Bunların yanı sıra köprüler ve yollar gibi ulaşım elemanları ile drenaj unsurları da karstik zeminlere rastlayabilir. Ayrıca, karstik boşlukların suyun akifere ulaşımı için drenaj gibi davrandığı düşünüldüğünde tehlikeli olarak nitelendirilen sıvı atıkların yeraltı suyuna karışması da mümkündür.



Şekil 2.6. Karstik boşluklardaki büyüme ve genişlemenin sadeleştirilmiş ifadesi

Karstik aşınım şekillerinden en küçüğü, boyutları cm'den birkaç m'ye gelişen lapyalar olup daha sonra büyüklük sırasına göre dolin, uvala ve obruk oluşmaktadır. Dolinler oluşum şekillerine göre genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Asidik özellik kazanan yağmur ya da akarsu kaynaklı suların kayaçları eritmesiyle oluşan şekillere erime dolini denilirken, yeraltında bulunan mağaraların tavanlarının çökmesi ile oluşan

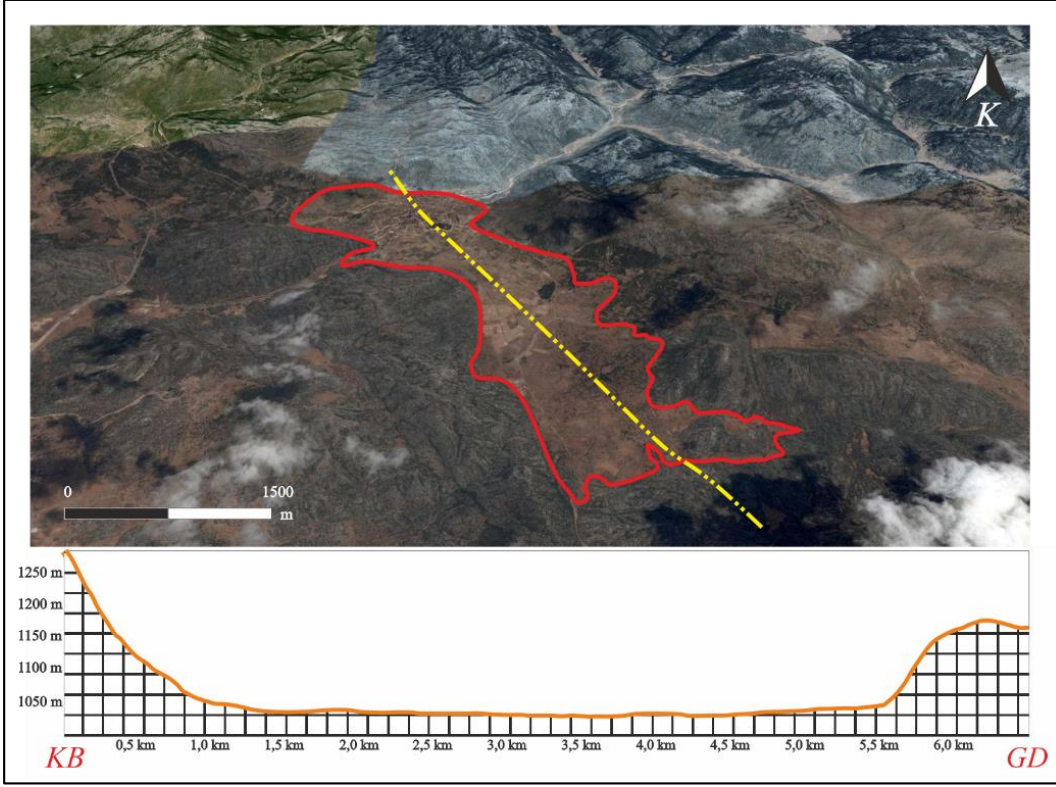
şekillere çökme dolinleri denilmektedir. Çökme dolinleri, erime dolinlerine göre daha derin olup, tabanlarında çökmeden kaynaklı iri bloklar bulundurmaları sebebiyle erime dolinlerinden ayırt edilebilmektedirler. Uvalalar, dolinlerin birleşmesiyle oluşan, dolinlere göre daha düzensiz yapıda olan ve uzunlamasına gelişme gösteren karstik çukurlardır. Obruklar ise baca veya kuyu şeklindeki dik yamaçlı yapılardır. İç Anadolu'nun güneyinde ve Toroslarda yaygın olarak görülmekte olup ülkemiz için Konya'daki Kızılören Obruğu en güzel örnektir (Şekil 2.7).

En büyük karstik aşınım şekli olan polyeler ise genişliği birkaç kilometreye, uzunluğu 25-30 kilometreye ulaşabilen ova görünümlü büyük karstik çukurlardır. Türkiye'de polyeler özellikle Toroslar'da yaygın olup, Akdeniz Bölgesi'ndeki Akseki ovası bir polyedir (Şekil 2.8). Toros sıradağlarının orta kesimindeki uzantıları KB-GD doğrultusuna sahiptir. Akseki ovası da bu doğrultuya uygun olarak uzanmakta ve genel hatları ile dikdörtgen biçimindedir. Akseki polyesinin uzun eksenini 5 km'ye erişirken ovanın ortalama yüksekliği 1030 m civarındadır. Polye dört tarafından, yükseklikleri 1200 m olan dağlar ile çevrilmiştir (Güldalı 1976). Anlam bakımından polye, geçici ya da sürekli göllerin bulunduğu bir çeşit ovardır. Bu bakımdan yurdumuzda çok bulunan bu türlü ovalara "göl ova" da denilmektedir.



Şekil 2.7. Kızılören obruğunu gösteren uydu görüntüsü (21/06/2009 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

Mağaralar ise karstik aktivite ile oluşmuş doğal yeraltı boşlukları olup; mağara içlerinde de erime sürecine bağlı olarak sarkıt, dikit ve sütun biriktirme şekilleri oluşmaktadır. Kalsiyum karbonatça zengin suların mağara tavanından sızarak içindeki CaCO_3 'ün mağara tavanında birikmesi ile sarkıtlar, mağara tabanında birikmesi ile dikitler oluşur. Ülkemizde en güzel örnekleri Damлатаş Mağarası'nda görülmektedir (Şekil 2.9).



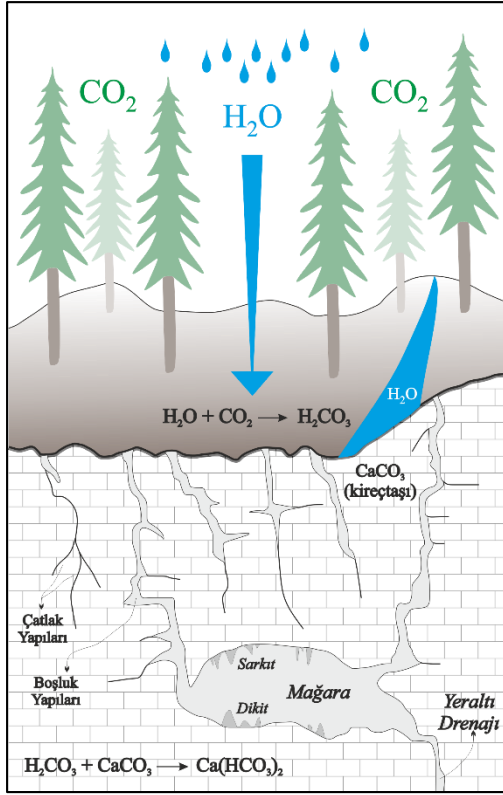
Şekil 2.8. Akseki polyesini gösteren uydu görüntüsü (13/08/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth) ve Akseki polyesinin topoğrafik kesiti



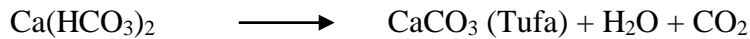
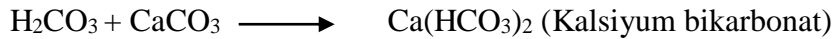
Şekil 2.9. Damlataş mağarasından sarkıt ve dikit birikim şekilleri görünümü

Traverten ve tufa, karbonatlı kayaçların atmosferik ya da yeraltı sularının etkisiyle çözünmesi ve devamında kalsiyum bikarbonatça zenginleşen kaynak sularından itibaren karasal ortamda yeniden CaCO_3 çökelişi sonucu oluşan kayaç grupları olarak tanımlanmaktadır (Koşun vd 2005). Traverten ve tufa terimleri birbirleri yerine kullanılan terimler olsa da, gerçekte, oluşum özellikleri açısından farklılıklar göstermektedirler (Pedley 1990, Ford ve Pedley 1996). Travertenler termal ve hidrotermal kaynak suları ile oluşum gösterirken tufa birimleri düşük Mg-karbonatlı ortam sıcaklığı düşük tatlı suların etkisi ile oluşmaktadır. Bu tanımlamalar ile Türkiye traverten oluşumunda en tipik örnek Pamukkale’de (Denizli) (Altunel 1996), tufa oluşumunda en tipik örnek ise Antalya yöresinde yer almaktadır (Dipova ve Doyuran 2006a).

Damıtık suda kalkerler, silikalara göre daha az çözünür özelliktedir ve hatta çözünemez olarak bile nitelenebilmektedirler. Ancak; CO_2 'nin çözülmüş olduğu sularda ya da $\text{pH} < 7$ olan (asidik özellikli) sularda kalkerler çözünebilir hale gelmektedir. Suda çözülmüş halde bulunan CO_2 , bağlarını kısmen kopararak karbonik asiti (H_2CO_3) oluşturur. H_2CO_3 zayıf bir asittir fakat kalsit ile etkileşime girerek çözünebilir kalsiyum bikarbonatı [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$] ya da dolomit ile etkileşime girerek magnezyum bikarbonatı [$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$] meydana getirmektedir (Şekil 2.10) (Sowers 1996).

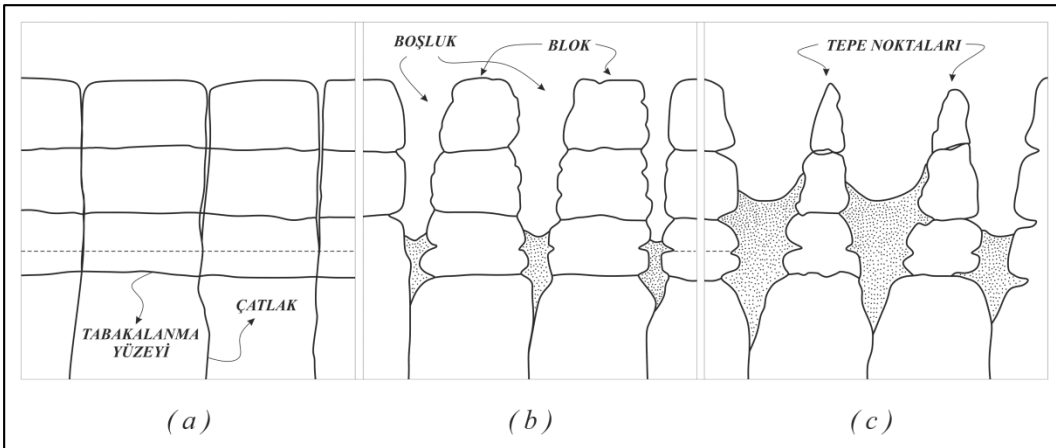


Şekil 2.10. Karst oluşumunu gösteren şema



Son derece çözücü ve asidik olan bu sular, kalker kayaların kırık ve çatlakları boyunca, geçtiği yerleri eritmeleri sonucu yeraltı boşluklarını oluşturmaya başlar. Genel olarak yerçekimine bağlı olarak düşey yönde ilerleyen sular, kireçtaşlarının çatlak geometrisi, bölgenin yüksekliği, kireçtaşları ile erimeye uygun olmayan geçirimsiz kayaların birbirlerine göre konumları, akarsu, nehir, göl veya deniz düzeyine bağlı olarak yatay veya çok az eğimli şekilde hareket ederler. Böylece kuyu şekilli dikey boşluklar oluşabildiği gibi yatay galeriler de oluşabilir.

Kireçtaşının çözünme oranında başlıca etken, sudaki çözülmüş CO_2 derişimidir. Her ne kadar, sıcaklık artışı ile CO_2 'nin çözünlülüğündeki düşüş doğru orantılı olsa bile bu etki çok çok azdır ve baskın değildir. Bunun yerine, havadaki CO_2 'nin su ve toprak ile etkileşime girmesi, kireçtaşının çözünmesi ve ayrışması için daha önemli bir etkidir. Havadaki CO_2 , yağış etkisiyle ayrılmakta ve yağmur suları ile taşınmaktadır. Toprağa ulaşan ve çatlaklardan sızarak ilerleyen yağmur suları, gerek organik maddelerin solunumu gerekse yine organik maddelerin çürümesi sonucunda açığa çıkan CO_2 'nin kazanımı ile yüksek CO_2 derişimine ulaşır (Sowers 1996). Yüzey suları, çatlakların ve katmanların arasından derine doğru ilerledikçe kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bakımından doymun hale gelir ve bu sebeple kireçtaşını eritmesi ve genişletmesi daha yavaş olur (Şekil 2.11-a). Eğer kireçtaşı dikey çatlaklı bir yapıya sahipse çözünme sürecinde dikey boşluklar ve bloklar gözlenecektir. Çatlaklar boyunca ilerlerken $CaCO_3$ bakımından doymunlaşan asidik su, derinlere doğru çözme yetisini yitireceğinden, çözünme farkından dolayı derinlere doğru boşluklarda daralma ve blok genişliklerinde büyüme görülecektir (Şekil 2.11-b). Çözünme süresi boyunca yüzeydeki boşluklarda genişleme, bloklarda daralma gözlenecek ve daralan bloklarda tepe noktaları şeklinde yapılar belirecektir (Şekil 2.11-c). Suyun düşük hızlı ilerleyişi veya uzun süreli çevrim sonucu kayaç-su etkileşiminin uzun periyotlu olması, çözünüm olanağını arttırmaktadır. Dolayısıyla genişleyen kanallardaki suyun hareketlenmesi ve süzülmeğe ziyade akmaya başlaması ile yüzeye yakın kısımlarda çözünme sürecinde kısmen yavaşlama gözlenirken, bu kanallardan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bakımından doymun olmayan suların derinlere ulaşması ile derinlerdeki kalkerin çözünmesi hızlanmaktadır. Organik çürüme ve sülfür minerallerinin ayrışması sonucunda oluşan diğer asitler ile yeraltı suyu kirliliğinden kaynaklı asitler de çözünme oranını bölgesel anlamda kuvvetlendirmektedir (Sowers 1996).



Şekil 2.11. Dikey çatlakların çözünme süreci (Sowers 1996)

2.4. Jeofiziksel Yöntemler

Mühendislik Jeofiziği tanımlaması, 1970'li yıllardan günümüze, jeoteknik mühendisliği araştırmalarına jeofizik yöntemlerin uygulanması şeklinde tanımlanmaktadır. Mevcut bazı klasik teknolojilerin yetersizliği, bir kısmının ise ekonomik açıdan elde edilebilecek yarardan daha pahalıya mal olmaları, klasik yöntemlerin yerin daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması konusunda yeterli olamamasına yol açmıştır. Bunların yanında jeofizik yöntemlerin zaman ve maliyet açısından sağladığı avantaj bu yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmıştır (Keçeli 2009).

Jeofiziksel çalışmalar, günümüzde kullanılan birçok yöntem ile dokanak ilişkisi kesin olarak belirlenemeyen jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede büyük kolaylık sağlamaktadırlar. Jeolojik birimlerin dokanaklarının belirlenmesi, kirli alanların belirlenmesi, boşluk-mağara vb. yapıların saptanması, tuzlu su girişiminin belirlenmesi, maden yataklarının belirlenmesinde ön çalışma açısından önem arz etmesi gibi birçok noktada jeofizik yöntemler sağladıkları kolaylıklar ile öne çıkmaktadırlar.

ASTM Yüzeysel Jeofiziği Yöntemleri Seçim Standartları'na (ASTM D6429-99) göre yeraltı boşluklarını belirlemek için uygun olan ve yaygın olarak kullanılan başlıca dört teknik bulunmaktadır.

- Yer Radarı yakın yüzeysel karst profilini açığa çıkartabilen bir yöntemdir. 20 m derinliğe kadar olan yeraltı boşlukları bu yöntem ile belirlenebilir.
- Sismik Yöntemler, sismik dalgaların yerindeki hareketlerinin ölçülmesinden ibarettir. Stratigrafi, yapısal unsurlar ve materyal özellikleri sismik yöntemler kullanılarak belirlenebilir.
- Rezistivite Yöntemi örtü tabakası kalınlığını, ana kaya derinliğini, erime boşluklarını, çatlaklı bölgeleri ve bozunmuş bölgeleri haritalamak için kullanılabilir.
- Mikrogravite Yöntemi erime boşlukları ile ilintili olan düşük yoğunluk bölgelerini, çatlaklı bölgeleri ve ana kaya profilini belirlemek için kullanılabilir.

2.4.1. Yer radarı yöntemi

Yer radarı yöntemi, yapısal unsurları ve malzeme özelliklerindeki değişimleri açığa çıkartmak için elektromanyetik dalgaları kullanır (Davis ve Annan 1989). Yansıma ve iletim ölçümleri yer radarının temel prensibidir. Malzeme boyunca yayılan sinyaller, öz dirençlerindeki değişime göre serpilir veya yansır. Sinyal tanımlaması kolaydır çünkü dönen sinyal sismik kırılmada olduğu gibi iletilen sinyale benzer. Yer radarı anteninin frekansı 30 MHz ile 1,5 GHz arasında değişir ve yer radarı dalgalarının çözünürlüğü ve nüfuz derinliği kullanılan antenin frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslı antenler yüksek çözünürlüğe fakat düşük nüfuz derinliğine sahiptir.

Yer radarı ile yapılan inceleme derinliği, iletilen elektromanyetik dalgaların gücü ile frekansına ve incelecek olan yerinin elektrik geçirimsizliğine bağlıdır. İnceleme

derinliği 0,1 m ile 100 m arasında değişir fakat jeoteknik uygulamalar için bu derinlik genellikle 0 ile 5 m arasındadır. Düşük geirirnililiğe sahip bir malzemede derinlere nüfuz etmek düşük frekanslı (30-100MHz) bir anten ile mümkün olmaktadır.

2.4.2. Sismik kırılma yöntemi

Zeminlerin jeolojik ve jeoteknik karakterizasyonunun belirlenmesinde kullanılan ve hacim dalgalarıyla çözümlenmeler yapan yöntemlerden biri sismik kırılma yöntemidir. Zeminde çeşitli enerji kaynaklarıyla yapay olarak oluşturulan sarsıntuların, yani elastik dalgaların, yer içerisinde farklı sismik özellikteki iki medya arasından geçerken kırılması ve sismik sinyal olarak yeryüzüne dönüşlerinin kayıtları ile işlem yapılmaktadır. Sismik kırılma yöntemi, bu kayıtların kendine özgü yöntemlerle sayısal değerlendirilmesinden ve yorumundan ibarettir (Redpath 1973). Bu uygulamada sismik refraksiyon yöntemi, dalga yayılım hızının derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların hacim dalgalarının boyuna ve enine hızlarının (V_s & V_p), bu zeminlerin sertliklerinin (sediment stiffnesses) ve ana kayaya kadar olan derinliklerinin yeterli bir doğrulukla, zeminlere zarar vermeden (non-invasive) saptanmasını sağlar (Stokoe ve Santamarina 2002). Sismik hızlar, yüzeyden standart kırınım teknikleri ile tayin edilebileceği gibi, sondaj deliklerinde patlatma yapılarak da belirlenebilir (Palmer 2000). Sismik kırılma yönteminde, bir kaynaktan oluşturulan elastik dalgaların yerin farklı özelliklerdeki katmanları içinde (kırılma ve yansımaya uğrayarak) yayılmalarına ilişkin yol alış (seyahat) zamanları ölçülür. Bu zaman-uzaklık kayıtları daha sonra uygun biçimde işlenerek tabakalı ortamların kalınlık ve sismik dalga hızlarını belirleyen yeraltı modelleri oluşturulur. Bu hızların birbirleriyle ilişkileri kullanılarak kaya ve toprak zemin kütlelerinin yoğunluğu, kayma dayanımları, deformasyon modülü ve dinamik parametreler gibi yeraltı yapısını belirleyici fiziksel özellikleri tayin edilebilir.

Bu yöntem özellikle yeraltı katmanlarının ana kayaya kadar olan derinliği ve bu derinliğin yanal değişimi, ters ve düz çoklu vuruş yapıldığında jeofon altı derinliklerinden yararlanılarak arakesit ondülasyonları ve özellikle alüvyon örtü altındaki temel kayacının derinliğinin tayini ile yerinde (in-situ) zemin elastik parametrelerinin elde edilmesinde çok güvenilir sonuçlar vermektedir (Redpath 1973, Palmer 1980, 2000). Sonuç olarak, günümüzde bu modeller ve parametreler, sığ derinliklerde, yani her türlü mühendislik yapısının temelinde, rahatlıkla kullanılarak daha bilinçli araştırmalar yapılabilmesine yardımcı olmaktadır.

2.4.3. Elektrik rezistivite yöntemi

Rezistivite (Doğru Akım Özdirenç) yöntemi; kuramı ve uygulamasının kolay olması, ölçü aletinin basit olması ve yöntemin etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüzde kullanılan en yaygın jeofizik yöntemlerinden biri olmuştur (Van Nostrand ve Cook 1966, Zohdy 1974, Telford vd 1990, Candansayar ve Başokur 2001).

Rezistivite ölçü düzeneği için bir güç kaynağı (akü), bir akım ölçer ve bir gerilim farkı ölçer gereklidir. İki noktada yere çakılmış elektrotlar yardımı ile akım uygulanır ve diğer iki noktada çakılmış elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen bu gerilim farkı, tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır. Ayrıca elektrotların çakıldığı yer de ölçülen gerilim farkını etkiler. Rezistivite

yönteminde gerilim farkı ölçülmektedir. Fakat veri yorumunda fiziksel bir büyüklüğe ihtiyaç vardır. Bu fiziksel büyüklük öz dirençtir ve ölçülen bu gerilim farkından (ΔV -volt) hesaplanır (Van Nostrand ve Cook 1966).

Bu metodolojide akım ve gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir. Aynı yer için farklı elektrot dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile görünür öz direnç değerleri de farklı olmaktadır. Geleneksel elektrot dizilimleri, elektrotların bir bakışım (simetri) merkezine göre, çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, Dipol-Dipol ve Kutup-Dipol dizilimleridir. Bu dizilimlerin yanı sıra, kullanılan çok elektrotlu ölçü sistemlerine uygun ve uygulamada etkili olan dizilimlerde bulunmaktadır (U.S. Army Corps of Engineers 1995). Bu dizilimler amaca yönelik seçilmektedir. Schlumberger ve Wenner dizilimi derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde ve maden aramacılığında ise daha çok Dipol-Dipol dizilimi kullanılmaktadır. Ülkemizde en çok kullanılan dizilim Schlumberger elektrot dizilimidir.

2.4.4. Gravite yöntemi

Gravite yöntemi, yakın yüzey yoğunluk dağılımının gözlenmiş bir gravite alanının kullanılarak belirlendiği bir jeofizik yöntemdir. Gravite genellikle yeryüzeyinde gravitemetre kullanılarak ölçülür. Ayrıca gravite; havada, denizde ve sondaj kuyusunda, bu ortamlar için tasarlanmış gravitemetre kullanılarak ölçülebilir. Gravite yöntemi, ana kaya profilinin belirlenmesi, gömülü fayların belirlenmesi ve yeraltı erime boşluklarının belirlenmesi için geniş kullanıma sahiptir. Özellikle çok sık ölçümler kullanan mikrogravite yöntemi yapılaşma amaçlı çalışmalarda yaygın olarak kullanılır (Takahashi 2004).

Gravite yönteminin genel uygulama alanları:

- a) yakın yüzey yeraltı erime boşluklarını belirlemek,
- b) depreme dayanaklı yapılar inşaa edebilmek için ana kaya profilini belirlemek,
- c) kalın sedimanter tabakaların altındaki gömülü fayları belirlemek,
- d) iyileştirmeden önceki ve sonraki anomalileri ölçerek, çimentolama ve sıkıştırma gibi iyileştirme tekniklerini değerlendirmektir.

2.5. Elektrik Öz direnç Yöntemi

Yeraltı yakın yüzey profilini belirlemek için uygun olan ve yaygın olarak kullanılan tekniklerden en önemlisi elektrik öz direnç (electrical resistivity) yöntemidir. Elektrik öz direnç yöntemi, örtü tabakası kalınlığını, ana kaya derinliğini, çatlaklı, boşluklu bölgeleri ve bozunmuş bölgeleri haritalamak için kullanılabilir.

Kayaçların elektrik öz dirençlerinin saptanması temelde Ohm Kanunu'na dayanmaktadır. Yer içine elektrotlar aracılığıyla akım gönderildiği zaman, elektrik akımı yer içerisindeki sıvı ortamlarda iyonlar ile, metalik ortamlarda elektronlar ile veya her iki

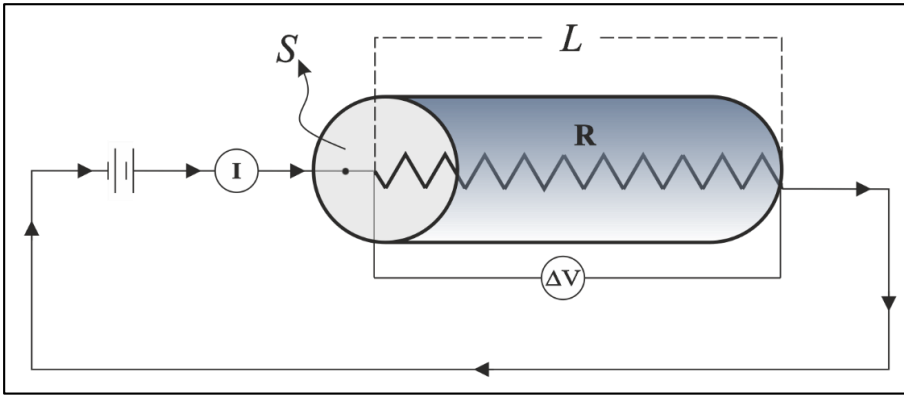
ortamın birlikte olduğu ortamlarda hem elektron hem de iyonlar ile taşınmaktadır. Yer içine gönderilen akıma ve yerin elektrik akımını iletme özelliğine göre yer içinde elektrik potansiyeli dağılımı oluşmaktadır. Ohm Kanunu'na göre de bir elektrik devresinden akım geçerken, elektrik devresindeki direnç elemanında gerilim düşmesi meydana gelir. Bu gerilimin (V , volt) devreden geçen akıma (I , amper) oranı sabittir ve bu oran R direnç (Ω , ohm) olarak tarif edilmektedir (Eşitlik 2.1).

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Elektrik devresindeki direnç elemanı Şekil 2.12'de görüldüğü gibi S taban alanına ve L uzunluğuna sahip prizmatik homojen izotrop bir numune olsaydı, o zaman R direnci, uzunluğa ve taban alanına bağlı olarak Eşitlik 2.2'deki gibi ifade edilir:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2.2)$$

Bu denklemde R direnç (ohm, Ω), L uzunluk (m), S taban alanı (m^2) olup, ρ parametresi birime ait öz direnç değeridir ve birimi ohm-metre (Ωm)dir.



Şekil 2.12. Numune öz direncinin ölçülmesi

Elektrik öz direnç yöntemi açısından kayaçların en önemli elektrik parametresi iletkenliktir (σ) ve iletkenliğin tersi de öz direnç (ρ) olarak bilinmektedir (Eşitlik 2.3).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

Elektrik öz direnç, yer katmanlarının elektrik akımının geçmesine gösterdikleri direnci ölçmeyi esas alan yöntemdir. Elde edilen parametreye öz direnç denilmekte ve ohm-metre (Ωm) cinsinden ifade edilmektedir.

2.6. Önceki Çalışmalar

Deceuster vd (2006) tarafından Belçika'nın güneybatısında yer alan Tournai kentinde yapılan çalışmada, karbonifer yaşlı kireçtaşı ve bu birimi uyumsuz olarak örten

Kretase marnları ile kumlu, killi Tersiyer tortulları gözlenmiştir. Pekişmemiş halde bulunan bu örtü birimi sebebiyle, bölge çökme olaylarına çok müsaittir ve bölgedeki çökme alanının çevresinde yer alan yapılarda iyileştirme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bölgedeki dört katlı bir binanın zemin koşullarını belirlemek ve iyileştirme çalışmalarını tespit edebilmek için Ocak-Şubat 2004'te 23 elektrik özdirenç çalışması yapılmıştır.

Meydana gelmiş olan obruk yaklaşık olarak 3 metre çapındadır ve sağlıklı sonuçlar için her 1 metrede yapılması gereken sondaj çalışmalarının maliyeti yüksek olacağından, jeofiziksel çalışmalar tercih edilmiştir. Bölgenin elektrik özdirenç değerleri RES2DINV programı ile modellenmiş ve ayrılmış-pekişmemiş birimlerde elektrik özdirenç değeri 50 ohm-metreden düşük ($\rho < 50 \Omega m$), sağlam-sert kireçtaşı bölgesinde ise elektrik özdirenç değeri 200 ohm-metreden yüksek ($\rho > 200 \Omega m$) olarak tespit edilmiştir. Jeofiziksel çalışmalar neticesinde oluşturulan yeraltı haritası sonucunda 250 mikrokazık ile iyileştirme çalışması önerilmiştir. İyileştirme çalışmaları süresince, elektrik özdirenç çalışmalarından elde edilen sonuçların doğruya çok yakın olduğu, yapılan modellemelerin hassasiyetinin ise bir metreden az olduğu gözlenmiştir. Deceuster vd'nin (2006) yaptığı çalışma örneğinde olduğu gibi elektrik özdirenç yöntemi kireçtaşı birimindeki boşluklarının tespitinde yaygın olarak kullanılmakta ve iş gücü ile maliyet önemli oranda azaltılmış olmaktadır.

Gautam vd (2000) tarafından, Nepal'in merkezinde yer alan Pokhara Vadisi'ndeki karstik özellikli birimlerde Schlumberger ve Dipol-Dipol elektrik özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Pokhara Vadisi, katmanlı görünümlü kırıntılı çakıl, silt ve kil birimleri ile örtülü olup, bu birimler bölgeye Annapurna sıradağlarından moloz akması ile gelmiş ve yerleşmiştir. Bölgedeki karstik birimler (yeraltı drenajları, mağara boşlukları, obruk vb çöküntü alanları) geniş alanda hem yeraltı hem de yer üstünde gözlenmektedir. İster yeraltında ister yer üstünde olsun, tüm karstik birimler bölgedeki yapılar (ev, çiftlik alanı vb) için tehlike oluşturmaktadır. Bu sebeple özellikle gömülü olarak bulunan karstik yapıların varlığının tespiti önemli hale gelmektedir. Gautam vd (2000) tarafından yapılan çalışma sonunda yüksek elektrik özdirenç değerleri, bölgedeki yeraltı karstik yapıların varlığını belirtmiştir. Bölgede daha önce sondaj çalışmalarının yapılmamış olması handikap olarak nitelenirken bu boşluğun jeofiziksel çalışmalar ve uygun modelleme yöntemleri ile doldurulduğu, bölgenin yeraltı karstik yapılarının tespit edildiği öne sürülmüştür.

Ramakrishna'ya (2011) göre kendine has özellikleri bulunan karstik alanların doğru bir şekilde belirlenebilmesi dikkatle incelenmesi gereken bir konudur. Karstik alanların tespitindeki hatalar ya da eksikler, projeler açısından hem araştırma süresince hem de yapım süresince maddi zararlar oluşturacaktır. Ramakrishna'ya (2011) göre elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi, karstik alanların, boşlukların tespiti için kullanılabilir bir yöntemdir. Elektrik özdirenç görüntüleme yönteminden elde edilen en büyük fayda ise ani çökme potansiyeline sahip bölgelerin önceden kolaylıkla ve doğru bir şekilde tespit edilebilmesi ve bunun sonucu olarak da maddiyat ve zaman açısından kazanç sağlanmasıdır. Yapılan ölçümlerde, elektrik özdirenç görüntüleme verileri ile SPT verileri karşılaştırılmış ve iyi derecede uyuma gözlenmiştir. Yöntemlerin uygulanması için harcanan zamanlar dikkate alındığında jeofiziksel yöntemlerin aynı sonuca daha kısa sürede ulaştığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Ön İncelemeler ve Büro Çalışmaları

Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi ile yakın yüzey profilleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ancak; elektrik özdirenç yöntemi uygulamasından önce gerek arazide yapılacak ön incelemeler, gerekse büroda yapılacak ön çalışmalar, sağlıklı sonuçlar alınabilmesi, zamanın ve iş gücünün efektif olarak kullanılabilmesi için önemlidir.

Elektrik özdirenç yöntemi ile incelenecek olan bölgeler seçilirken korelasyon yapılabilecek alanların araştırılmasına önem verilmiştir. Jeofizik yöntemler sonucunda elde edilecek sonuçların doğruluğu ve hassaslığı, ancak önceki deneysel çalışmalar ile karşılaştırma yapılarak elde edilebilir. Yöntemin uygulanacağı alanda daha önce yapılan sondajlardan elde edilen veriler korelasyon için önemli bir basamaktır. Bu sebeple incelenecek alanda daha önceden yapılan etütlere ait raporlar ilgili kurumlardan edinilmiştir. Elde edilen sondaj verileri ile bölgedeki karstik aktivite, karstik boşluk olasılığı durumları incelenmiş, sağlıklı sonuçlar alınabilecek alanlarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Sondaj verilerinin yanı sıra bölgede daha önce yapılmış olan jeofizik analizler de korelasyon için kullanılmıştır.

Bahsedilen çalışmaların yanı sıra, jeolojik kesiti açık olarak görülen kazı alanlarında yapılan elektrik özdirenç çalışmaları birebir uyum açısından daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu sebeple ön incelemeler kapsamında karstik aktivite içeren ve kesiti açıkça görülen alanların gözlemi yapılmış ve uygun bölgelerde elektrik özdirenç çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Doğru Akım Özdirenç (Direct Current Resistivity) yöntemi olarak da bilinen elektrik özdirenç (electrical resistivity) yöntemi; kuramının ve uygulamasının kolaylığı, ölçü aletlerinin basit olması ve yöntemin etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüzde kullanılan en yaygın jeofizik yöntemlerden biri olmuştur. Elektrik özdirenç yöntemi, başta çok elektrotlu olarak kullanılmaya başlanması ve bununla birlikte yazılım sistemlerindeki ilerlemeler şeklinde kendini gösteren yenilikler ile Elektrik Özdirenç Görüntüleme (Electrical Resistivity Imaging) ya da Elektrik Özdirenç Tomografi (Electrical Resistivity Tomography) olarak anılmaya başlanmıştır.

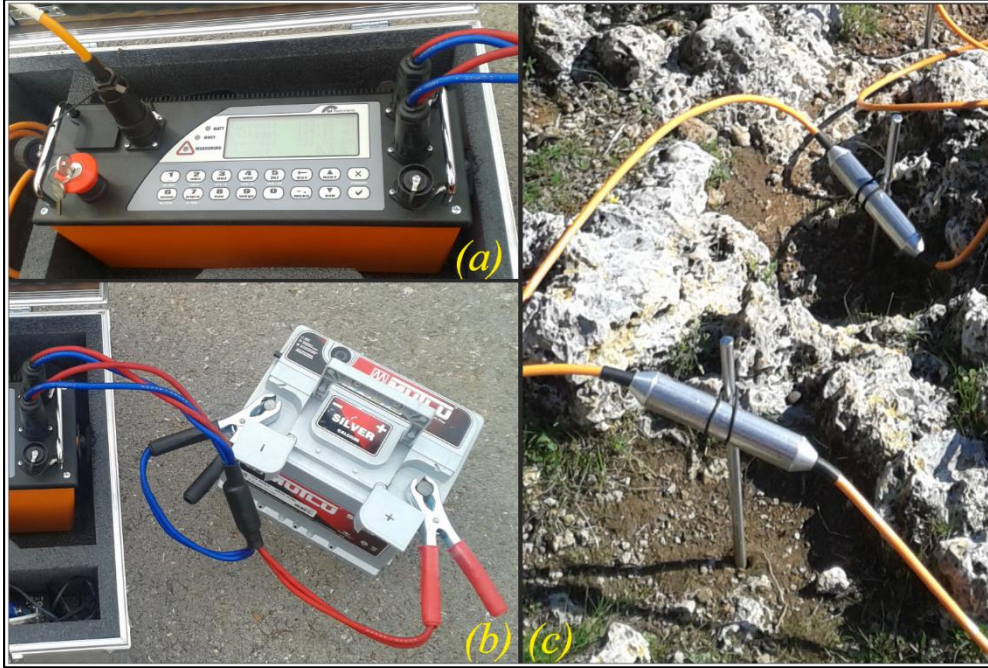
Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi, ekipman ve bilgisayar teknolojisi avantajları ile yüzey jeofiziği yöntemleri arasında en gözde olan yöntemlerdendir. Bu yöntemi diğer jeofizik yöntemlere göre öne çıkaran bir başka husus da, maddiyat ve zaman faktörleri açısından önemli bir kazanç sağlamasıdır.

Klasik elektrik özdirenç görüntüleme yönteminde, kullanılan elektrot dizilimine bağlı olarak her ölçüm sonrası elektrotların manuel olarak hareket ettirilmesi ve tüm ölçüm tamamlanana kadar bu işleme devam edilmesi gerekmektedir. Bu durum zaman ve iş gücünü son derece olumsuz etkilediğinden özellikle bu alanda birçok gelişme elde edilmiştir. Bunlardan en önemlisi, çok elektrotlu elektrik özdirenç görüntüleme yönteminde, seçilen ölçüm yöntemine göre elektrot sıralamasını belirleyen kontrol biriminin bulunmasıdır. Çok elektrotlu yöntemde ölçü cihazı bilgisayar kontrollüdür. Tüm elektrotlar çok kanallı tek kablo ile ölçü cihazına ve kontrol birimine bağlandıktan sonra, istenen elektrot dizilimi (Wenner, Schlumberger vs) için ölçüm alınmaktadır. Kontrol birimi, seçilen ölçüm yöntemini sinyaller ile elektrotlara iletir ve manuel olarak

insan eli ile yapılan işlemi kontrol birimi otomatik olarak gerçekleştirir. Akım elektrotu olarak işlem yapan bir elektrot bir sonraki ölçümde kendisine iletilen sinyal ile gerilim elektrotu olarak işlem yapabilmektedir. Bu sayede zaman ve iş gücü olarak önemli kazanç sağlanmış olunur. Bununla birlikte her ölçüm sonrası yapılan yer değiştirmeden kaynaklı hassaslık sorunu da elektrotlar hep sabit kaldığından büyük ölçüde azalacak hatta hassaslık en üst seviyede olacaktır.

3.2. Materyal

Elektrik özdirenç ölçümleri için temelde kaynak, alıcı ve kontrol birimi ekipmanları yeterli olmaktadır. Burada akım elektrot çifti, kaynak; potansiyel elektrot çifti ise alıcı olarak işlem görmektedir. Kontrol birimi ise elektrot dizilimini yönetmektedir. Bu tez çalışmasında GF Instrument'e ait ARES çok elektrotlu rezistivite cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.1-a'da ARES rezistivite cihazı, Şekil 3.1-b'de rezistivite cihazının akü bağlantısı ve Şekil 3.1-c'de elektrotlar ile akıllı kablunun bağlantısı gösterilmiştir.

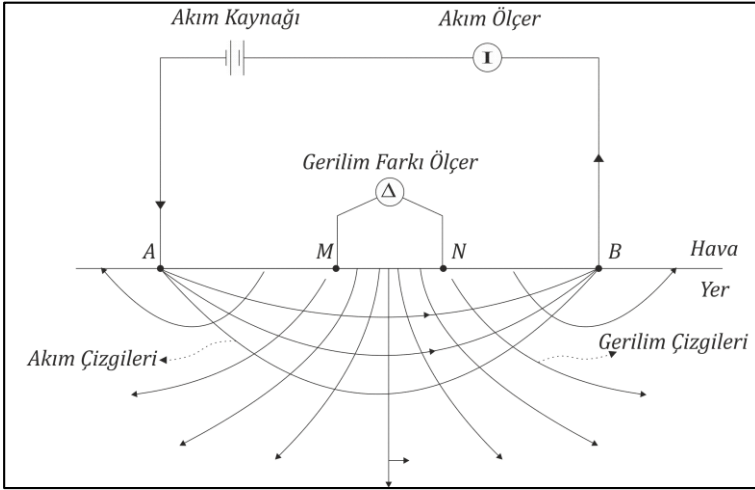


Şekil 3.1. (a) ARES çok kanallı rezistivite cihazı, (b) rezistivite cihazının akü bağlantısı, (c) akıllı kablunun elektrot bağlantısı

3.3. Metot

3.3.1. Klasik özdirenç yöntemi

Elektrik özdirenç temel olarak bir güç kaynağı (akü, jeneratör), bu güç kaynağından istenilen seviyede voltaj ve akım üreten güç birimi, akım ve gerilim ölçüm cihazları ve elektrotlardan (akım ve potansiyel elektrot çiftleri) oluşmaktadır. Şekil 3.2'de klasik özdirenç yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Burada A ve B akım elektrotlarını, M ve N ise potansiyel elektrotlarını temsil etmektedir.



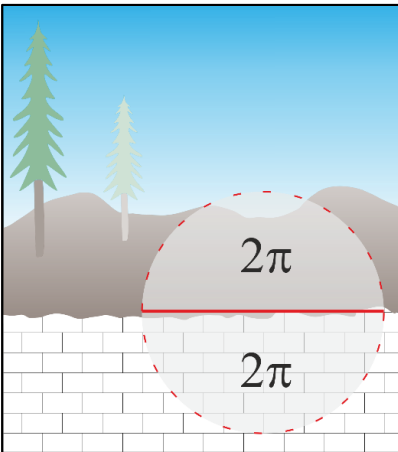
Şekil 3.2. Klasik öz direnç yöntemi şeması

Elektrik öz direnç ölçümlerinde iki noktada yere çakılmış elektrotlar ile akım uygulandı ve bu elektrotlar ile diğer iki noktada çakılmış olan elektrotlar arasındaki gerilim farkının ölçüldüğü belirtilmişti. Ölçülen bu gerilim farkı (potansiyel fark), elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır. Yöntemde gerilim farkı ölçülüyor olsa da veri yorumunda fiziksel bir büyüklüğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu fiziksel büyüklük öz dirençtir ve ölçülen gerilim farkından (ΔV) hesaplanır (Van Nostrand ve Cook 1966) (Eşitlik 3.1).

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte I , yere uygulanan akım ve ΔV , ölçülen gerilim farkıdır. Eşitlikte yer alan k faktörü ise elektrotların konumuna bağlı geometrik faktördür.

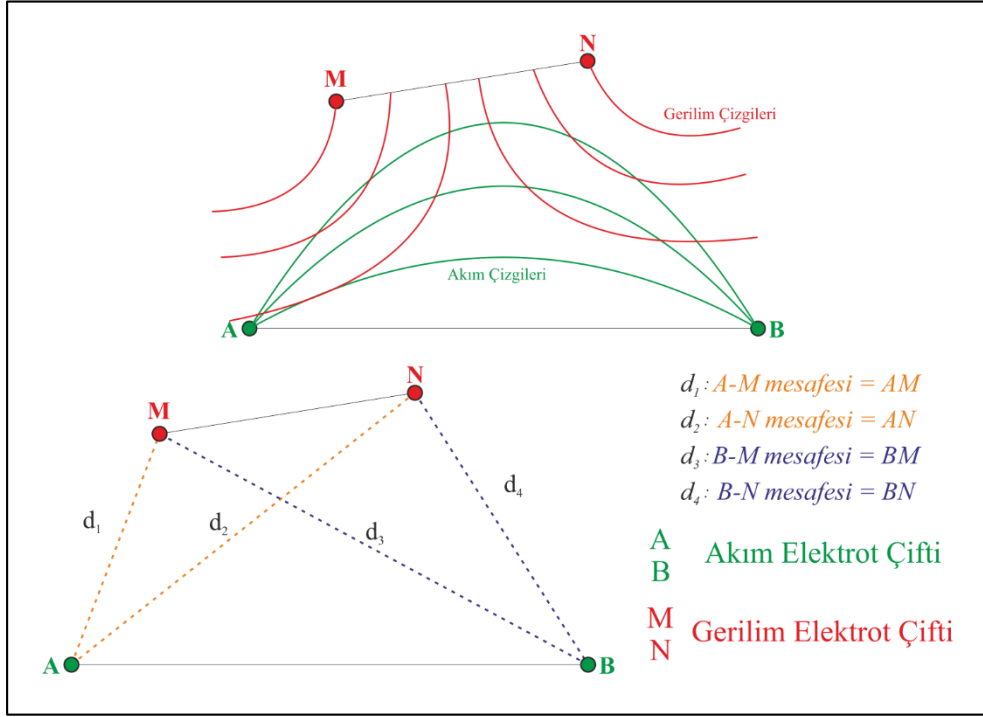
Yarı sonsuz (2π) (Şekil 3.3), homojen, izotrop bir ortamda I akımının r uzaklığındaki bir ölçüm noktasında oluşturacağı gerilim V 'dir (Eşitlik 3.2).



Şekil 3.3. Yarı sonsuz (2π) ortamın ifadesi

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.1'deki k faktörünün hesabı için Şekil 3.4'teki elektrot dizilimi örnek olarak gösterilmektedir. A ve B elektrotlarından verilen akım ile M ve N elektrotlarından ölçülen gerilim değerleri dikkate alındığında sistemin gerilim farkı ΔV olmaktadır. Burada ΔV ise M elektrotu ile N elektrotu arasındaki gerilim farkına eşit olmaktadır.



Şekil 3.4. k faktörü hesabı için şema

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (3.3)$$

$$V_M = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (3.4)$$

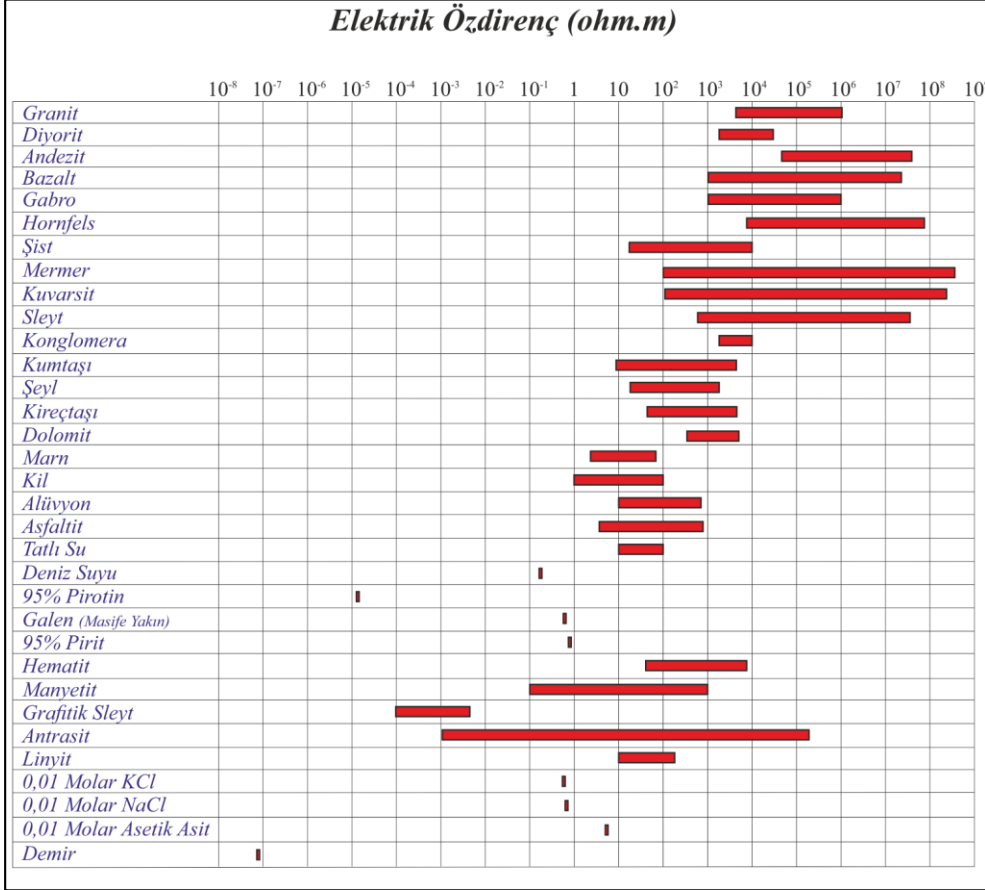
$$V_N = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (3.5)$$

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6, Eşitlik 3.1'de yerine yazılırsa k faktörünün hesabı için Eşitlik 3.7 elde edilir:

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \quad (3.7)$$

Çok rastlanılan kaya, zemin ve kimyasalların özdirenç değerleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir (Daniels ve Alberty 1966, Keller ve Frischknecht 1966, Telford vd 1990).



Şekil 3.5. Kaya, zemin ve minerallerin rezistivite değerleri (Loke 2004)

Magmatik ve metamorfik kayalar genellikle yüksek özdirenç değerlerine sahip olup bu kayaların özdirenç değerleri çatlaklara ve su ile dolu çatlakların yüzdesine bağlıdır. Bu nedenle herhangi bir kaya türü, ıslak veya kuru oluşuna bağlı olarak 1000 ile 10 milyon Ωm arasında bir rezistivite değerine sahip olabilmektedir. Daha gözenekli ve su içeriği yüksek olan sedimanter kayalar ise magmatik ve metamorfik kayalara göre daha düşük özdirenç değerlerine sahiptir. Bu kayaların özdirenç değerleri de kayacın gözenekliliğine ve içerdiği suyun tuzluluk oranına bağlı olmakla birlikte, genellikle 1000 Ωm 'den az olmak üzere 10 ile 10000 Ωm arasında değişmektedir. Gevşek (unconsolidated) sedimanlar, sedimanter kayalara göre daha düşük özdirenç değerlerine sahiptir ve bu değer 10 ile 1000 Ωm arasında değişebilir. Bu tür zeminlerde özdirenç değeri kil içeriğinin yanı sıra gözenekliliğe de bağlıdır. Killi zeminler normalde kumlu zeminlere göre daha düşük özdirenç değerlerine sahiptir. Fakat Şekil 3.5'e bakıldığında değişik türdeki kaya ve zeminlerin özdirenç değerlerinin örtüştüğü görülmektedir. Bunun sebebi belirli kaya ve zemin örneklerinin özdirenç değerlerinin gözeneklilik, suya

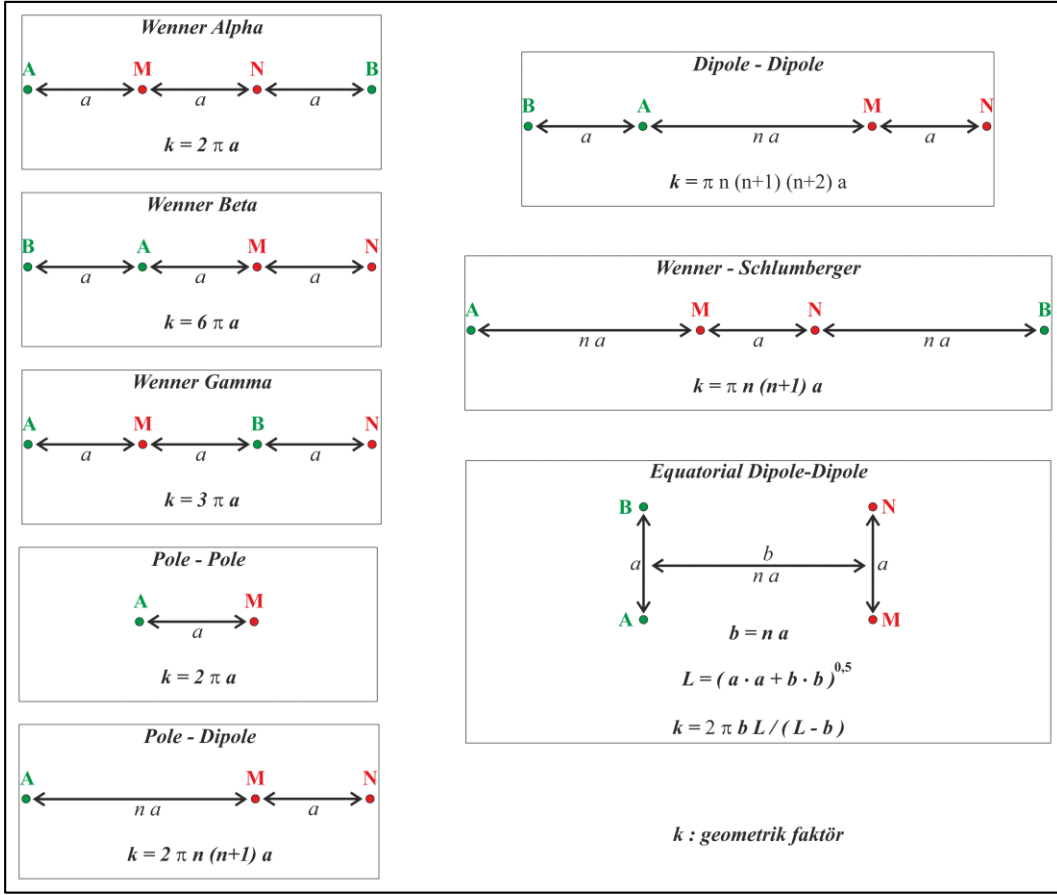
doğunluk derecesi ve çözünmüş tuz konsantrasyonu gibi etkenlere bağılı olmasıdır. Yeraltı suyunun özdirenç i ise içerisinde çözünmüş tuzların yoğunluğuna bağılı olarak 10 ile 100 Ωm arasında değışmektedir.

3.3.2. Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi

Elektrik özdirenç görüntüleme, çalışılan bölgedeki zemin tiplerini ayırt etmede kullanılan önemli bir jeofizik yöntemdir (Aktürk ve Doyuran 2012). Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi için de elektrik iletkenliğı temel parametredir ve yöntem, akım elektrot çifti ile potansiyel elektrot çifti arasındaki potansiyel farkı hesabına dayanmaktadır. Gerçekte yer homojen değıldir ve bu bağıntıdan hesaplanan özdirenç, görünür özdirenç (ρ_a) olarak adlandırılmaktadır. Görünür Özdirenç; jeolojik yapının şekline, özdirençine ve kullanılan elektrot dizilimine bağılıdır. Elde edilen veriler yani özdirenç ölçümleri kullanılan yöntemle ait geometrik faktör (k) ile çarpılarak görünür özdirenç (ρ_a , apparent resistivity) bulunmaktadır. Bulunan görünür özdirenç ile de profil boyunca özdirenç-derinlik kesitleri (pseudo-section) elde edilmektedir. Görünür özdirenç değıeri, gerçek yeraltı özdirenç değıerinin bulunması ve kalınlık ile derinlik değıerlerinin belirlenmesi amacıyla bir işleme maruz bırakılmıştır. Ters-Çözüm (Inversion) denilen bu işlem, bütün modern elektrik özdirenç görüntüleme yöntemleri için temel bir adımdır (Telford vd 1990). Ters-Çözüm, elektrik özdirençte yapı parametrelerinin saptanmasında önemli bir değıerlendirme yöntemidir. Bu yöntem, uzun yıllardan beri bir boyutlu (Düşey Elektrik Sondaj – DES) uygulamalarda etkili bir biçimde kullanılmaktadır (Inman vd 1973, Inman 1975).

Elektrik özdirenç yönteminin ekipman ve ölçüm mekanizması açıklayıcı olarak betimlenmiştir. Yöntemde esas olan bir başka husus da farklı elektrot konumlarına göre farklı dizilimler olmasıdır (Şekil 3.6). Bu dizilimler, akım elektrot çiftleri (A ve B) ile potansiyel elektrot çiftlerinin (M ve N) konumlarına bağılı olarak değışmektedir. Geleneksel elektrot dizilimleri, elektrotların bir bakışım (simetri) merkezine göre, çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleridir. Bu dizilimler amaca yönelik seçilmektedir. Örneğın Schlumberger ve Wenner dizilimi derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde ise Schlumberger dizilimi iyi sonuç vermektedir. Arkeolojik amaçlı çalışmalarda ise yarım-Wenner dizilimi, yarım-Schlumberger dizilimi, iki elektrot dizilimi, Gradyant dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimler birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve arkeolojik araştırmalarda geleneksel dizilimlerden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Elektrot açıklıkları (a) ile tespit edilebilecek derinlik doğıru orantılıdır.

A ve B akım, M ve N gerilim elektrotları olmak üzere elektrotların farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir. Bu tez çalışmasında Wenner-Alpha, Dipol-Dipol ve Wenner-Schlumberger dizilimleri seçilmiş ve arazide uygulanmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar hem diğeri yöntemler ile hem de birbirleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.6. Rezistivite ölçümleri için farklı elektrot dizilimleri

3.3.3. Wenner-Alpha dizilimi

Wenner dizilimi iki akım ve iki gerilim elektrotlarıyla, elektrotlar arası mesafenin eşit olduğu ve yapılan ölçümde verinin iki gerilim elektrotu arasına atıldığı dizilim türüdür. Normal Wenner dizilimi teknik olarak Wenner-Alpha dizilimidir. Dört elektrot dizilimi için elektrotların konumuna göre üç tipi bulunmaktadır (Wenner α , Wenner β ve Wenner γ).

Bu dizilimin, yeraltının düşey yöndeki değişimini incelemeye daha başarılı olmasının sebebi, arazide ölçülen veriyi gerilim elektrotlarının tam ortasına atmasıdır. Dizilimin dezavantajı, 2 boyutlu araştırmalarda elektrotlar arası mesafe arttıkça yanal yönde olan çözünürlüğün azalmasıdır.

Wenner α için geometrik faktör değeri; Şekil 3.6'da yer alan elektrot dizilimi ve Eşitlik 3.1'den yararlanılarak Eşitlik 3.8 ile verilmektedir.

$$k = 2\pi a \quad (3.8)$$

Şekil 3.6'dan da görüldüğü gibi Wenner α diziliminin geometrik faktörünün bilinen diğer Wenner dizilimlerinin geometrik faktöründen daha küçük olması nedeniyle daha güçlü sinyal elde edilmektedir.

3.3.4. Wenner-Schlumberger dizilimi

Wenner-Schlumberger diziliminde, gerilim elektrotları arası mesafenin ortasına göre simetri vardır. Bu dizilimde bir akım ile bir gerilim elektrotu arası mesafe (A-M), gerilim elektrotları arası mesafeden (M-N) büyüktür. Daha derinlerden ölçüm alınabilmesi ve her ölçüm için, akım elektrotları açıldığında gerilim elektrotları arası mesafenin sabit kalması Wenner-Schlumberger diziliminin bir üstünlüğüdür.

Wenner-Schlumberger için geometrik faktör değeri; Şekil 3.6'da yer alan elektrot dizilimi ve Eşitlik 3.1'den yararlanılarak Eşitlik 3.9 ile verilmektedir.

$$k = \pi n(n + 1)a \quad (3.9)$$

Denklemdaki n değeri, A-M arası mesafenin (Şekil 3.6'da na), M-N arası mesafeye (Şekil 3.6'da a) oranıdır. Wenner-Schlumberger dizilimine ait geometrik faktör denklemindeki n değeri 2 olduğu zaman, dizilim Schlumberger dizilimi olmaktadır. Wenner-Schlumberger elektrot diziliminde etki derinliği Wenner dizilimine göre %15 daha fazladır (Loke 2004).

3.3.5. Dipol-Dipol dizilimi

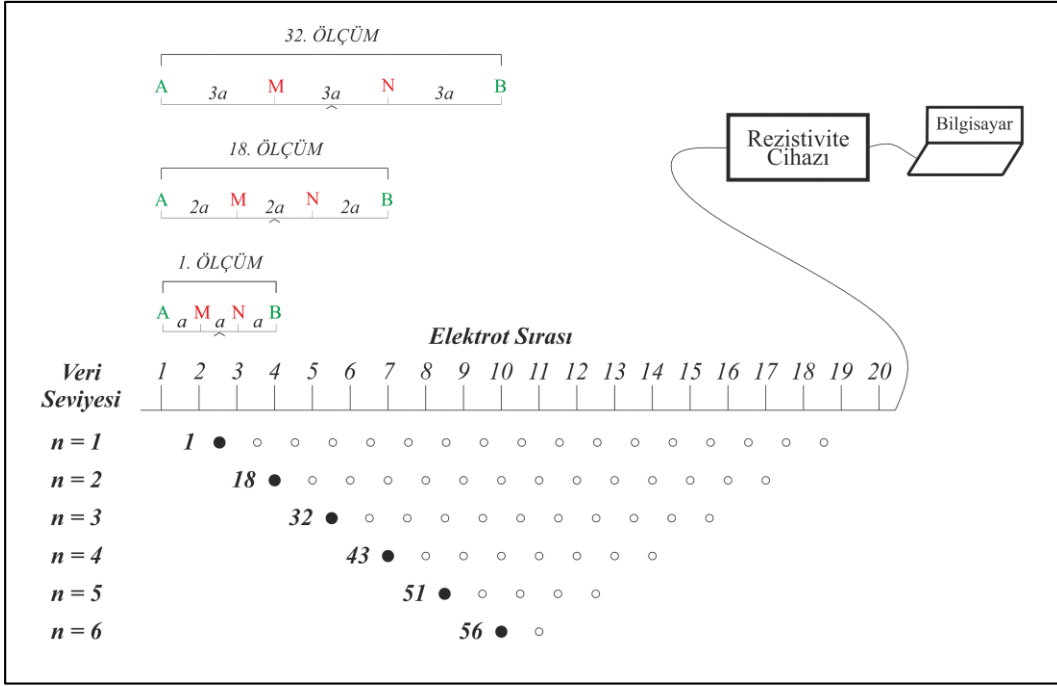
Dipol-Dipol elektrot dizilimi ile ölçülen görünür özdirenç değerleri, A-B akım ve M-N gerilim elektrot çiftlerinin orta noktasından 45'lik açı ile inilen doğruların kesim noktasına yerleştirilmektedir. Akım ve gerilim elektrotlarının birbirleri ile olan mesafesi sabit iken (A-B arası ve M-N arası); A-M arası mesafenin (Şekil 3.6'da na), iki akım ya da iki gerilim elektrotu arasındaki mesafeye (Şekil 3.6'da a) oranı, n değerini verir. Bu dizilimin dezavantajı, n değeri arttıkça güçlü sinyaller elde edilememesidir (Loke 2004).

Dipol-Dipol için geometrik faktör değeri; Şekil 3.6'da yer alan elektrot dizilimi ve Eşitlik 3.1'den yararlanılarak Eşitlik 3.10 ile verilmektedir.

$$k = \pi n(n + 1)(n + 2)a \quad (3.10)$$

3.3.6. Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi ile veri alınması

Bu çalışma kapsamında yapılacak özdirenç ölçümlerinin yorumunda 2-boyutlu modeller kullanılacaktır ve yeriçinin iyi bir 2-boyutlu resmini elde etmek için alınan ölçümün kapsadığı alan da aynı zamanda 2-boyutlu olmalıdır. Bir örnek olarak Şekil 3.7, 20 elektrotlu Wenner dizilimi ile alınmış ölçümlerin ardışımını göstermektedir.



Şekil 3.7. İki boyutlu bir öz direnç araştırması için elektrotların düzenlenmesi ve ölçümlerin ardışımı (Loke 2004)

Bu örnekte birbirini izleyen iki elektrot arasındaki uzaklık “a” kadardır. İlk ölçüm için 1, 2, 3 ve 4 numaralı elektrotlar kullanılır. 1 numaralı elektrot ilk akım elektrotu (A), 2 numaralı elektrot ilk potansiyel elektrotu (M), 3 numaralı elektrot ikinci potansiyel elektrotu (N) ve 4 numaralı elektrot ikinci akım elektrotu (B) olarak kullanılır. İkinci ölçüm için 2, 3, 4 ve 5 numaralı elektrotlar sırasıyla A, M, N ve B elektrotu olarak kullanılır. Bu ölçüm ardışımı, “a” aralığı için son ölçüm olan 17, 18, 19 ve 20 numaralı elektrotların kullanımına kadar tekrar edilir. 20 elektrotlu bir sistemde “a” aralıklı Wenner dizilimi için 17 (20-3) adet mümkün ölçüm vardır. “a” aralıklı ölçüm ardışımı tamamlandıktan sonra “2a” aralıklı ölçüm ardışımına geçilir. İlk ölçüm için 1, 3, 5 ve 7 numaralı elektrotlar kullanılır. Elektrot numaraları, birbirini izleyen elektrotların arasındaki uzaklık “2a” olacak şekilde seçilir. İkinci ölçüm için 2, 4, 6 ve 8 nolu elektrotlar kullanılır. Bu ölçüm ardışımı, “2a” aralığı için son ölçüm olan 14, 16, 18 ve 20 numaralı elektrotların kullanımına kadar tekrar edilir. 20 elektrotlu bir sistemde “2a” aralıklı Wenner dizilimi için 14 (20-2x3) adet mümkün ölçüm vardır. Aynı işlemler “3a”, “4a”, “5a” ve “6a” aralıklı ölçümler için tekrar edilir ve elektrot aralıkları arttıkça ölçüm sayısı azalır.

3.4. Arazi Çalışmaları

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler, başta Akdeniz Üniversitesi kampüs alanından seçilen noktalarda olmak üzere birçok bölgede uygulanmıştır. Çok elektrotlu elektrik öz direnç yönteminde serim uzunluğu ile analiz edilebilen derinlik doğru orantılı olarak artmaktadır (Normal koşullarda serim uzunluğu, ulaşılmak istenilen derinlikten 2-3 kat fazladır). Bu sebeple serimlerin uzun olabileceği araziler öncelikli olarak tercih edilmiştir. Ayrıca engebenin olmadığı ya da çok az olduğu yerler ölçümlerin

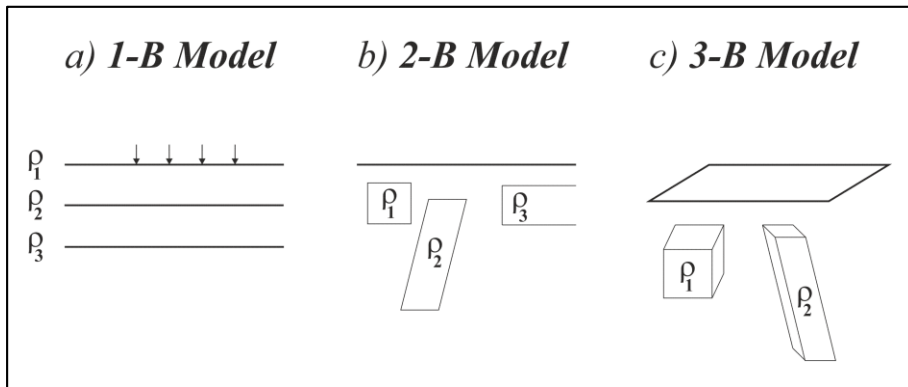
modellenmesi açısından daha verimli olacağından arazi çalışmalarında bu husus da dikkate alınmış, çalışılacak arazilerin topoğrafik şartları olarak incelenmiştir. Masa Dağı bölgesinde yapılan arazi çalışmaları, bölgenin engebeli olması ve dar alanda serimler yapılabilirdiği için şartları zorlaştırırsa da bölgenin açık topoğrafik kesite sahip olması, sonuçların hassasiyeti konusunda kolaylık sağlamıştır. Kampüs alanı ise örtülü bir yüzeye sahip olduğundan genellikle uzun serimli yapılmış, elektrot sıklığı Masa Dağı arazi çalışmalarına göre daha seyrek seçilmiştir. Masa Dağı bölgesinde 1 metrelik elektrot aralığı kullanılırken, bu değer kampüs çalışmalarında 4-5 metreye kadar arttırılmıştır.

3.5. Verilerin Modellenmesi

Ölçülmeye çalışılan sürecin bilinen bir modele benzeştirilmesi modelleme olarak adlandırılır. Bu model içerisinde, süreci denetleyen ve çözülmesi istenen niceliklerin (parametrelerin), sınıflandırılması, anlamlandırılması ve sayılarının saptanması “parametreleştirme” olarak adlandırılır. Bir jeofizik model, geometrisi ve fiziksel özelliği farklı birçok öğenin bileşiminden oluşur. Jeofizik biliminde çözülmesi gereken parametreler, bu öğeleri tanımlamak için gereken geometrik ve fiziksel değerlerdir. Geometrik parametreler yeraltının biçimlendirilmesi ile ilişkilidir. Farklı her jeolojik birimin yeraltındaki konum ve biçimini tanımlayan kalınlık, genişlik gibi uzaysal değişkenler geometrik parametreleri oluşturur. Fiziksel parametreler ise kullanılan jeofizik yöntemde ölçülen alana neden olan fiziksel özelliklerdir. Bu nedenle elektrik yöntemlerde fiziksel parametre olarak, her geometrik birimin öz direnci kullanılır (Başokur 2002).

3.5.1. Düz çözüm

Ölçülen görünür öz direnç değerleri log-log grafik kâğıtlarına işlenir ve işlenen bu veriyi yorumlamak için yerçinin yatay tabakalardan oluştuğu varsayılır. Bu durumda yerçinin öz direnci sadece derinlikle değişirken yanal yönde bir değişim göstermez ve ölçümleri yorumlamak için bir boyutlu modeller kullanılır (Şekil 3.8-a). Bir boyutlu modellerin en büyük kısıtlaması yanal yöndeki öz direnç değişimlerini hesaba katmıyor olmasıdır. 2-boyutlu modellerde (Şekil 3.8-b) öz direnç değerlerinin yanal yönde (x-yönü) değişimine izin verilir ancak diğer yanal yöndeki (y-yönü) değişimlerin sabit olduğu varsayılır. En gerçekçi model ise öz direnç değerlerinin her yönde değişimine izin verilen 3-boyutlu (Şekil 3.8-c) modellerdir.



Şekil 3.8. Öz direnç ölçümlerini yorumlamada kullanılan modeller

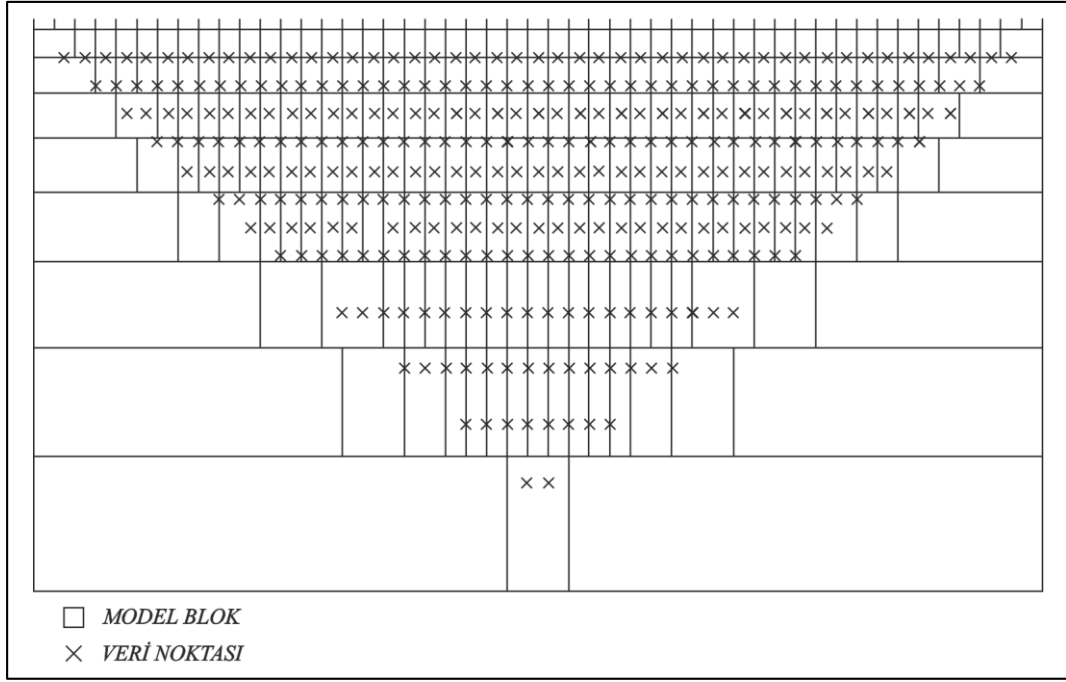
Doğru akım öz direnç verilerinin tabakalı bir ortam için 1B modellemesinde belirti analitik olarak hesaplanabilir. Ancak 2B ve 3B modellemede, modeller daha karmaşık olacağından analitik hesap zordur ve hesaplamalar sayısal olarak yapılır. İntegral denklemi sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi, doğru akım öz direnç verilerinin modellemesinde kullanılan başlıca hesaplama yöntemleridir.

3.5.2. Ters çözüm (İnversiyon)

İki ve üç boyutlu yapıların bu yöntem yardımıyla araştırılması konusunda yaygın kuramsal çalışmaların 1990'lı yıllarda başlamasına karşın, uygulamadaki yaygınlığı son yıllarda artmıştır. Özellikle sığ jeofizik tekniklerin kullanımındaki hızlı artış, yöntemin geniş bir uygulama alanı bulmasını sağlamıştır. Yöntem, günümüzde sığ jeofizik uygulamalardaki birçok sorununun çözümünde etkili ve başarılı bir biçimde kullanılmaktadır. İki ve üç boyutlu elektrik öz direnç verileri ile yeraltına ait yaklaşık bir öz direnç görüntüsü elde edilmektedir. Eğer, aranan yapılar yüzeye çok yakınsa, bu görüntülerden yapıyı belirlemek olası olabiliyorken; yapıların derinde olması durumunda, bunların belirlenebilirliği önemli ölçüde azalmaktadır. Oysa bu verilerin ters çözüme sokulmasıyla, öz direnç dağılımı daha gerçekçi bir biçimde elde edilebilmektedir (Drahor vd 2005). Son yıllarda, 2-B öz direnç görüntüleme yöntemleri, geleneksel öz direnç sondaj veya profil araştırmalarının yetersiz kaldığı karmaşık yeraltı jeolojisine sahip bölgeleri haritalamak için kullanılmaktadır. Görünür öz direnç verisinin 2-B ters çözümü için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşımda, basit geometrik şekilli yapılar kullanılarak veri modellenir. Bu yöntem, yeraltı öz direnç dağılımının ilk tahminini yapmada faydalıdır. Fakat bunların başarıyla uygulanabildiği jeolojik yapıların sayısı sınırlıdır. İkinci yaklaşımda ise, bir başlangıç modeli geliştirmek için yeraltı çok sayıda dörtgen bloka bölünür ve doğrusal olmayan bir ters çözüm yöntemi kullanılır (Smith ve Vozoff 1984, Tripp vd 1984, Sasaki 1992, Loke ve Barker 1995, Olayinka ve Yaramancı 2000). Uygun bir sönüm katsayısı ve yuvarlatma süzgeci (deGroot-Hedlin ve Constable 1990, Sasaki 1992) kullanılarak, en-küçük kareler yöntemi kararlı olur ve hızlı yakınsar (Loke ve Barker 1995) (Şekil 3.9).

Ters çözümün birinci adımı bir modelin kurulmasıdır. Model parametreleri için bir ön-kestirim, yorumcu tarafından yapılır ve ön-kestirime karşılık gelen kuramsal veri hesaplanarak, ölçülen veri ile karşılaştırılmaktadır. Daha sonra ölçülen ve kuramsal verinin çakışma derecesini arttırmak için parametreler yenilenmektedir. Bu işleme, iki veri kümesi arasında yeterli bir çakışma elde edilinceye kadar devam edilir. Çözüme "deneme-yanılma" (trial-and-error) adı verilen yorumcunun bilgisayar ekranında görsel yol ile birçok modeli denemesi ve ölçülen veri ile kuramsal verinin çakıştığına kişisel olarak karar vermesi ile ulaşılmaktadır. Günümüzde ters-çözüm uygulamalarında, parametrelerin değiştirilmesi ve çakışmanın oluştuğuna karar verilmesi işlemleri bilgisayar algoritmaları tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında ters çözüm (inversion) işlemleri RES2DINV programı ile gerçekleştirilmiştir.

Yeraltını en iyi yansıtan jeolojik modelin seçilmesine yeterli duyarlılığı göstermek gerekmektedir. Eğer, 1B model kullanılırsa hesaplamalar daha kolay yapılmaktadır. Ancak 1B ters çözüm sadece yeraltı katmanlarının yatay olması durumunda kullanılabilir sonuçlar üretmektedir. Yeraltının yatay katmanlardan oluşmadığı durumlarda 2B ters çözüm yönteminin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.9. İki boyutlu ölçümlerde elde edilen verilerin en küçük kare yöntemi ile modellenmesi (RES2DINV 2004)

4. BULGULAR

Bu çalışmada başta Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı olmak üzere zeminlerin yakın yüzey profillerinin iki boyutlu elektrik özdirenç deneyleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle Akdeniz Üniversitesi kampüs alanında çalışmalar gerçekleştirilmiş ve daha sonra Antalya’da karstik etkinliğin açık olarak gözlenebildiği yerler çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu amaçlara yönelik olarak Kampüs Alanı ve Masa Dağı olmak üzere 2 farklı bölgede toplamda 7 farklı alanda çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Kampüs alanı geneli itibariyle örtülü yüzeye sahip olduğundan(Şekil 4.1-a) kampüs çalışmalarındaki çok elektrotlu elektrik özdirenç ölçümleri, düşey elektrik sondajı ve sismik yöntemler ile kıyaslanarak desteklenmiştir. Masa Dağı bölgesindeki çok elektrotlu elektrik özdirenç ölçümleri ise alanın açık topoğrafyaya sahip olması avantajı ile (Şekil 4.1-b)sadece düşey elektrik sondajı çalışmaları ile desteklenmiştir.

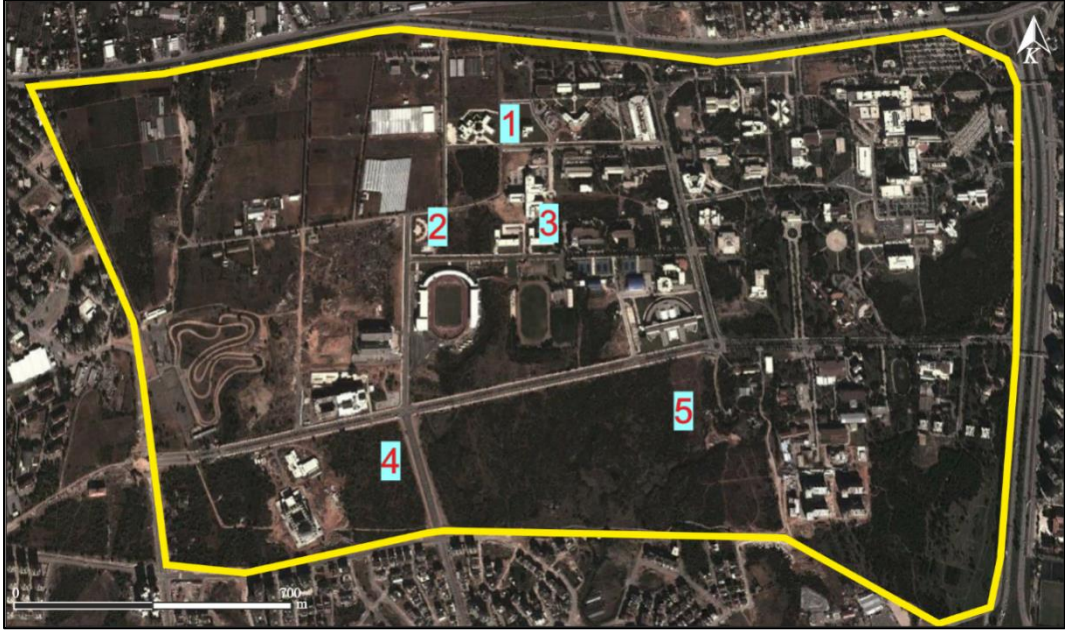


Şekil 4.1. Çalışma alanlarından birer görünüm (a) Kampüs ve (b) Masa Dağı

4.1. Kampüs Bölgesi Çalışmaları

Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanı, yoğun yerleşimin olduğu bir bölge olup, geneli itibariyle örtülü bir yüzeye sahiptir. Bu sebeple birçok noktada jeolojik gözlemlerden yararlanma olanağı bulunulamamıştır. Kampüs alanı içerisinde gerçekleştirilen elektrik özdirenç çalışmalarında, özdirenç kesitleri ile topoğrafik anlamda çakıştırma gerçekleştirilemediğinden, gerek düşey elektrik sondajı gerekse sismik ölçümler gibi diğer jeofizik analizler ile karşılaştırma yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır.

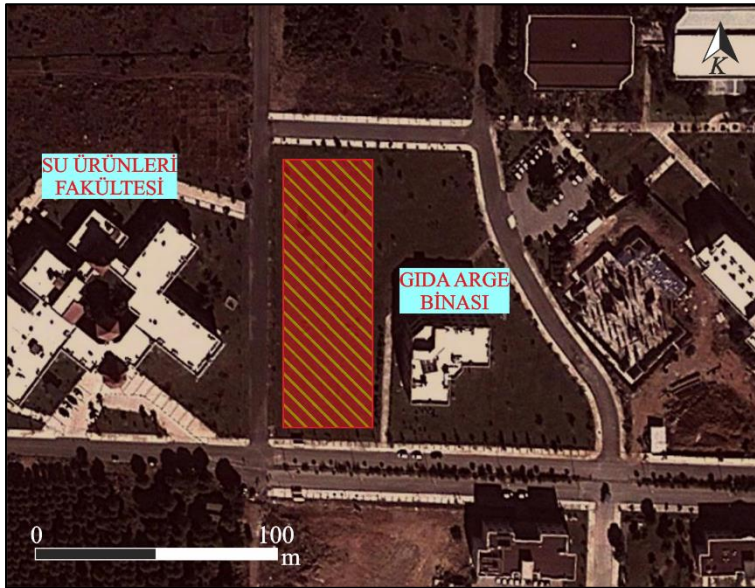
Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanında 5 farklı bölgede toplamda 13 çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışması uygulanmış (Şekil 4.2), bir bölgede sismik çalışmalar yapılmış ayrıca 5 farklı hatta düşey elektrik sondajı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Kampüs alanındaki çalışma noktalarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

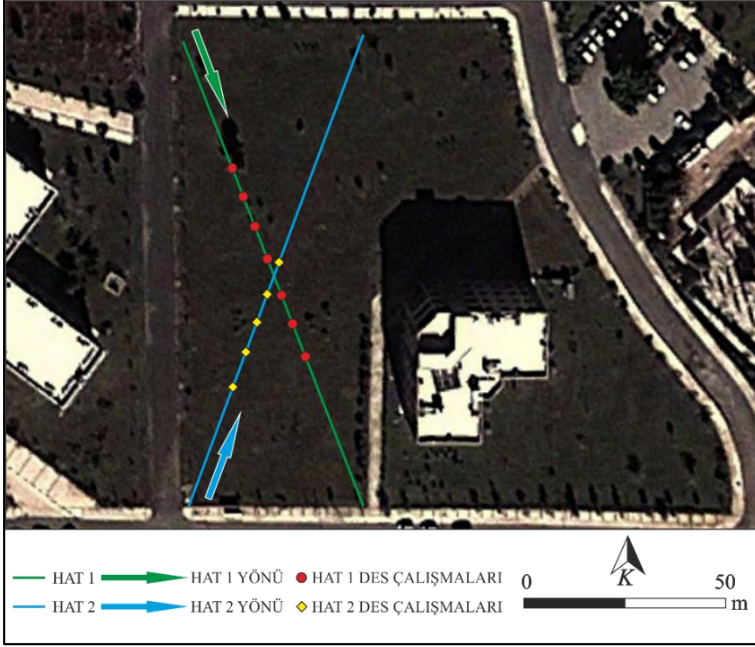
4.1.1. 1 numaralı çalışma bölgesi (Gıda ARGE binası)

Su Ürünleri Fakültesi ile Gıda ARGE Binası arasında yer alan 1 numaralı çalışma bölgesi (Şekil 4.3), kampüs alanı için en yoğun çalışılan bölge olmuştur. Bölge örtülü bir yüzeye sahip olduğundan, çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışmaları tek başına yeterli olamamıştır. Bu sebeple bu çalışmalara ek olarak sismik yöntemlerden ve düşey elektrik sondajı (DES) verilerinden yararlanılmıştır.



Şekil 4.3. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

Bölgedeki çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları, Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger yöntemleri kullanılarak öncelikle çakıştırılmalı iki hat üzerinde yapılmıştır. Çalışmalar, 4'er metrelik elektrot aralıkları ile 32 elektrot kullanılarak, toplamda 124 metrelik serim yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ilk sonuçlara göre düşey elektrik sondajı çalışması yapılacak kısımlar tespit edilmiş ve DES çalışmaları iki hat üzerinde gerçekleştirilmiştir. HAT 1 çalışmaları KB'den GD'ye doğru, HAT 2 çalışmaları ise HAT 1'i kesecek şekilde GB'den KD'ye doğru seçilmiştir (Şekil 4.4).

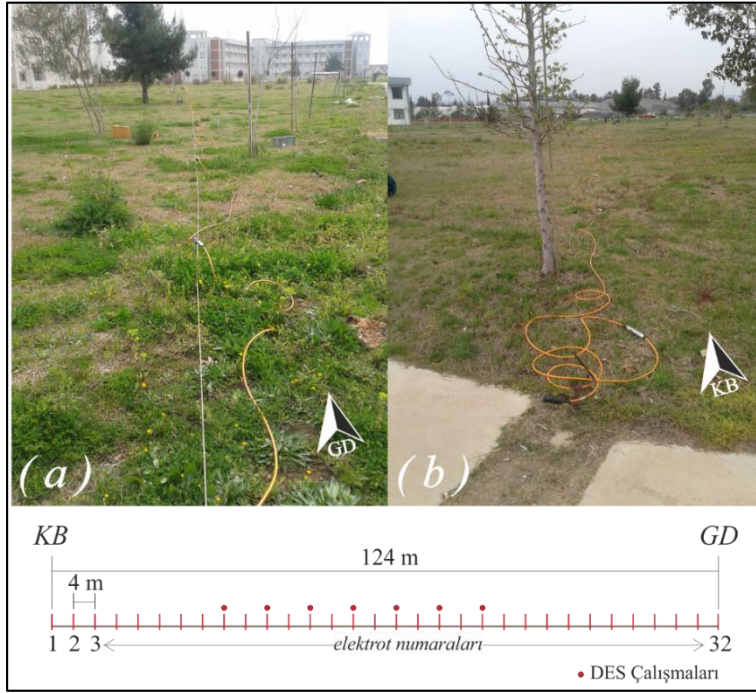


Şekil 4.4. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları

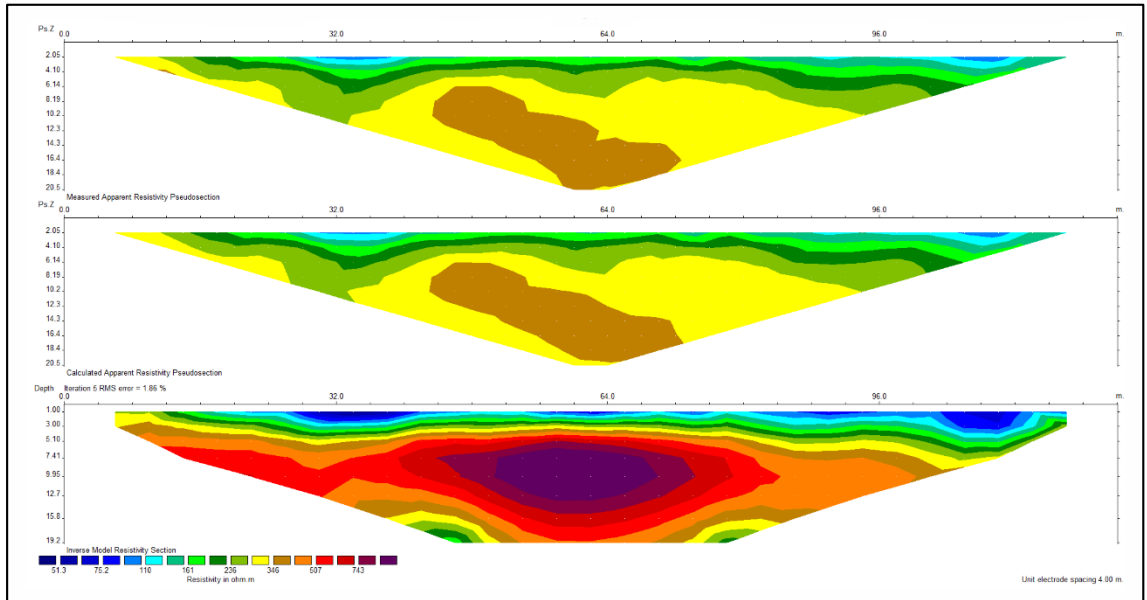
Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen elektrik özdirenç çalışmalarının yapıldığı HAT 1'e ait arazi görünümü Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

HAT 1'de yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı (Bkz. Şekil 3.7) işlemi ile 155 veri noktasında ve 10 seviyede (n=10) gerçekleştirilmiş ve 20,5 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü ölçülen (measured), hesaplanan (calculated) ve çözümlenen (inverse model) olarak Şekil 4.6'da sunulmuştur.

HAT 1'de yapılan Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 170 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 19,2 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme (iterasyon) sonucunda elde edilmiştir. Yineleme işlemi, karekök ortalama hatası (root-mean-square error) olarak bilinen, gözlenen değer ile tahmin edilen değer arasındaki fark olan RMS değerinin, mümkün olan en düşük seviyede tutulması amacıyla yapılmaktadır. İlk yinelemede %9,8 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %1,86'ya düşürülmüştür. Bu işlem sonunda, çözümlenerek bir başka deyişle modellenerek sunulan özdirenç kesiti, gerçeğe en uygun şekline dönüştürülmüştür.

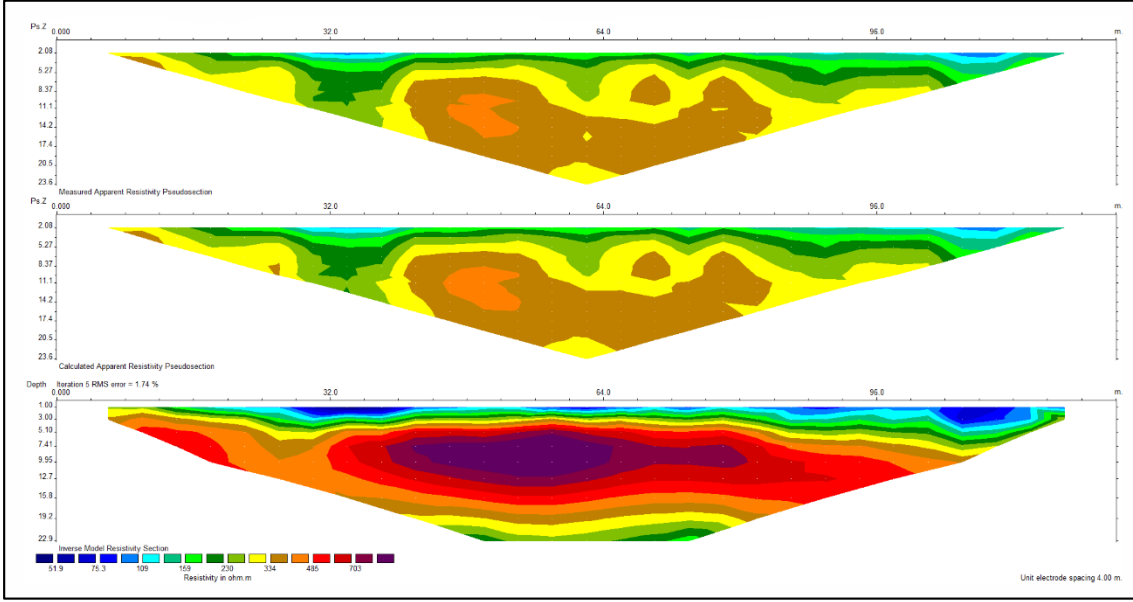


Şekil 4.5. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1 (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu öz direnç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları



Şekil 4.6. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü ise 225 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 23,6 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.7’de sunulmuştur.



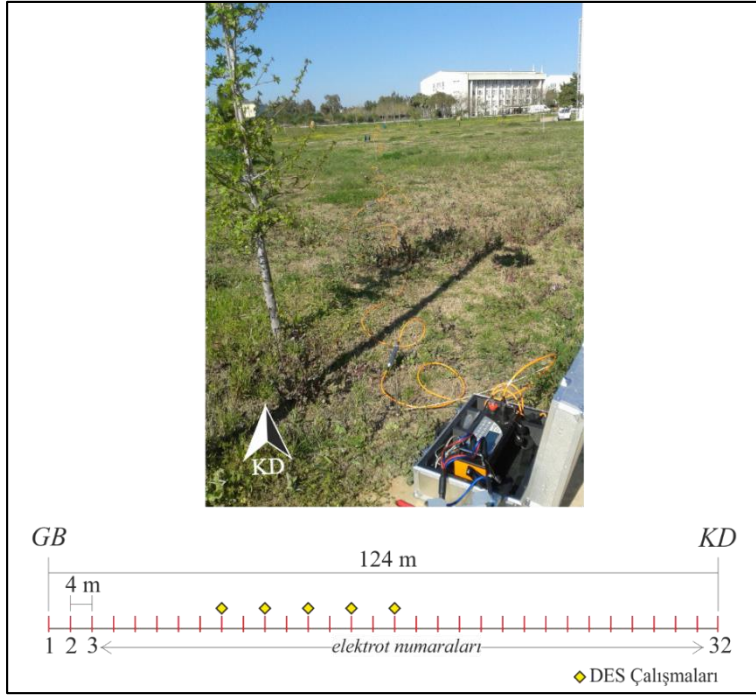
Şekil 4.7. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 22,9 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %9,90 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %1,74’e düşürülmüştür.

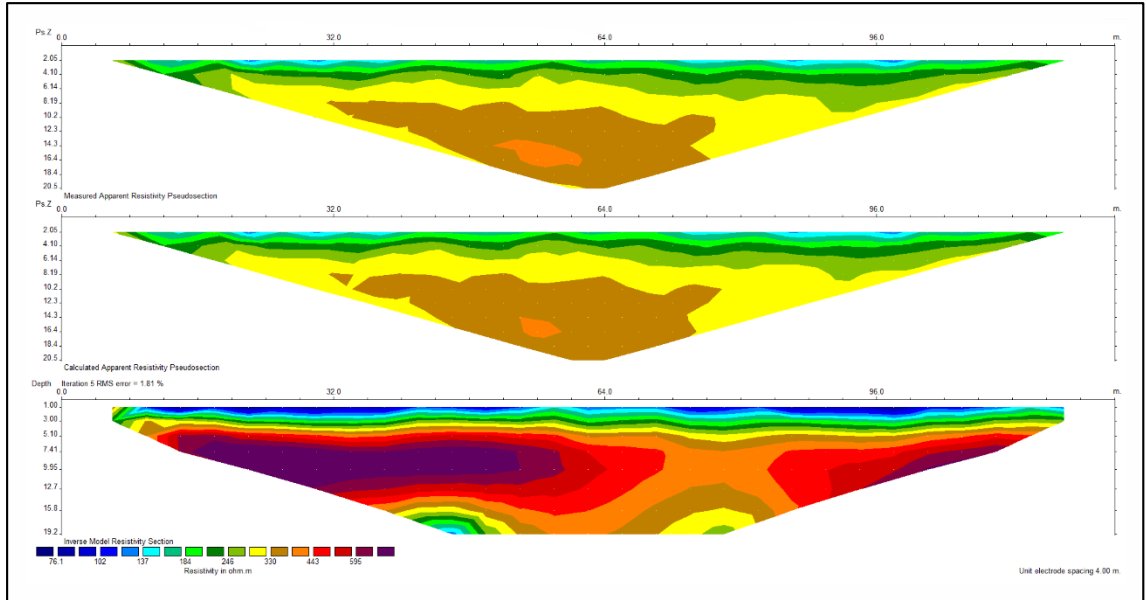
Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen elektrik öz direnç çalışmalarının yapıldığı HAT 2’ye ait arazi görünümü Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı (Bkz. Şekil 3.7) işlemi ile 155 veri noktasında ve 10 seviyede (n=10) gerçekleştirilmiş ve 20,5 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.9’da sunulmuştur.

HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 170 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 19,2 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %8,60 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %1,81’edüşürülmüştür.

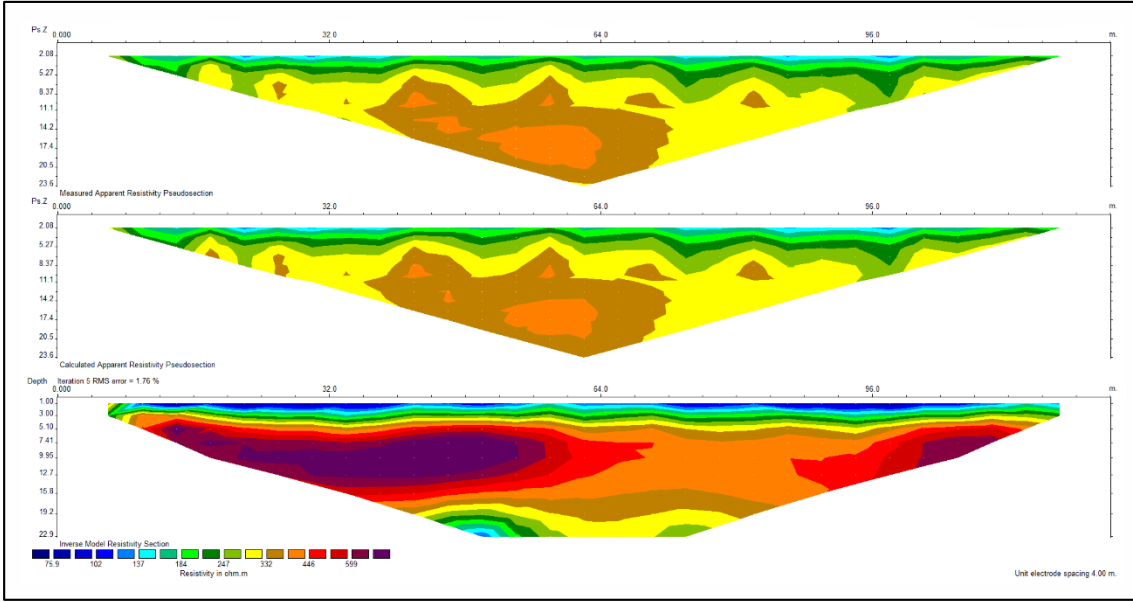


Şekil 4.8. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2 başlangıç noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu öz direnç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları



Şekil 4.9. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

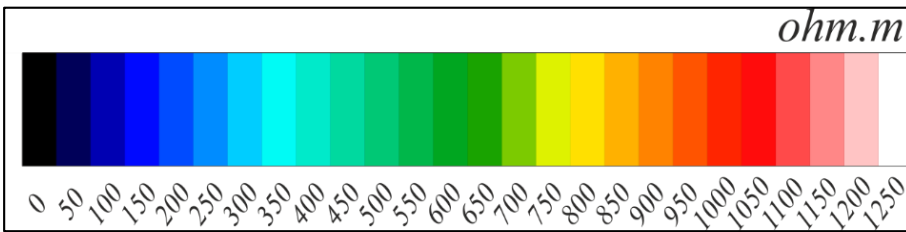
HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü ise 225 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 23,6 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.10’da sunulmuştur.



Şekil 4.10. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

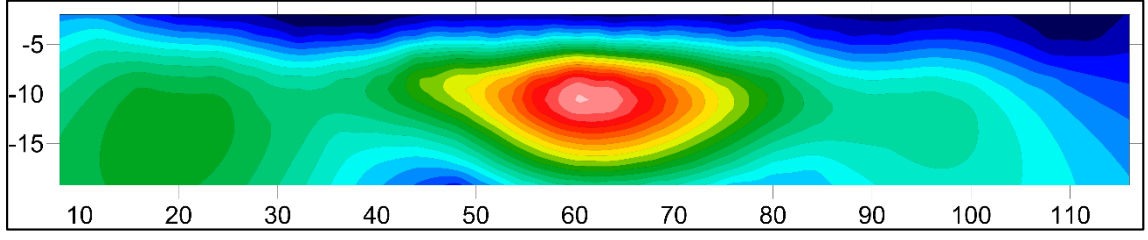
HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 22,9 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %8,30 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %1,76’ya düşürülmüştür.

RES2DINV programı ile yapılan çözümlene işlemlerindeki lejant farklılığı, değişik ölçümlerin karşılaştırılmasında uyumsuzluk oluşturmaktadır. Bu sebeple RES2DINV ile oluşturulan “.inv” dosyaları SURFER programına aktarılmış, bu sayede farklı ölçümlere ait elektrik öz direnç değerleri aynı lejant (Şekil 4.11) ile sunulabilmiştir.

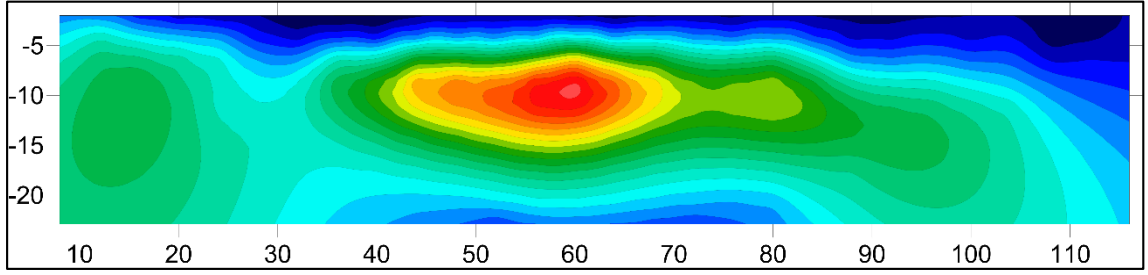


Şekil 4.11. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan tüm ölçümler için SURFER ile oluşturulmuş lejant

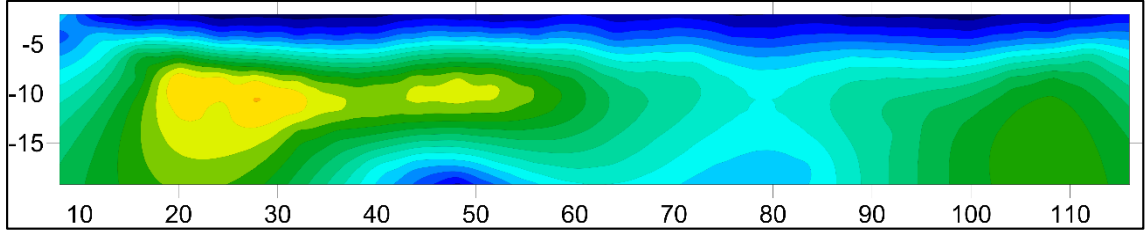
HAT 1 ve HAT 2’de gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları RES2DINV ve SURFER programları ile ayrı ayrı çizilmiştir. Şekil 4.12’de HAT 1 Wenner-Alpha ölçümü (RES2DINV ölçümü için Bkz.Şekil 4.6), Şekil 4.13’te HAT 1 Wenner-Schlumberger ölçümü (RES2DINV ölçümü için Bkz. Şekil 4.7), Şekil 4.14’te HAT 2 Wenner-Alpha ölçümü (RES2DINV ölçümü için Bkz. Şekil 4.9), Şekil 4.15’te HAT 2 Wenner-Schlumberger ölçümü (RES2DINV ölçümü için Bkz. Şekil 4.10) sonuçlarının SURFER ile oluşturulan ve Şekil 4.11’de yer alan lejanta uygun olan kesitler verilmiştir.



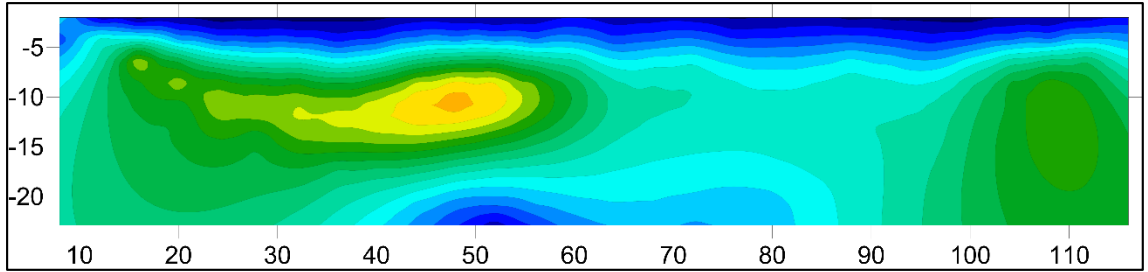
Şekil 4.12. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları için SURFER kesiti



Şekil 4.13. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları için SURFER kesiti

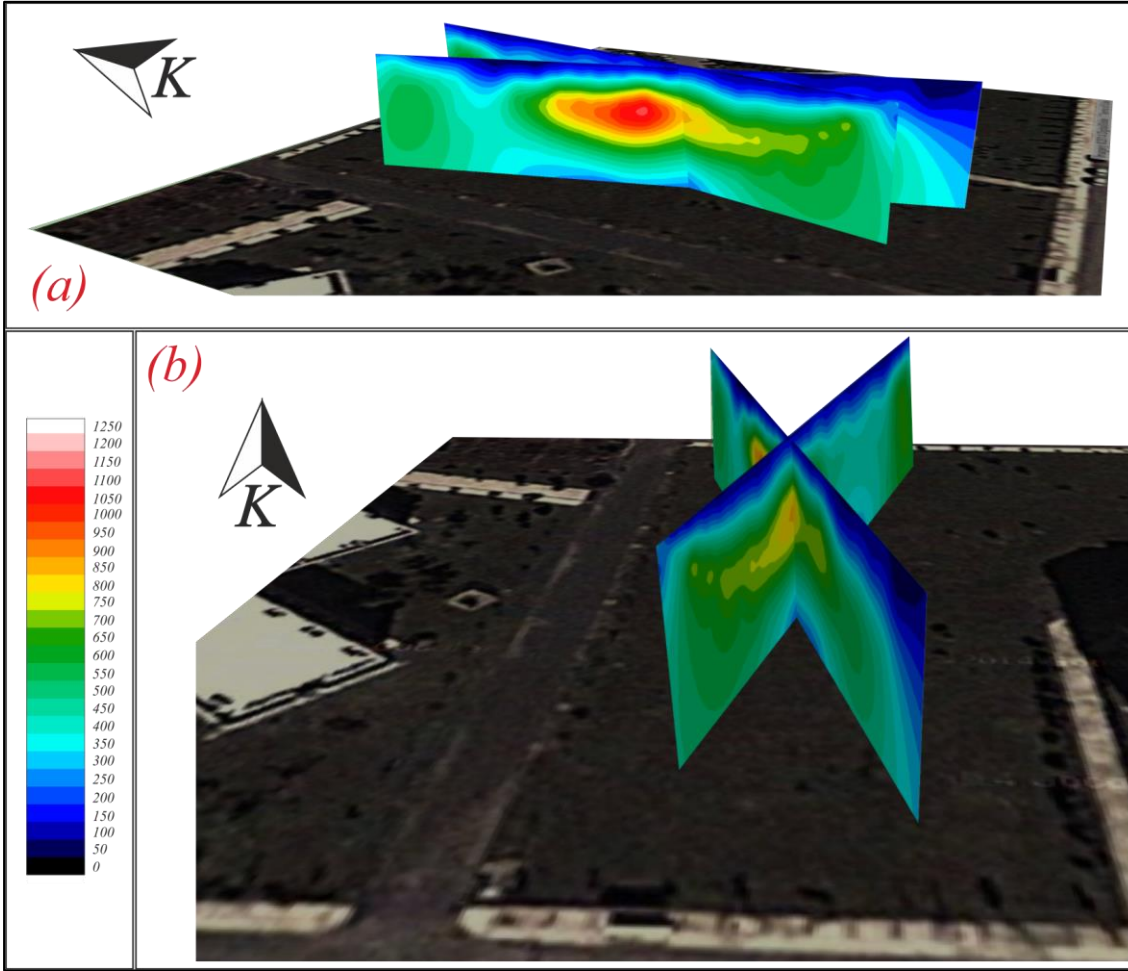


Şekil 4.14. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları için SURFER kesiti



Şekil 4.15. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları için SURFER kesiti

Elektrik özdirenç değerlerine ait lejantın SURFER programı ile yeniden oluşturulması ile aynı lejanta sahip olan özdirenç değerleri SKETCH-UP programı ile çakıştırılarak, iki hat üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen elektrik özdirenç değerlerinin nasıl bir uyum gösterdiği irdelenmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi HAT 1 ve HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SKETCHUP programı ile çakıştırılması (a) Batıdan Doğuya uzun eksen görünümü (b) Güneyden Kuzeye kısa eksen görünümü

Şekil 4.16, 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümlerinin çakıştırılması sonucu oluşturulmuştur. Şekil 4.16-a’da batıdan bir görünüme, Şekil 4.16-b’de ise güneyden bir görünüme yer verilmiştir. 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan bütün ölçümlere bakıldığında HAT 1’in orta noktasında en yüksek elektrik özdirenç değerine ulaşılmakta olup, HAT 2’de ise başlangıç noktasından çakışma noktasına kadar olan kısımda en yüksek elektrik özdirenç değerine ulaşılmaktadır.

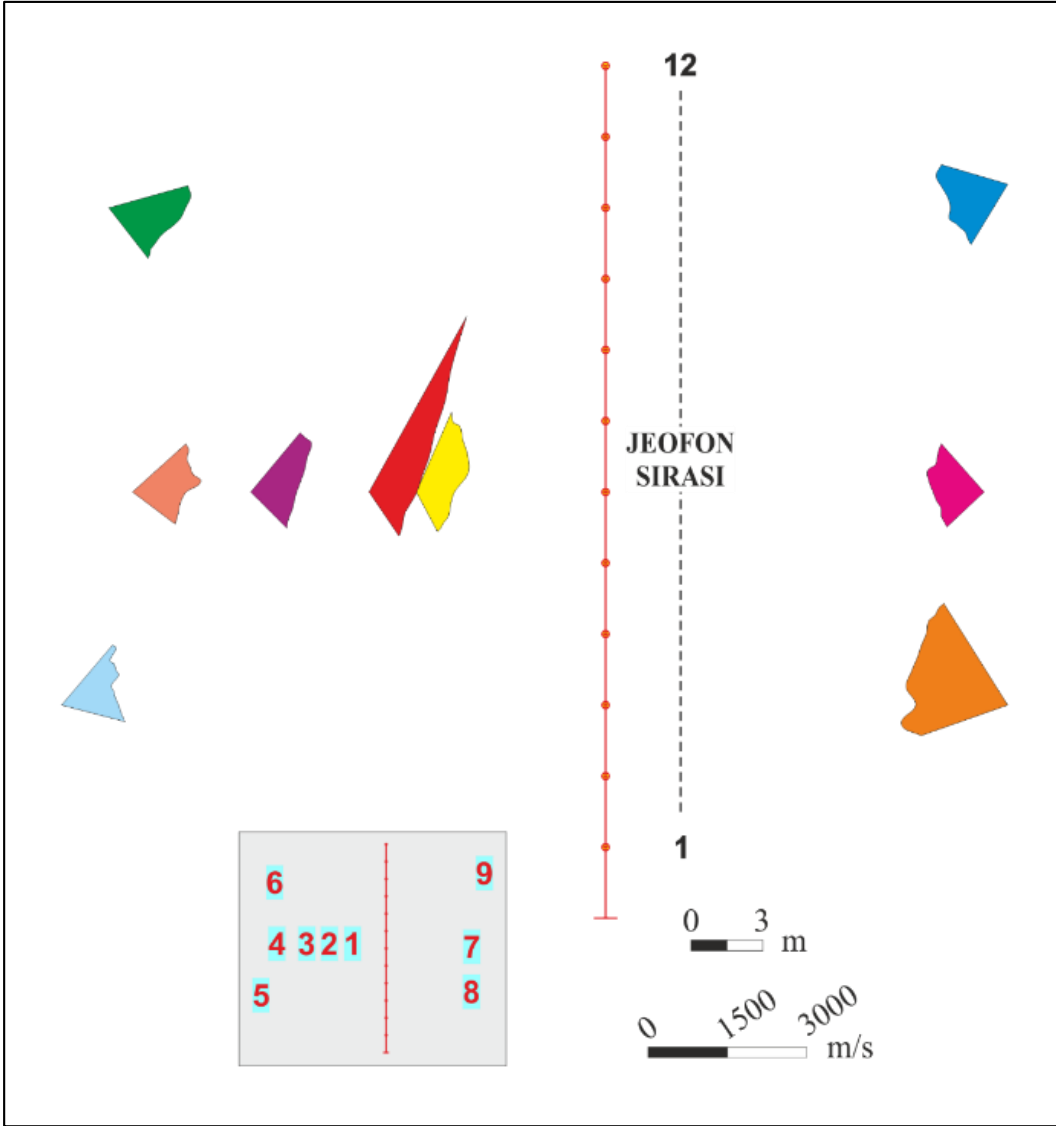
Çok elektrotlu elektrik özdirenç ile DES sonuçları sonrasında ulaşılan bu sonuca göre çalışma özele indirilmiş ve çalışma alanı, bölgenin Güney bölümünü kapsayacak şekilde daraltılmıştır. Daraltılmış alanda sismik çalışmalardan Broad-Side gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.17). Broad-Side çalışmalarına ait sonuçlar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da sunulmuştur.



Şekil 4.17. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde elektrik özdirenç sonuçlarına göre daraltılmış alanda gerçekleştirilen Broad-Side analizi için atış noktaları



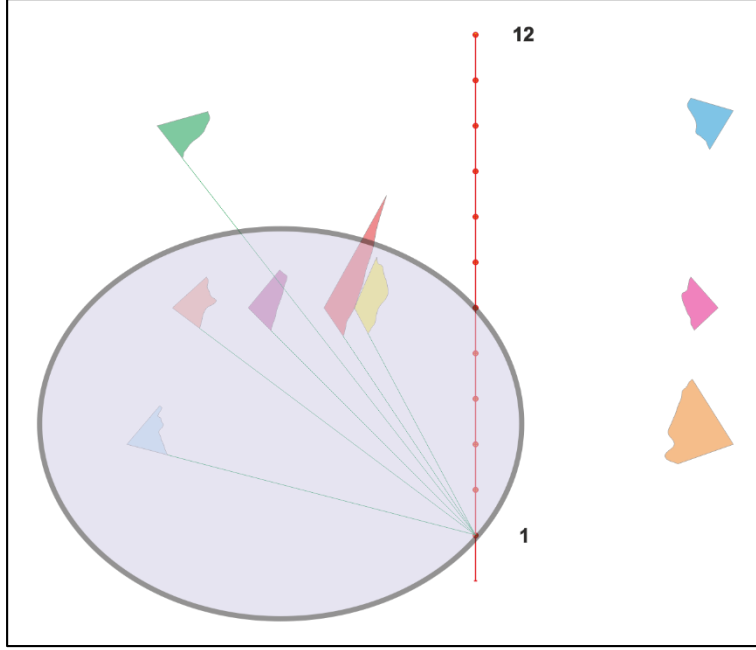
Şekil 4.18. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Broad-Side analizinden elde edilen sismik hızların ve sismik dalgaların harita üzerinde gösterilmesi



Şekil 4.19. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Broad-Side analizi sonuçlarının gösterilmesi

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'dan da gözleneceği üzere, çalışma alanının Güneybatı bölümündeki ölçümlerde sismik hızlarda düşme gerçekleşmektedir. 4, 5 ve 6 numaralı atış noktalarından elde edilen sismik eğrilerde, ilk jeofona doğru iletilen sismik hızlar, diğer sismik hızlara göre içeriye yönelim yapmış, bir başka ifade ile azalmıştır. 2 numaralı atış noktasından daha net görüleceği üzere 2 numaralı atış noktasının Güney kısmı düşük, Kuzey kısmı ise yüksek sismik hız eğrisi çizmektedir. 7 ve 9 numaralı atış noktalarında belirgin farklar görülmemekle birlikte (iletilen hatta herhangi bir sismik değişimin olmadığı göz önüne alınarak), 8 numaralı atış noktasında ise yüksek sismik hız gözlenmektedir. Elektrik özdirenç ölçümleri ile çalışma alanının GD kesimini kapsayan alanda yüksek özdirenç tespit edilmiş, bu bölgede yapılan sismik ölçümde düşük sismik hız tespit edilmiştir. Bu sonuçlar birbirini doğrulayacak niteliktedir.

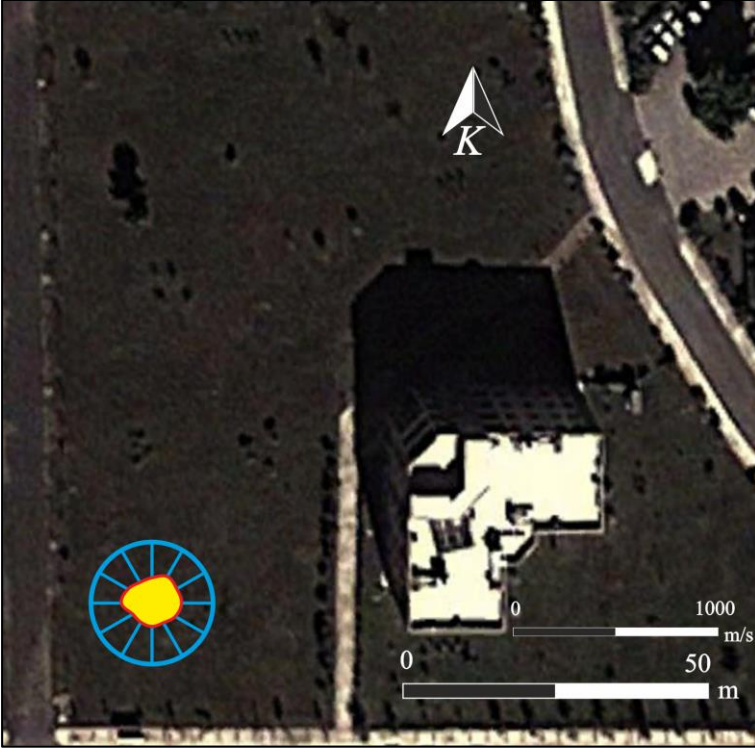
Bölgede gerçekleştirilen Broad-Side sismik atışları neticesinde, sismik hızların azaldığı bölgeler boşluk olabilen bölgeler olarak dikkate alınmıştır. Şekil 4.20’de elips şeklinde gösterilen alan, yeraltı boşluğu ihtimali olan alan olarak göze çarpmaktadır.



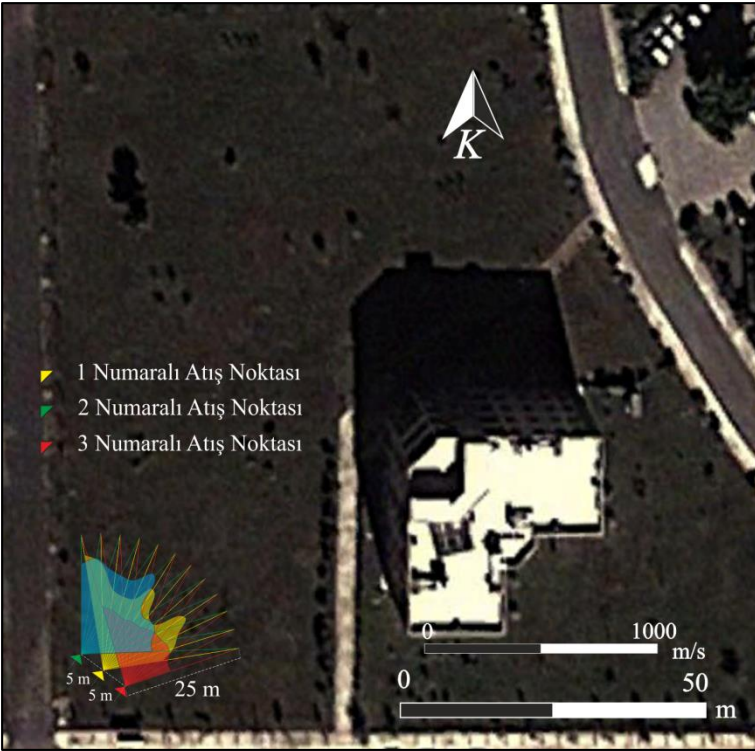
Şekil 4.20. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Broad-Side analizi sonuçlarına göre elde edilen tahmini boşluklu bölge

Şekil 4.20’de gösterilen alanı daha iyi inceleyebilmek için çalışma alanı biraz daha daraltılmış ve yeni çalışma alanında sismik yöntemlerde çevresel atış (Şekil 4.21) ve yelpaze atış (Şekil 4.22) gerçekleştirilmiştir. Çevresel sismik ölçümünde, merkez noktasından bir atış gerçekleştirilmiş ve bu noktanın etrafına eşit aralıklarla yerleştirilmiş olan jeofonlara bu atış etkisinin gitme süreleri incelenmiştir. Yelpaze sismik ölçümünde ise çeyrek çember oluşturacak şekilde yerleştirilen jeofonlara 3 farklı noktadan atış gerçekleştirilmiş ve bu atışın etkisinin jeofonlara iletilme süreleri dikkate alınmıştır.

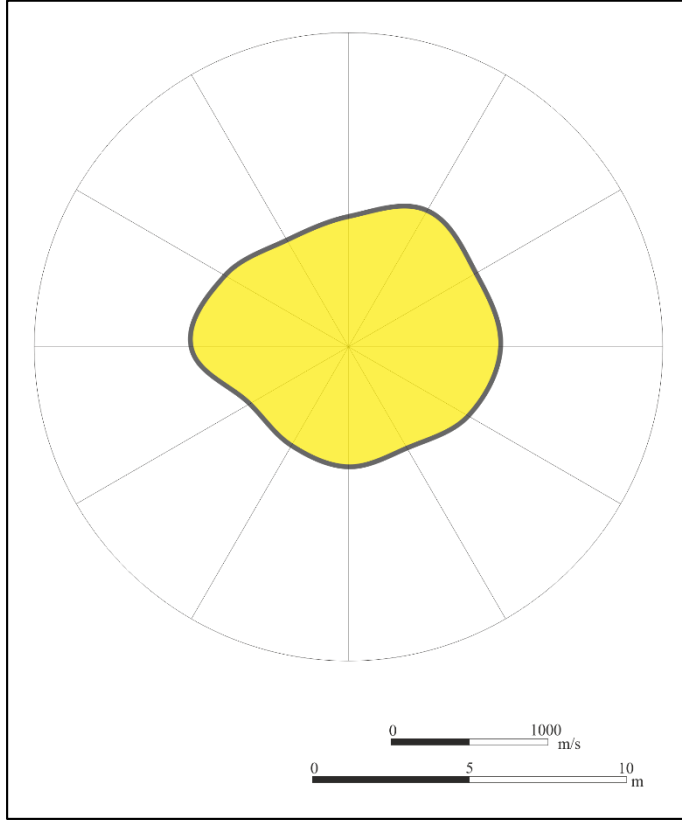
Ölçümleri daha iyi anlayabilmek için sonuçlar arazi görünümünden bağımsız olarak sunulmuştur. Şekil 4.23’te görülen büyütülmüş çevresel atış görüntüsünde geneli itibariyle eşit sismik hızlara rastlanmıştır, sadece sol alt kesimde hafif bir sismik hız düşüşü gözlenmiştir. Şekil 4.24’te yer alan yelpaze sismik atışlarında ise sol yönlü bir sismik azalım gözlenmektedir. Sismik hızdaki bu düşüş 3 numaralı atış noktasından gerçekleştirilen ölçümde çok belirginken, 1 ve 2 numaralı atış noktalarından gerçekleştirilen ölçümlerde sonuçlar biraz daha dalgalı olup, yine sol kesimdeki sismik hızlarda bir düşüş olduğu gözlenmektedir.



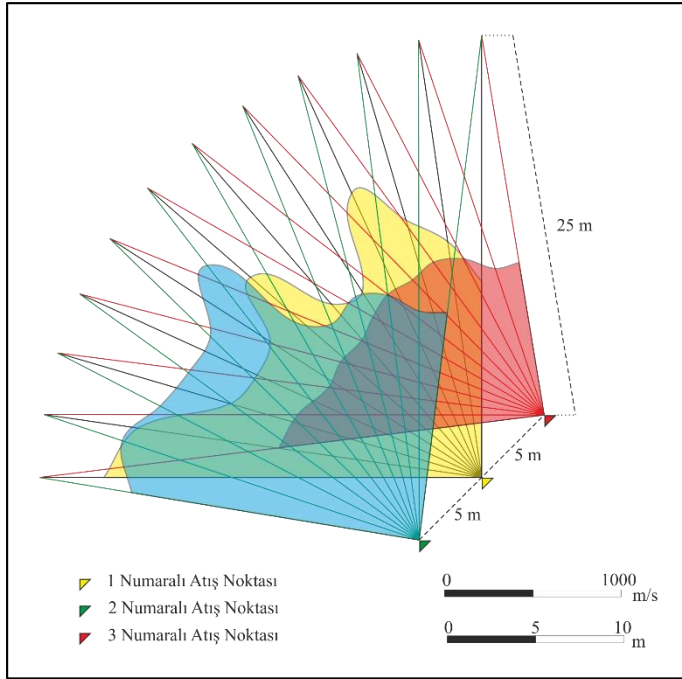
Şekil 4.21. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik çevresel atış sonrası arazi görünümü



Şekil 4.22. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik yelpaze atış sonrası arazi görünümü

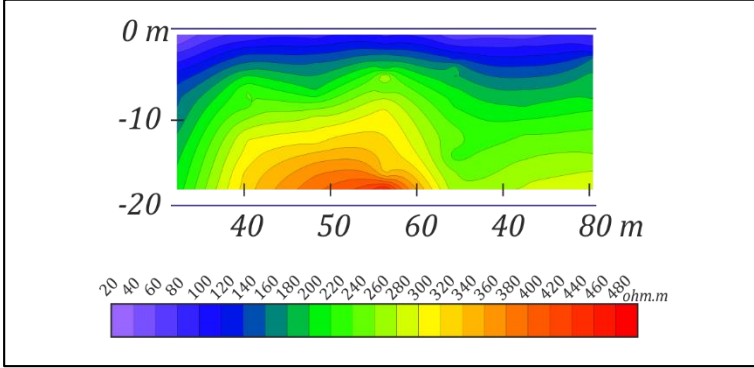


Şekil 4.23. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik çevresel atış



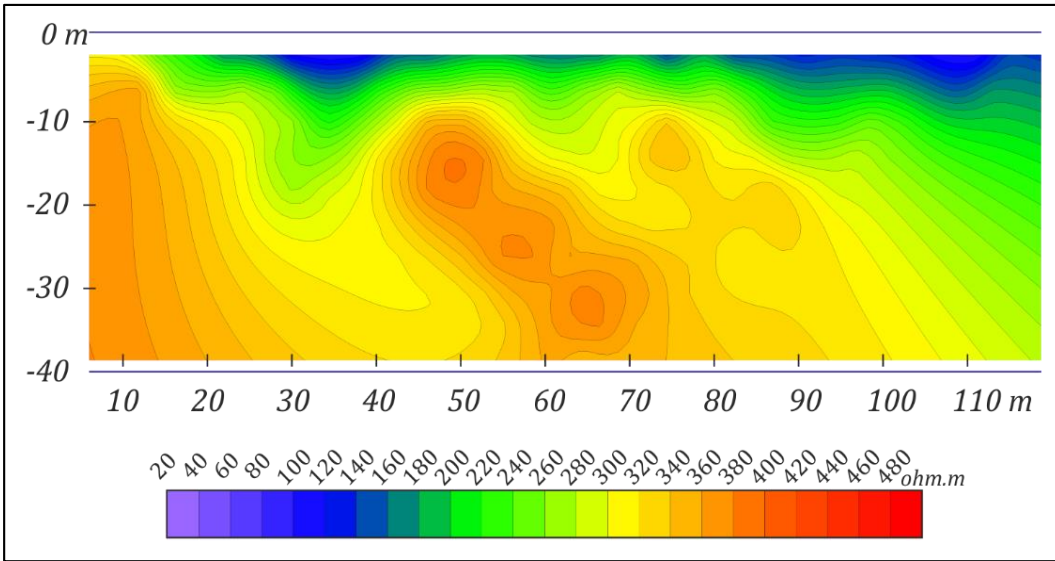
Şekil 4.24. Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi sismik yelpaze atış

Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesindeki çok elektrotlu ölçümler aynı zamanda iki hat üzerinde de yapılan düşey elektrik sondajı verileri ile karşılaştırılmıştır. HAT 1 üzerinde 32, 40, 48, 56, 64, 72 ve 80 metre noktalarında olmak üzere 7 noktada DES ölçümü yapılmış (Bkz.Şekil 4.5) ve sonuçlar bir profil olarak sunulmuştur (Şekil 4.25).

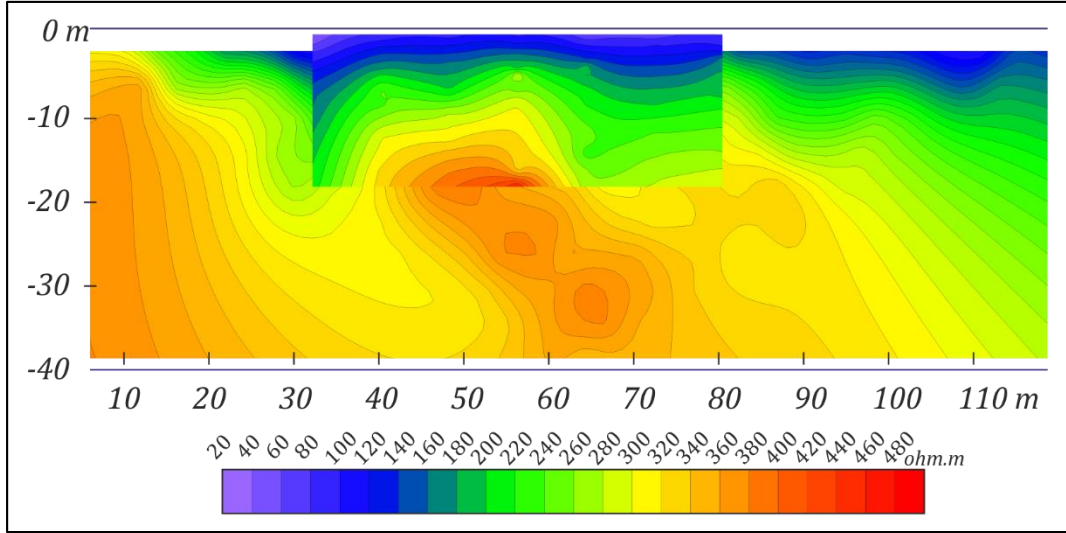


Şekil 4.25. HAT 1'de gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

HAT 1'de elde edilen DES profilinin çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışması sonuçları ile sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için HAT 1'de gerçekleştirilen tüm ölçümler SURFER programına aktarılmıştır. Bu ölçümlerdeki modelleme yöntemleri tutarlı olmadığından sadece ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Öncelikle HAT 1'deki Wenner-Alpha ölçümüne ait RES2DINV sonuçları SURFER programına aktarılmış ve bir profil elde edilmiştir (Şekil 4.26). Daha sonra ise Şekil 4.25'teki DES profili bu profile eklenerek, aynı noktalarda farklı yöntemler ile alınan sonuçlar tek bir profile gözlenmiştir (Şekil 4.27).

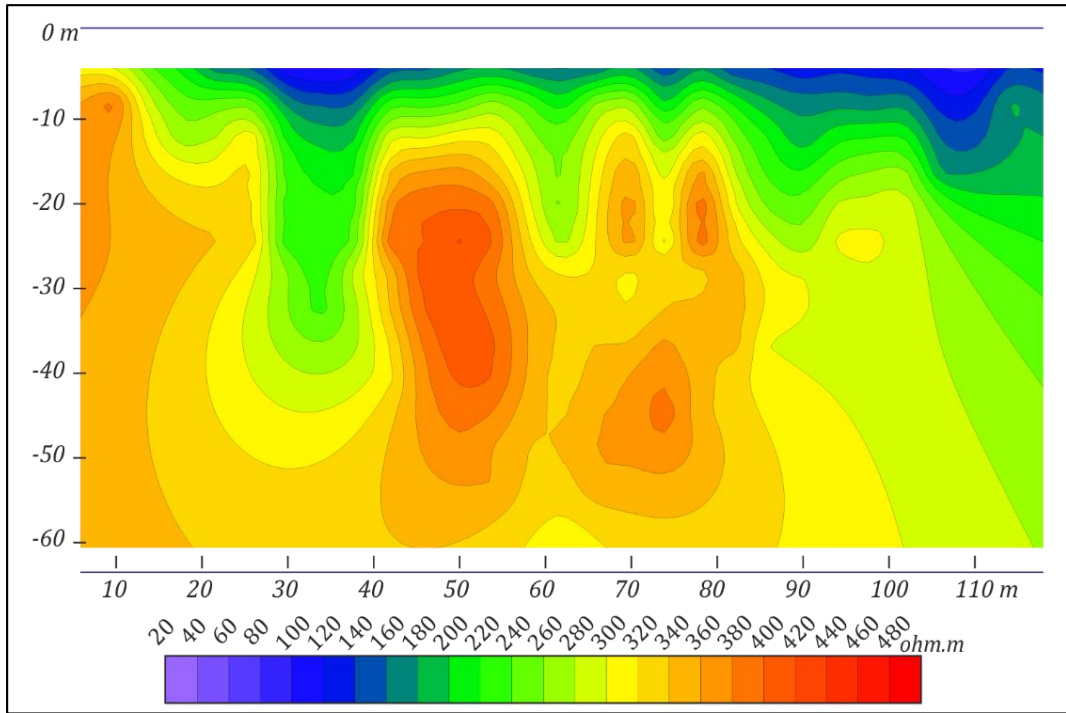


Şekil 4.26. HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

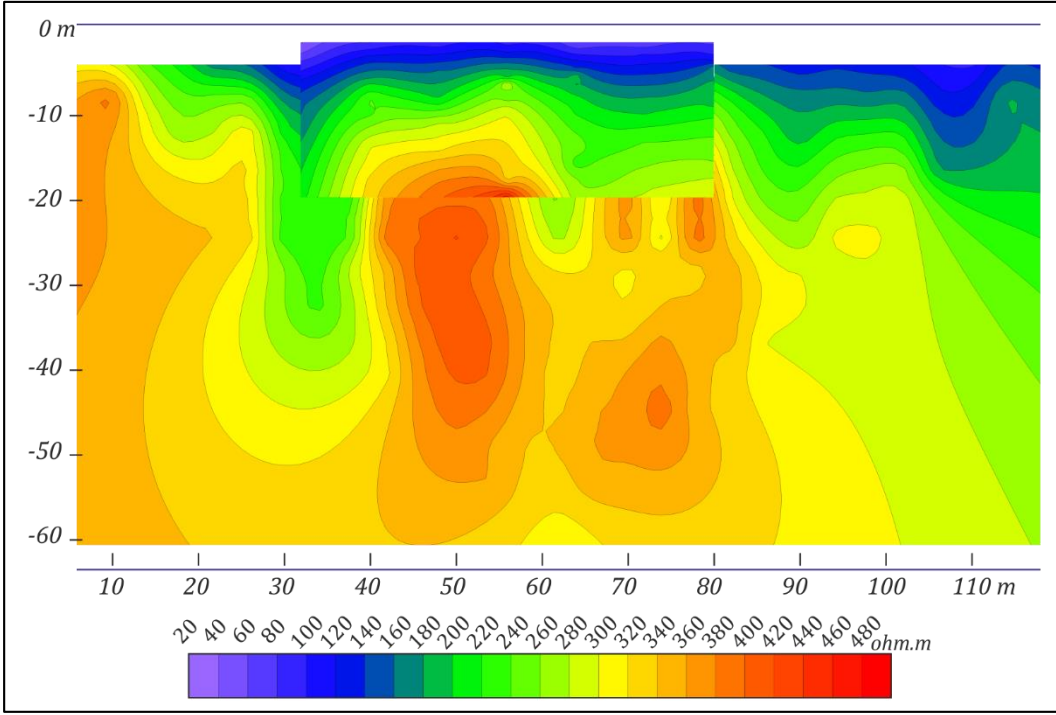


Şekil 4.27. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

RES2DINV ile elde edilen ölçülmüş Wenner-Schlumberger sonuçları da aynı şekilde SURFER programına aktarılmış ve HAT 1’e ait ikinci bir profil elde edilmiş (Şekil 4.28) ve Şekil 4.25’teki DES sonuçları ile karşılaştırılarak Wenner-Schlumberger yöntemine ait karşılaştırma profili elde edilmiştir (Şekil 4.29).

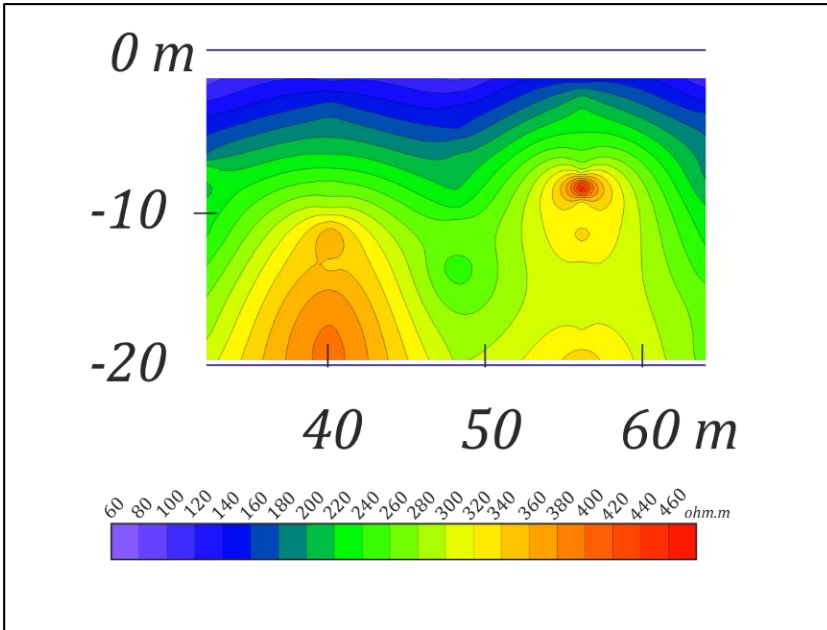


Şekil 4.28. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti



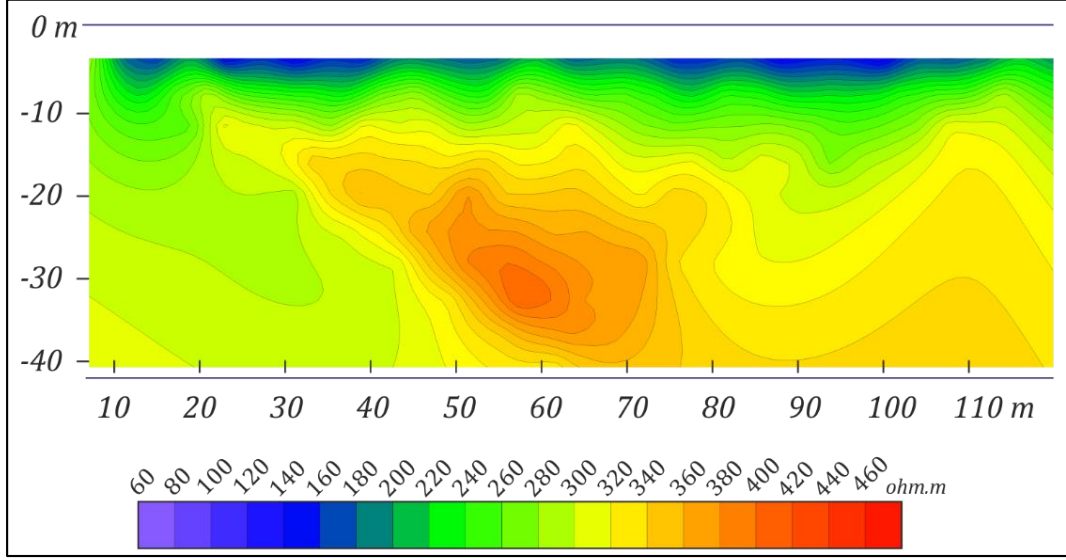
Şekil 4.29. HAT 1’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

Kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesindeki HAT 2 üzerinde 32, 40, 48, 56 ve 64 metre noktalarında olmak üzere 5 noktada DES ölçümü yapılmış (Bkz.Şekil 4.8) ve sonuçlar bir profil olarak sunulmuştur (Şekil 4.30).

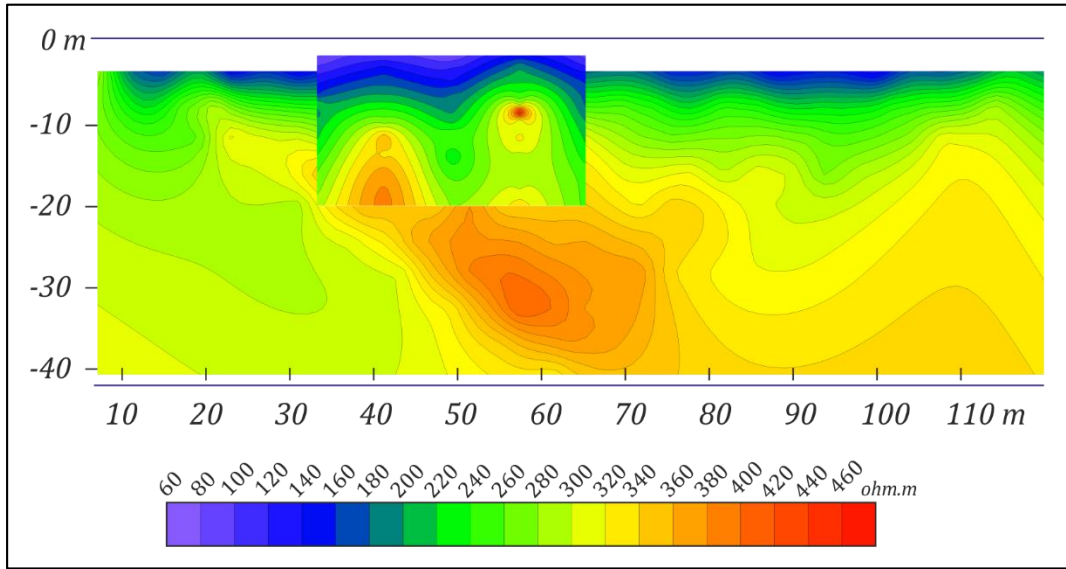


Şekil 4.30. HAT 2’de gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçümünün ilksel (measured) sonuçlarına ait veriler RES2DINV programından SURFER programına aktarılmış ve Wenner-Alpha ölçümüne ait profil elde edilmiştir (Şekil 4.31). Şekil 4.30’daki DES sonuçları Şekil 4.31’deki profile eklenerek, HAT 2’deki Wenner-Alpha ölçümü ile DES sonuçlarını kıyaslayan profil elde edilmiştir (Şekil 4.32).



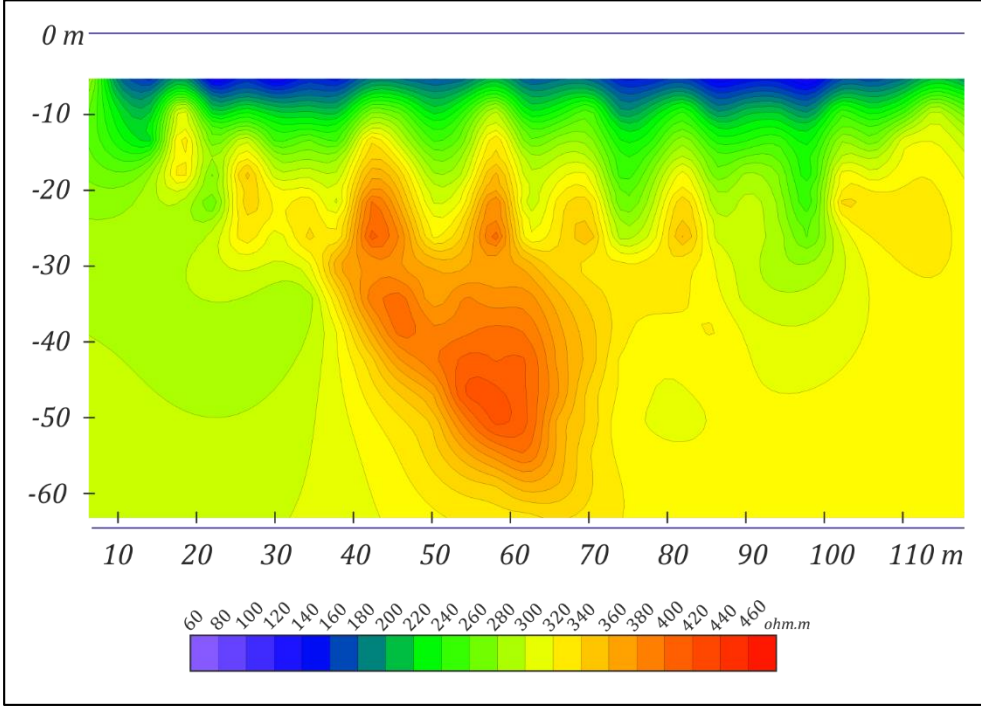
Şekil 4.31. HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti



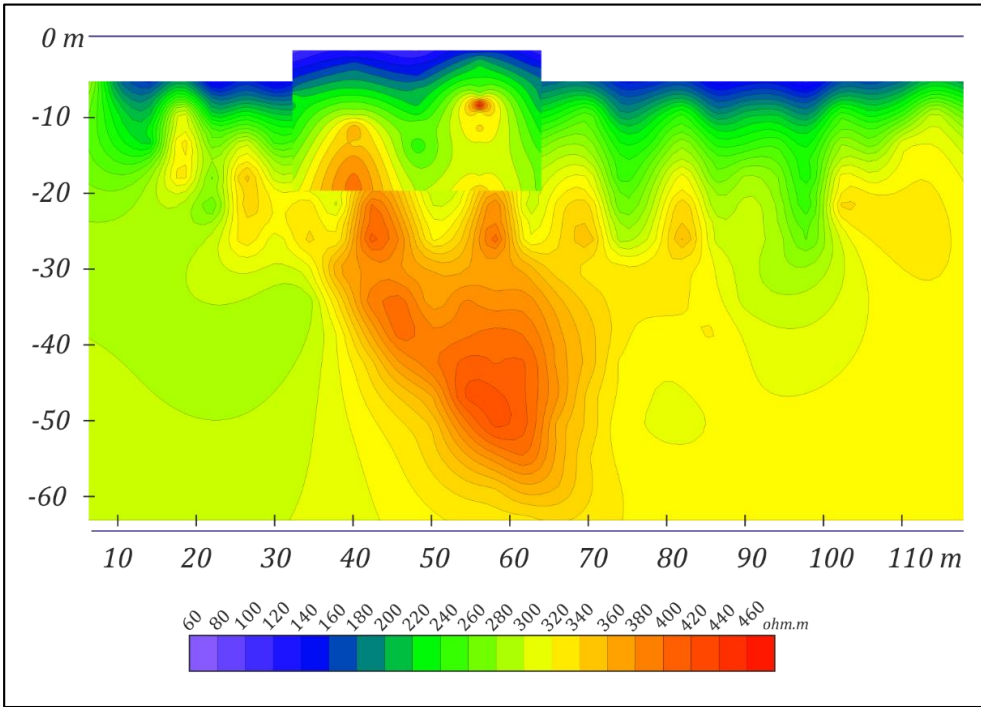
Şekil 4.32. HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

HAT 2’de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçümünün ilksel (measured) sonuçlarına ait veriler RES2DINV programından SURFER programına aktarılmış ve Wenner-Schlumberger ölçümüne ait profil elde edilmiştir (Şekil 4.33). Şekil 4.30’daki

DES sonuçları bu profile eklenerek, HAT 2'deki Wenner-Schlumberger ölçümü ile DES sonuçlarını kıyaslayan profil elde edilmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.33. HAT 2'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti



Şekil 4.34. HAT 2'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

Çalışma alanında gerçekleştirilen ölçümlerin ilksel (measured) değerlerinin DES sonuçları ile karşılaştırılmış profilleri incelendiğinde HAT 1 ölçümlerinde çok yüksek uyumluluk gözlenmiş, aynı uyum HAT 2 Wenner-Alpha ölçümünde kısmen az olarak gözlenebilmiştir. HAT 1’de 7, HAT 2’de ise 5 DES ölçümü yapılması sebebiyle bu farklılık çözünürlük değişiminden kaynaklı olabilmektedir.

4.1.2. 2 numaralı çalışma bölgesi (Serbest kürsü bölgesi)

Kampüs için 2 numaralı çalışma alanı olan Serbest Kürsü bölgesine ait görüntü Şekil 4.35’te sunulmuştur. Bölgedeki çalışmalarda Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger ölçümleri kullanılmıştır.



Şekil 4.35. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

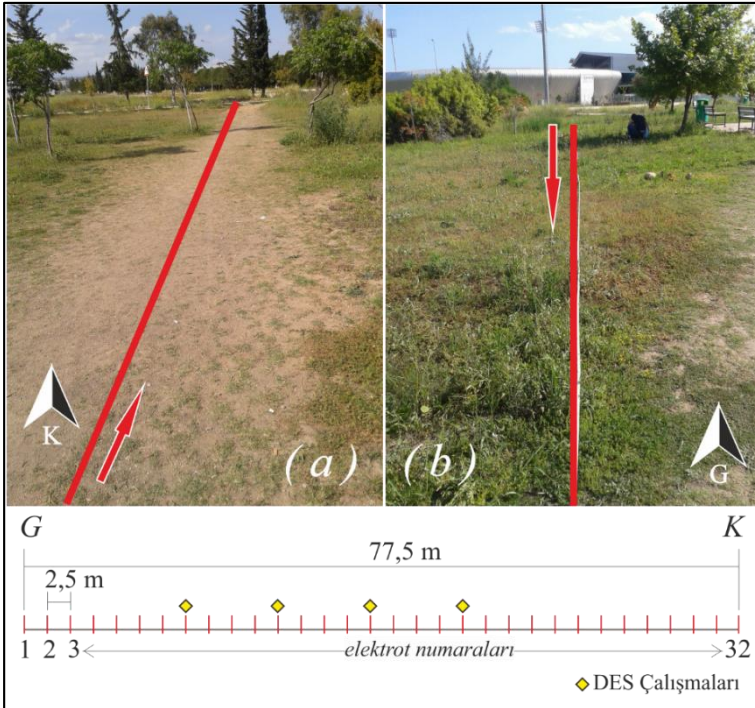
Çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları GD-KB doğrultulu bir hat üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.36). Bölgedeki ölçümler, aynı hat üzerinde dört farklı noktada yapılan düşey elektrik sondajı verileri ile desteklenmiştir. Ölçüm, 32 elektrot ve 2,50 m elektrot aralığı ile toplam 77,5 m serim yapılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.37).

2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 155 veri noktasında ve 10 seviyede (n=10) gerçekleştirilmiş ve 12,8 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.38’de sunulmuştur.

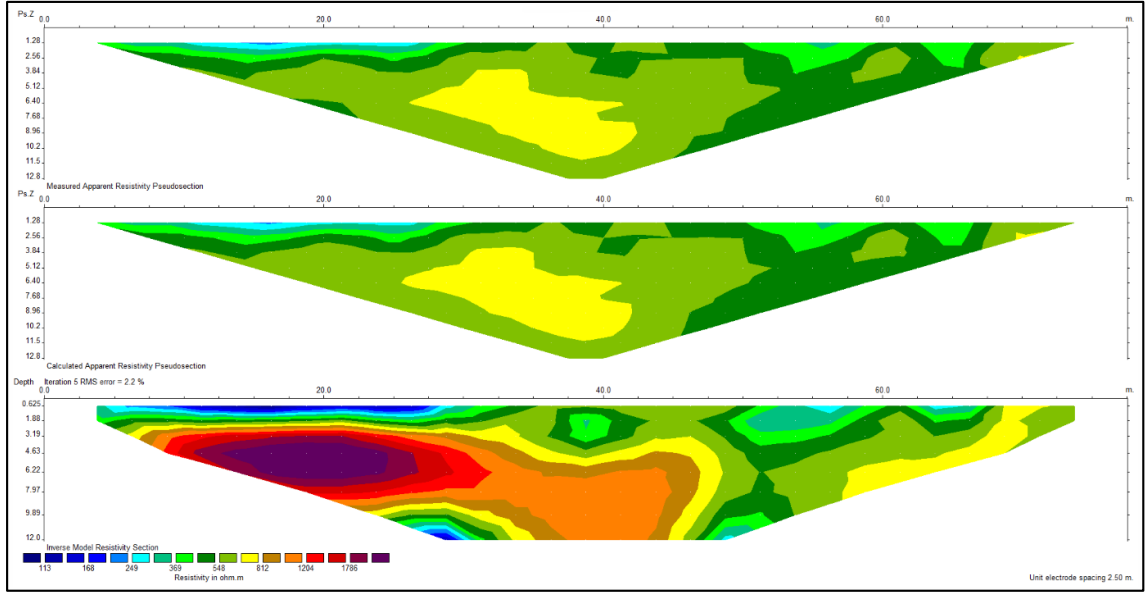
2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 170 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 12,0 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %7,8 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %2,2’ye düşürülmüştür.



Şekil 4.36. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları

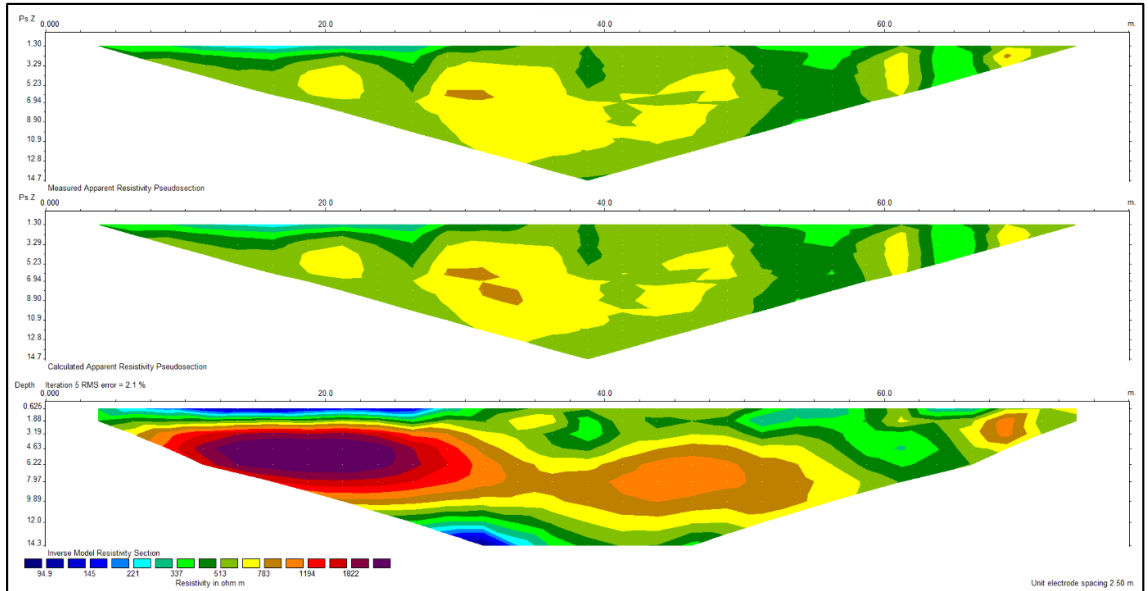


Şekil 4.37. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesi (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu özdirenç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları



Şekil 4.38. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 225 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 14,7 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.39’da sunulmuştur.

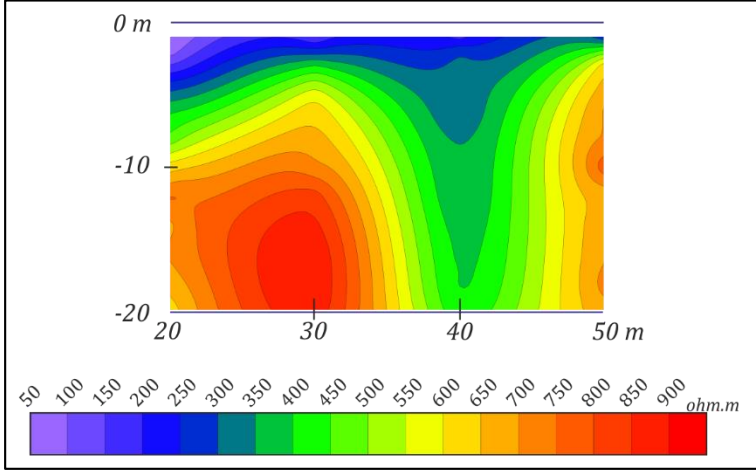


Şekil 4.39. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 14,3 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5

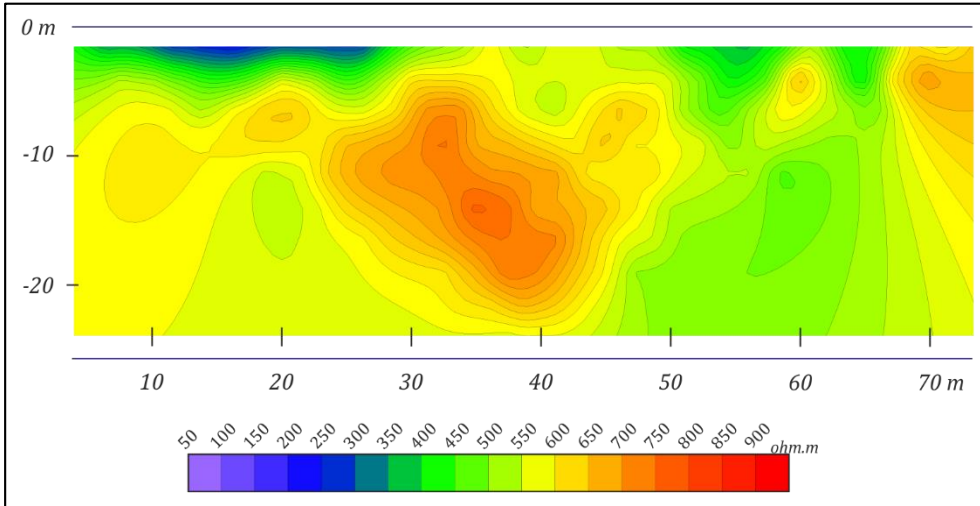
yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %7,7 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %2,1'e düşürülmüştür.

Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde 20, 30, 40 ve 50 metre olmak üzere 4 noktada DES çalışması yapılmıştır (Bkz. Şekil 4.37). Bu ölçüme ait sonuçlar bir profile aktarılarak DES kesiti elde edilmiştir (Şekil 4.40).

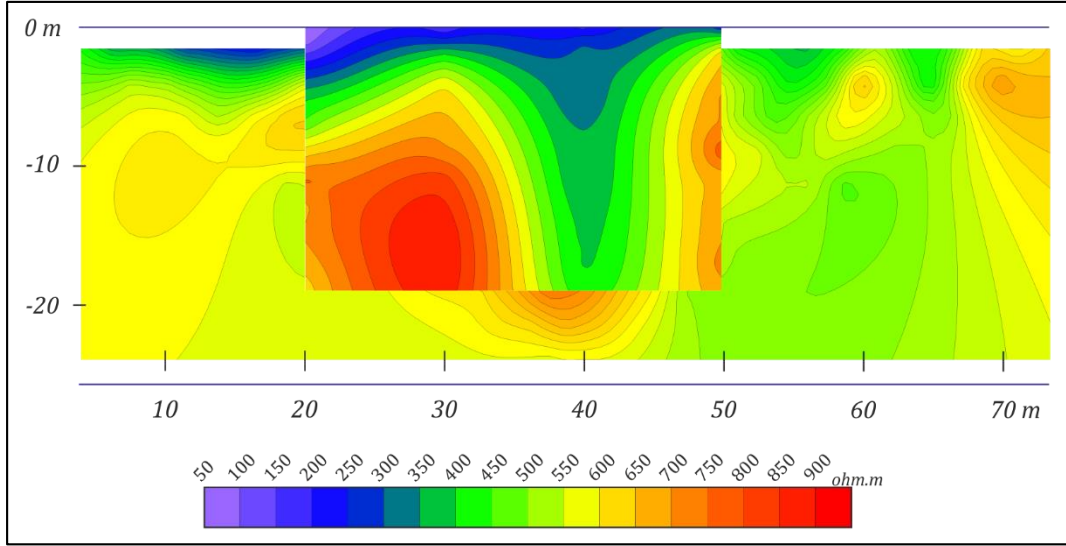


Şekil 4.40. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

Aynı hat üzerinde yapılmış olan Wenner-Alpha ölçümünün sonuçları ile oluşturulan profil (Şekil 4.41), Şekil 4.40'ta yer alan DES profili ile karşılaştırılmış ve uyumluluk kontrol edilmiştir (Şekil 4.42).

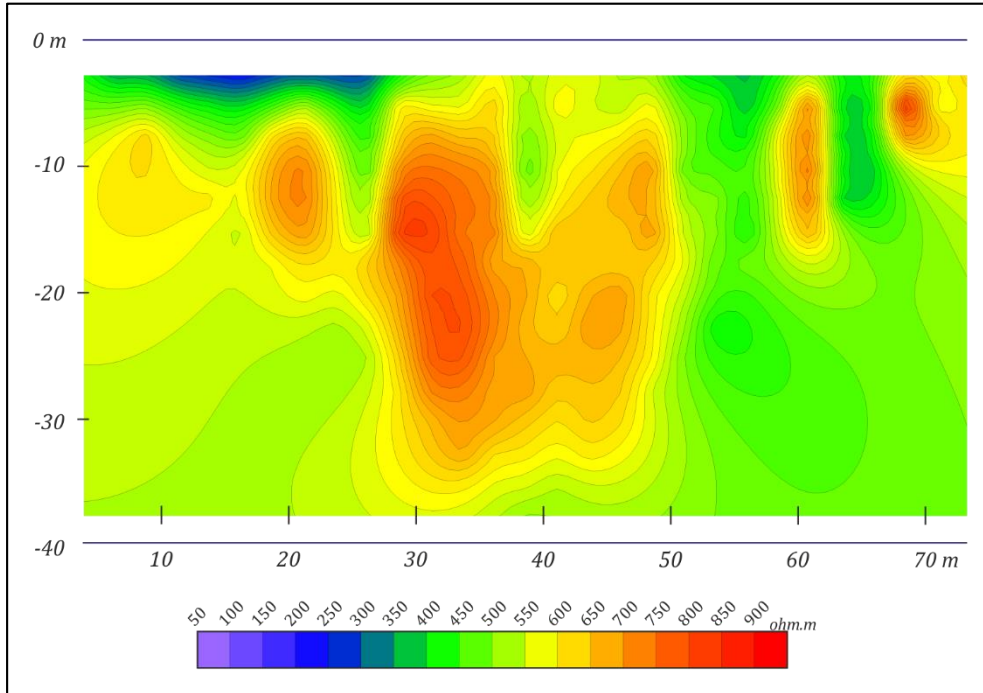


Şekil 4.41. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

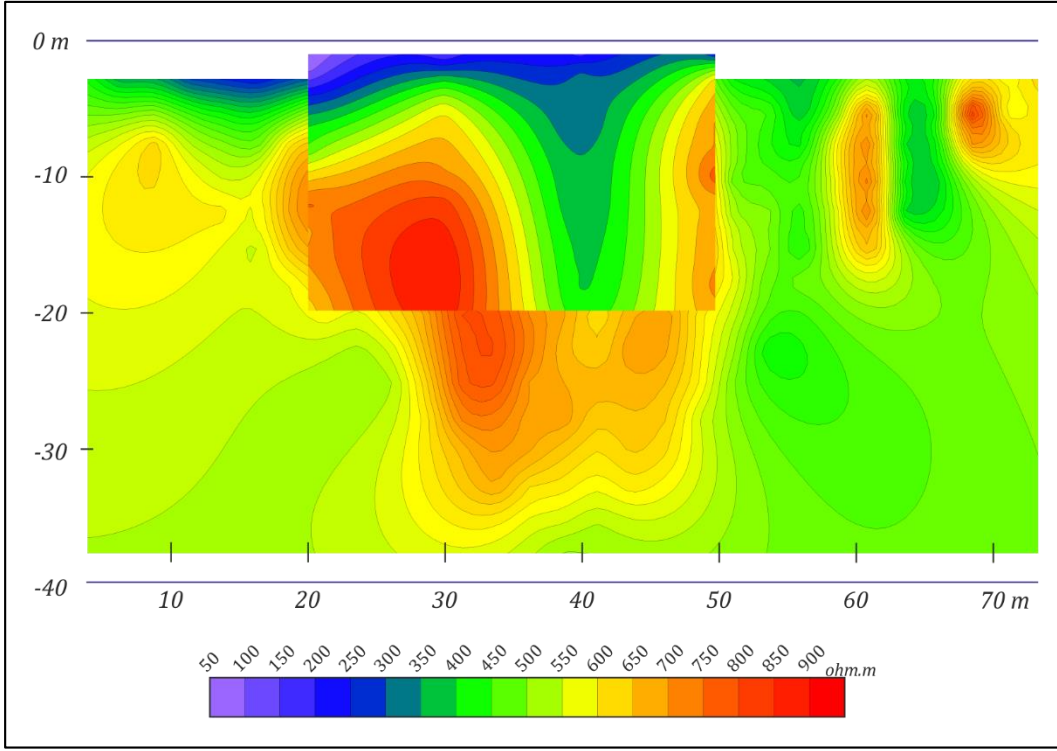


Şekil 4.42. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

Aynı işlem, yine aynı hat üzerinde gerçekleştirilmiş olan Wenner-Schlumberger ölçümü için de yapılmış ve Wenner-Schlumberger profili elde edilmiştir (Şekil 4.43). Bu profil Şekil 4.40'ta yer alan DES profili ile karşılaştırılarak Wenner-Schlumberger uyumluluk profili oluşturulmuştur (Şekil 4.44).



Şekil 4.43. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti



Şekil 4.44. Kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

Çalışma alanında gerçekleştirilen ölçümlerin ilksel (measured) değerlerinin DES sonuçları ile karşılaştırılmış profilleri incelendiğinde, Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının, Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarına göre daha tutarlı olduğu gözlenmiştir. Wenner-Alpha ölçümü genel olarak sığ yüzey haritalamada kullanılan bir yöntem olduğundan, derin ölçümlerde etkili olan Schlumberger yöntemi ile yapılan DES analizi ile arasındaki tutarsızlık olağan olarak görülmektedir. Wenner-Schlumberger ile DES sonuçlarına bakıldığında özellikle yüksek elektrik öz direnç bölgelerinde uyumluluk gözlenmiştir.

4.1.3. 3 numaralı çalışma bölgesi (İİBF C blok – İlahiyat Fakültesi)

Kampüs için 3 numaralı çalışma alanına ait arazi görüntüsü Şekil 4.45'te sunulmuştur. Bölgedeki çalışmalarda Wenner-Alpha, Wenner-Schlumberger ve Dipol-Dipol ölçümleri kullanılmıştır.

Çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışmaları D-B doğrultulu bir hat üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.46). Bölgedeki ölçümler, aynı hat üzerinde dört farklı noktada yapılan düşey elektrik sondajı verileri ile desteklenmiştir. Ölçüm, 24 elektrot ve 3 m elektrot aralığı ile toplam 69 m serim yapılarak gerçekleştirilmiştir.

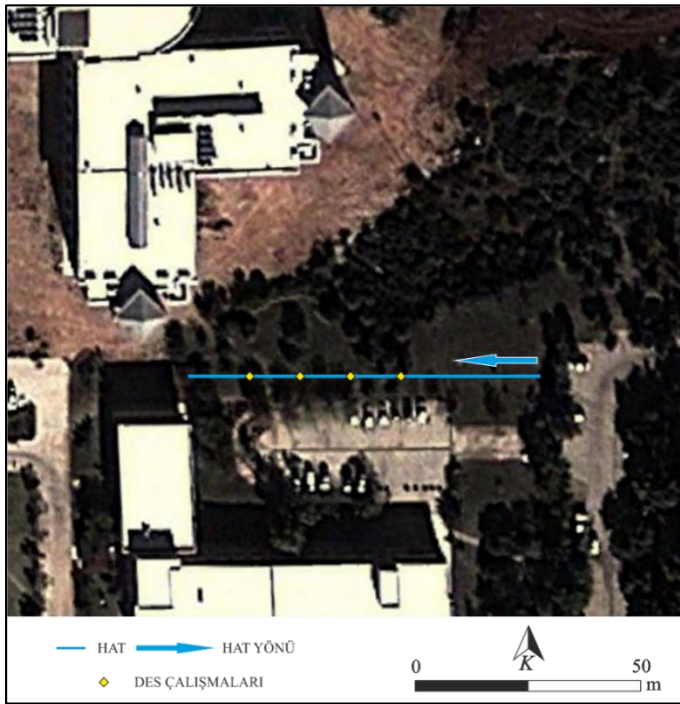
3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 84 veri noktasında ve 7 seviyede

(n=7) gerçekleştirilmiş ve 10,8 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.47’de sunulmuştur.

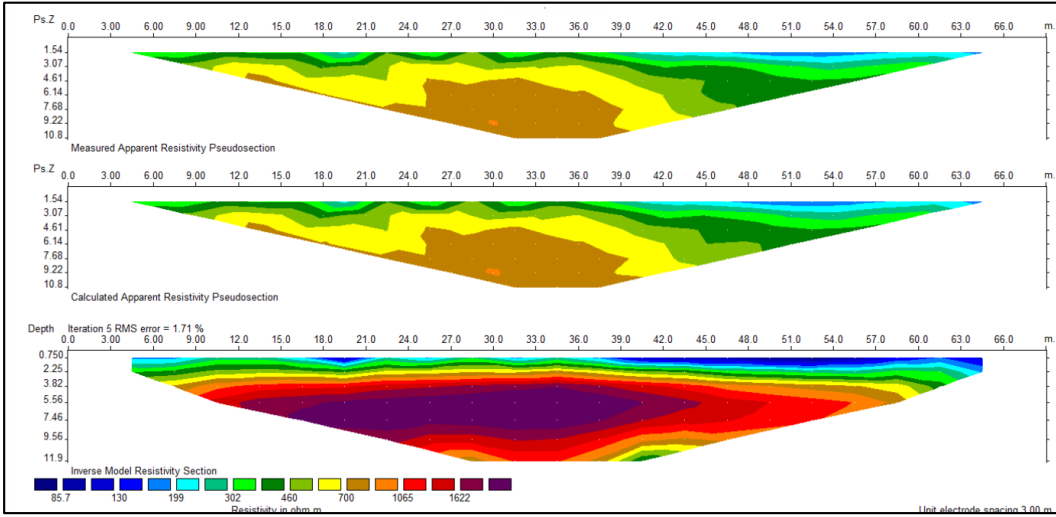


Şekil 4.45. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 7 seviyede 105 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 11,9 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %12,48 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %1,71’e düşürülmüştür.



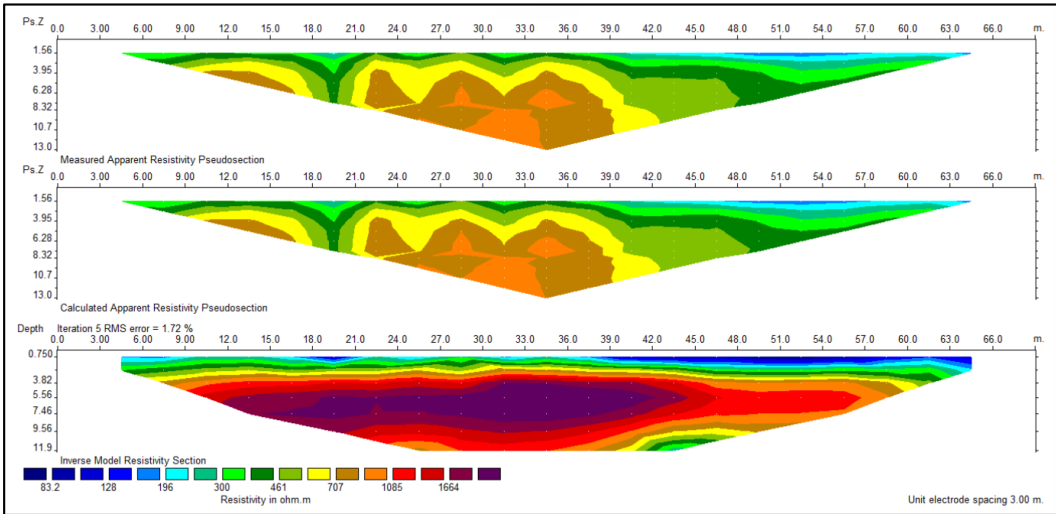
Şekil 4.46. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları



Şekil 4.47. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 121 veri noktasında ve 11 seviyede (n=11) gerçekleştirilmiş ve 13,0 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.48’de sunulmuştur.

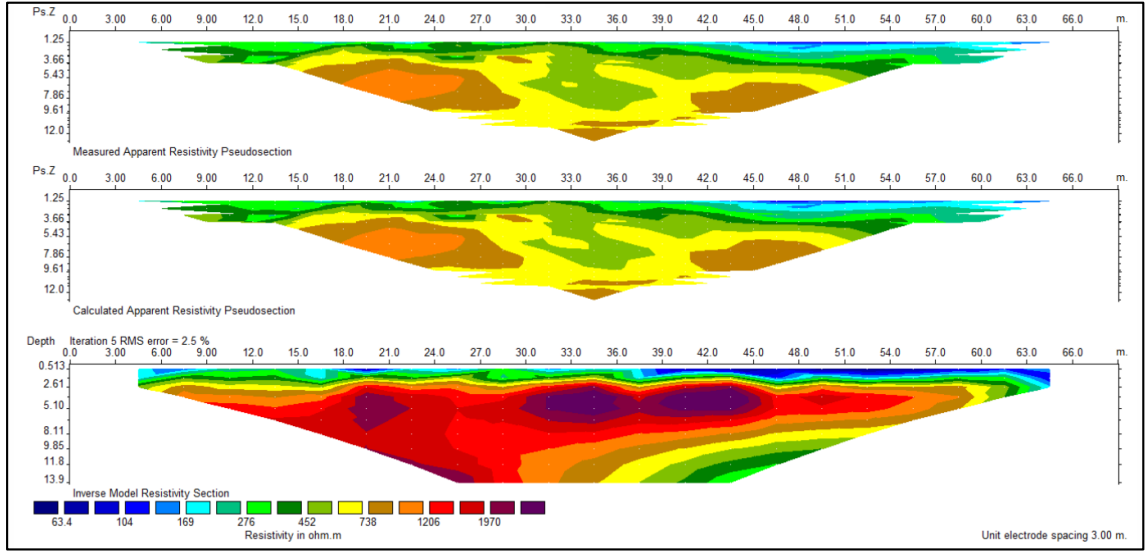
3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 7 seviyede 111 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 11,9 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %12,98 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %1,72’ye düşürülmüştür.



Şekil 4.48. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

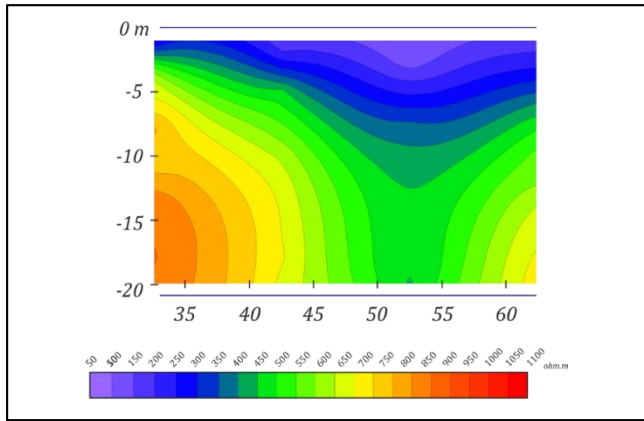
3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Dipol-Dipol ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 231 veri noktasında ve 21 seviyede (n=21) gerçekleştirilmiş ve 12,0 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.49'da sunulmuştur.

3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Dipol-Dipol ölçümüne ait ters çözüm işlemi 10 seviyede 154 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 13,9 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %20,12 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %2,53'e düşürülmüştür.



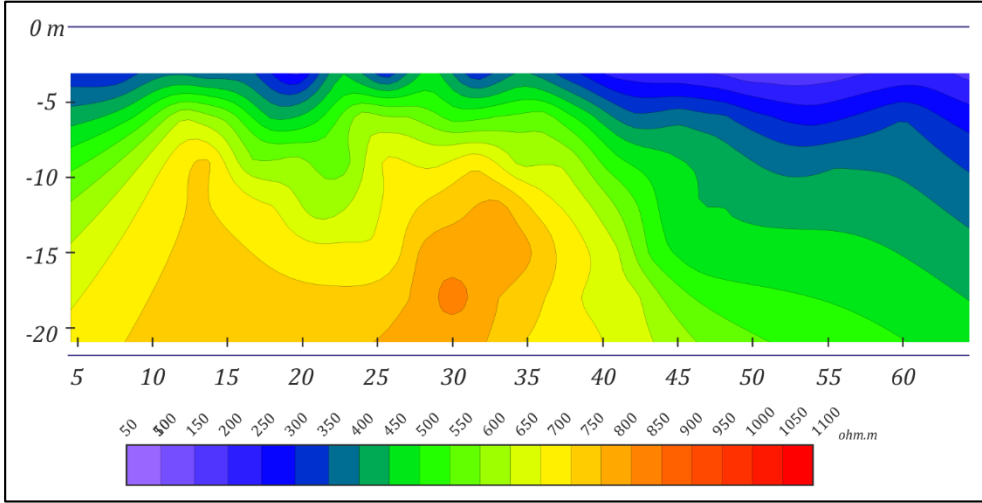
Şekil 4.49. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Dipol-Dipol ölçüm sonuçları

Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde 30, 40, 50 ve 60 metre olmak üzere 4 noktada DES ölçümü yapılmıştır (Bkz. Şekil 4.46). Bu ölçümlere ait DES profili Şekil 4.50'de sunulmuştur.

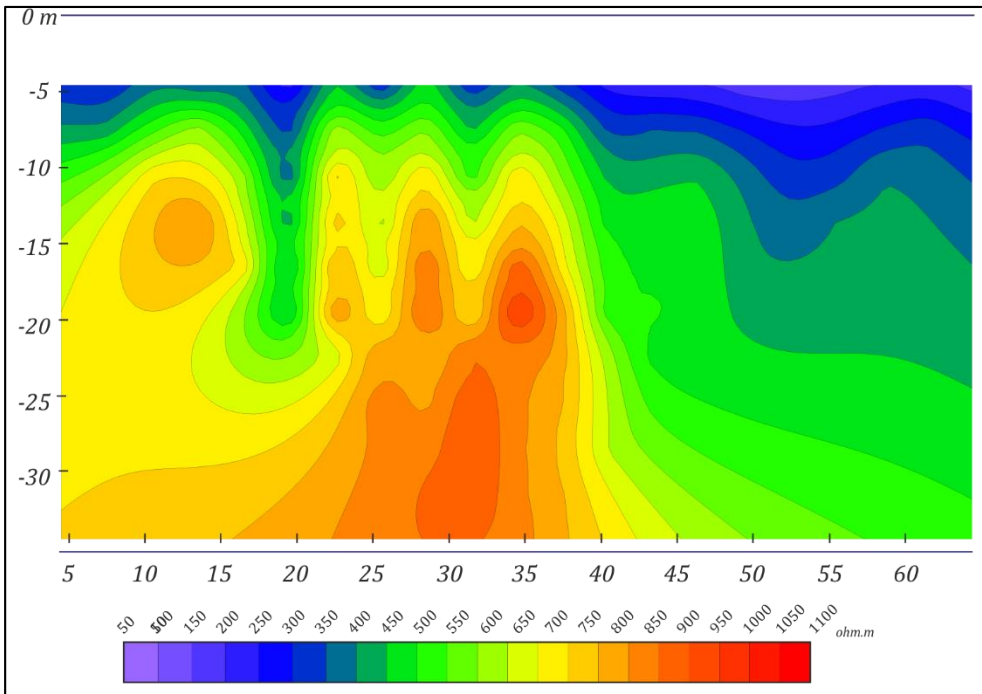


Şekil 4.50. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

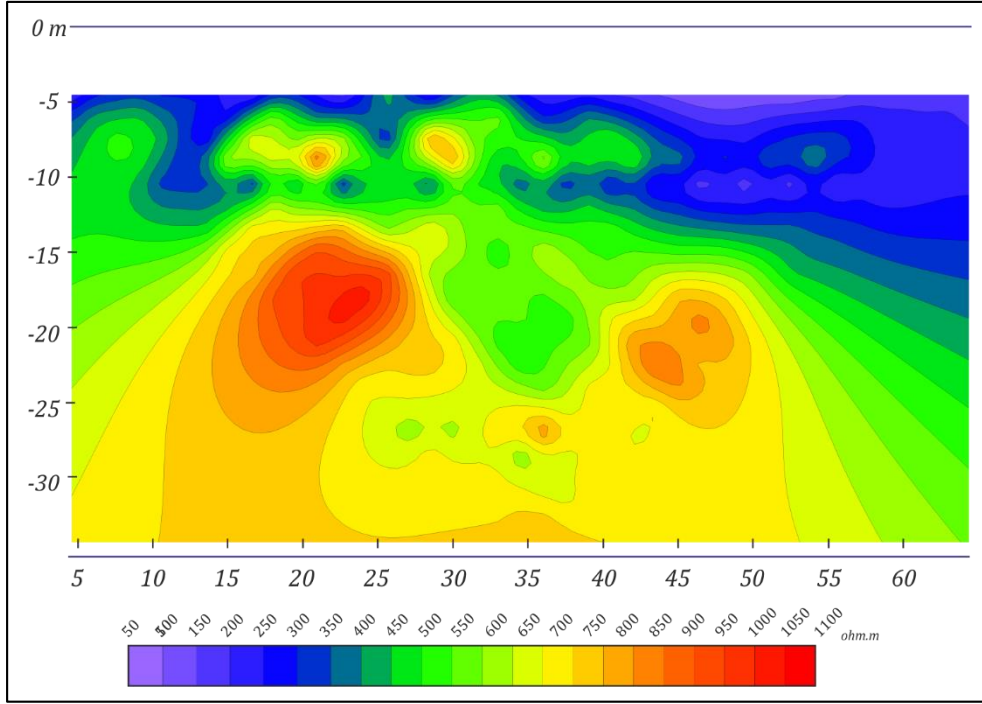
Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde 3 farklı çok elektrotlu elektrik öz direnç yöntemi kullanılmış ve tüm yöntemler mevcut DES ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma alanına ait Wenner-Alpha, Wenner-Schlumberger ve Dipol-Dipol yöntemlerine ait SURFER kesitleri sırasıyla Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te sunulmuştur.



Şekil 4.51. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

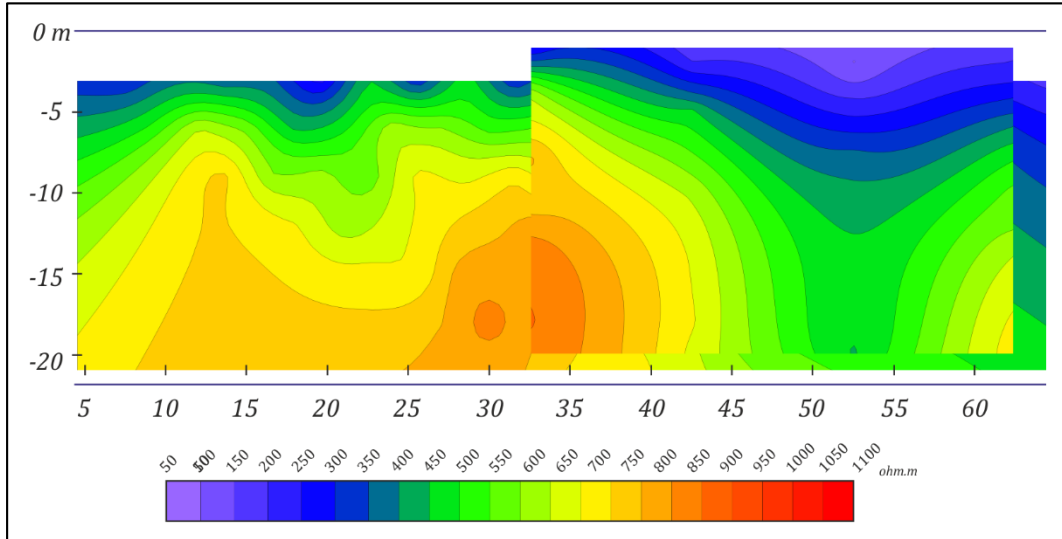


Şekil 4.52. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

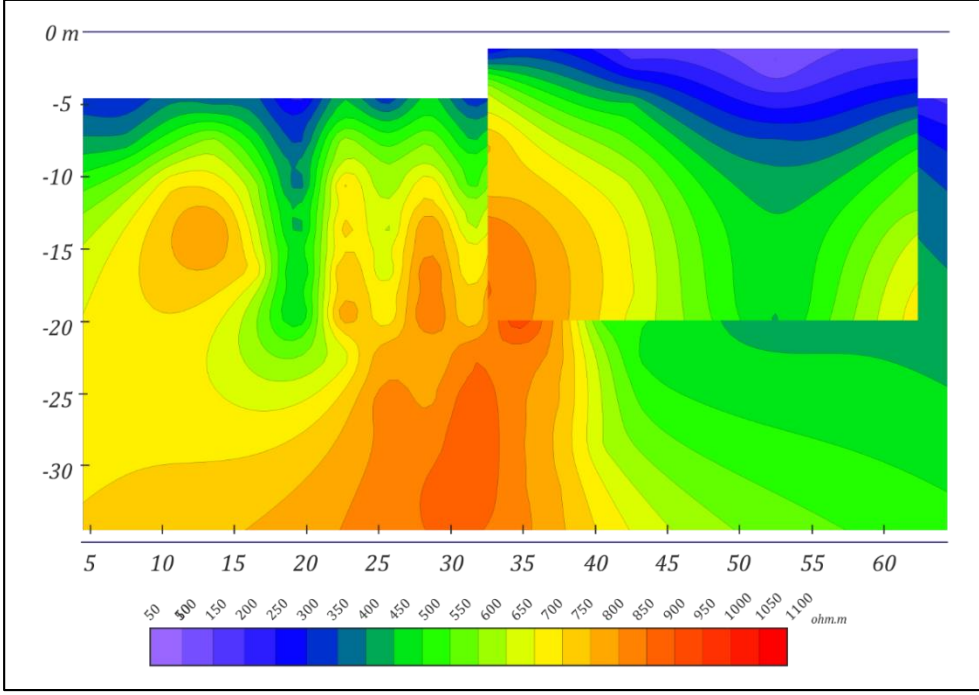


Şekil 4.53. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Dipol-Dipol ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesiti

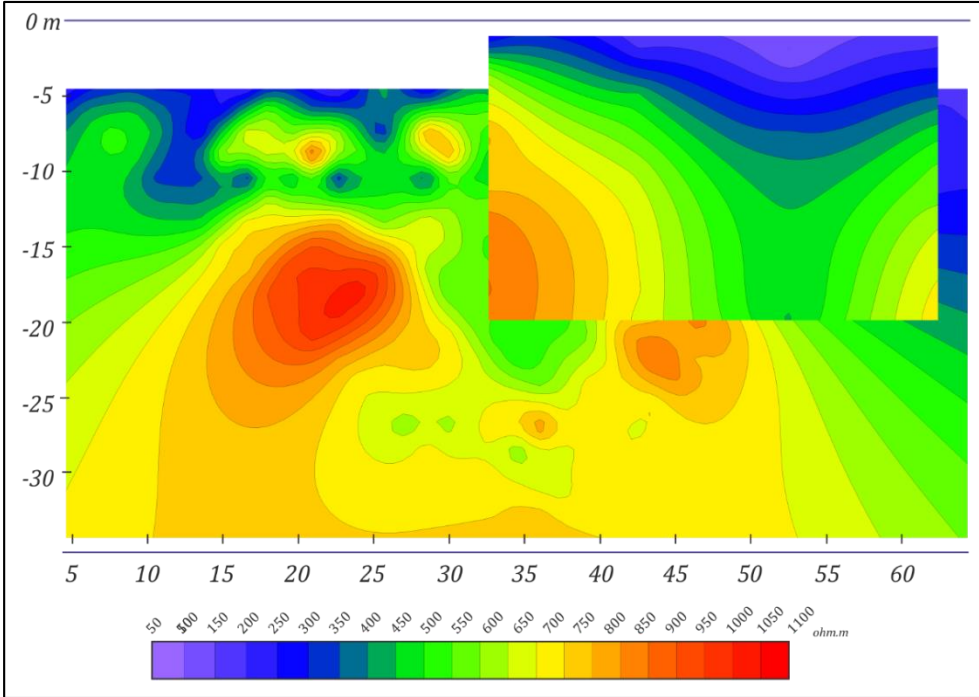
Şekil 4.50’de yer alan DES sonuçlarının 3 yöntem ile karşılaştırılması ile elde edilen profiller Wenner-Alpha, Wenner-Schlumberger ve Dipol-Dipol sırasıyla Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da sunulmuştur.



Şekil 4.54. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.55. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

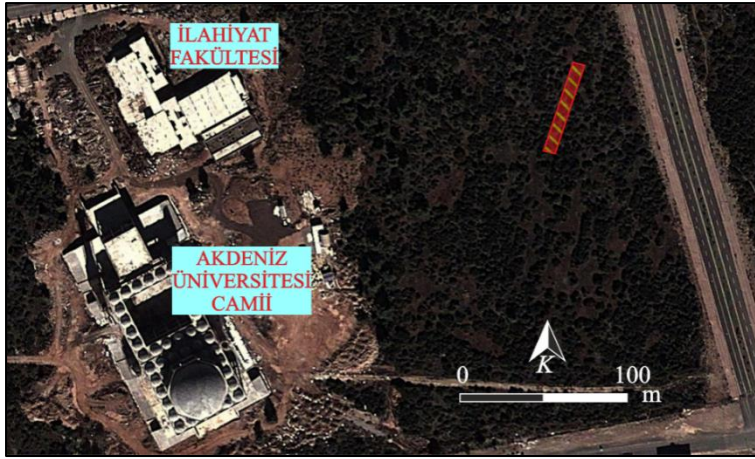


Şekil 4.56. Kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen Dipol-Dipol ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

Çalışma alanında gerçekleştirilen ölçümlerin ilksel (measured) değerlerinin DES sonuçları ile karşılaştırılmış profilleri incelendiğinde Dipol-Dipol ölçümü ile DES profili arasında yüksek uyumsuzluk olduğu; fakat aynı zamanda Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları ile DES sonuçları arasında uyumluluk olduğu gözlenmiştir. Dipol-Dipol yönteminin diğer yöntemlere göre yüksek çözünürlük ile ölçüm yapması ve bu yöntemin çözünürlüğüne erişemeyen diğer yöntemlerin değer olarak farklılık göstermesi bu farklılığın esas sebebi olarak gösterilebilmektedir.

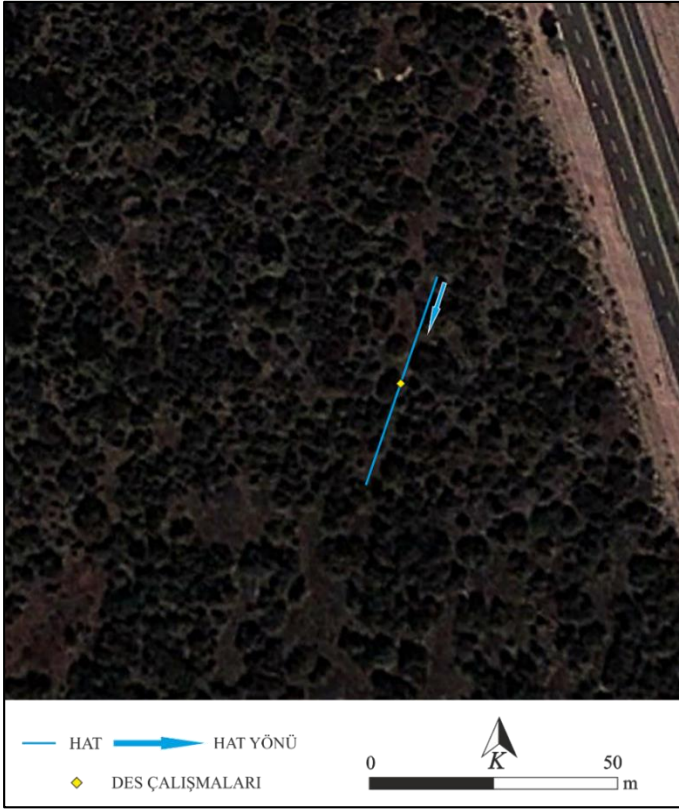
4.1.4. 4 numaralı çalışma bölgesi (Yeni İlahiyat Fakültesi)

Kampüs için 4 numaralı çalışma alanına ait arazi görüntüsü Şekil 4.57’de sunulmuştur. Bölgedeki çalışmalarda Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger ölçümleri kullanılmıştır.



Şekil 4.57. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

Çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları GD-KB doğrultulu bir hat üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.58). Bölgedeki ölçümler, aynı hat üzerinde yapılan düşey elektrik sondajı verileri ile desteklenmiştir. Ölçüm, 32 elektrot ve 1,50 m elektrot aralığı ile toplam 46,5 m serim yapılarak gerçekleştirilmiştir.



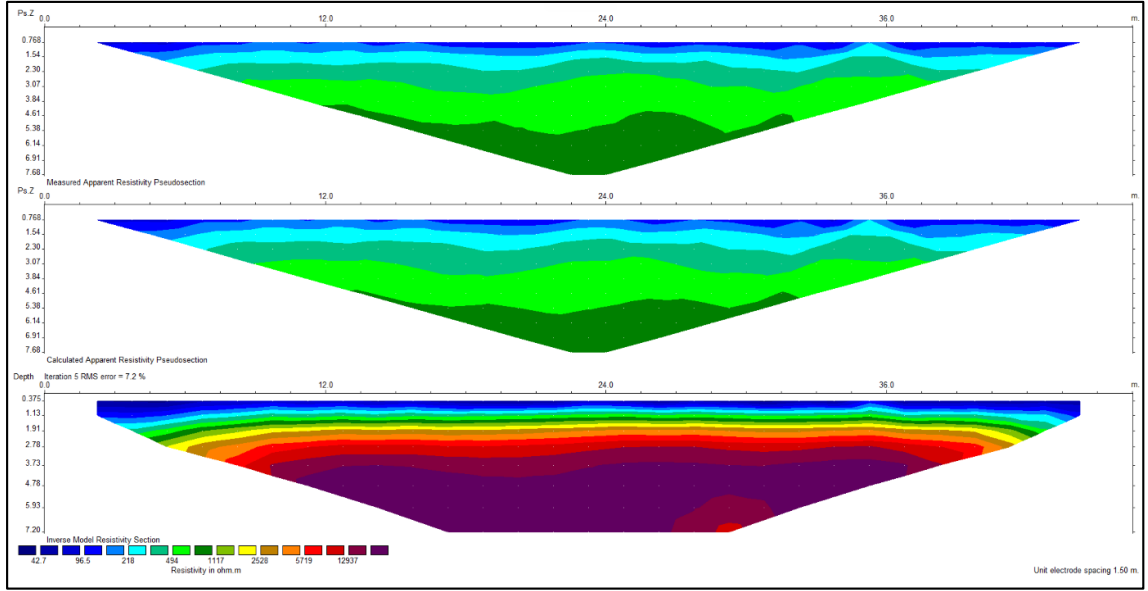
Şekil 4.58. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları

4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 155 veri noktasında ve 10 seviyede (n=10) gerçekleştirilmiş ve 7,68 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.59’da sunulmuştur.

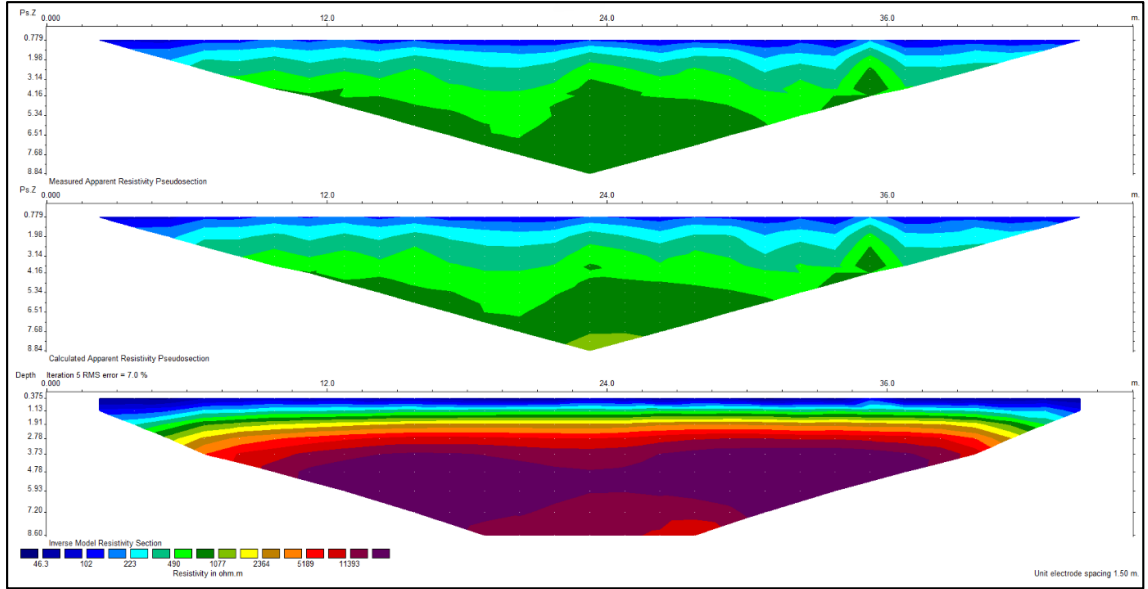
4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 170 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 7,20 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %33,75 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %7,21’e düşürülmüştür.

4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 225 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 8,84 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.60’da sunulmuştur.

4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 8,60 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %34,74 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %7,01’e düşürülmüştür.

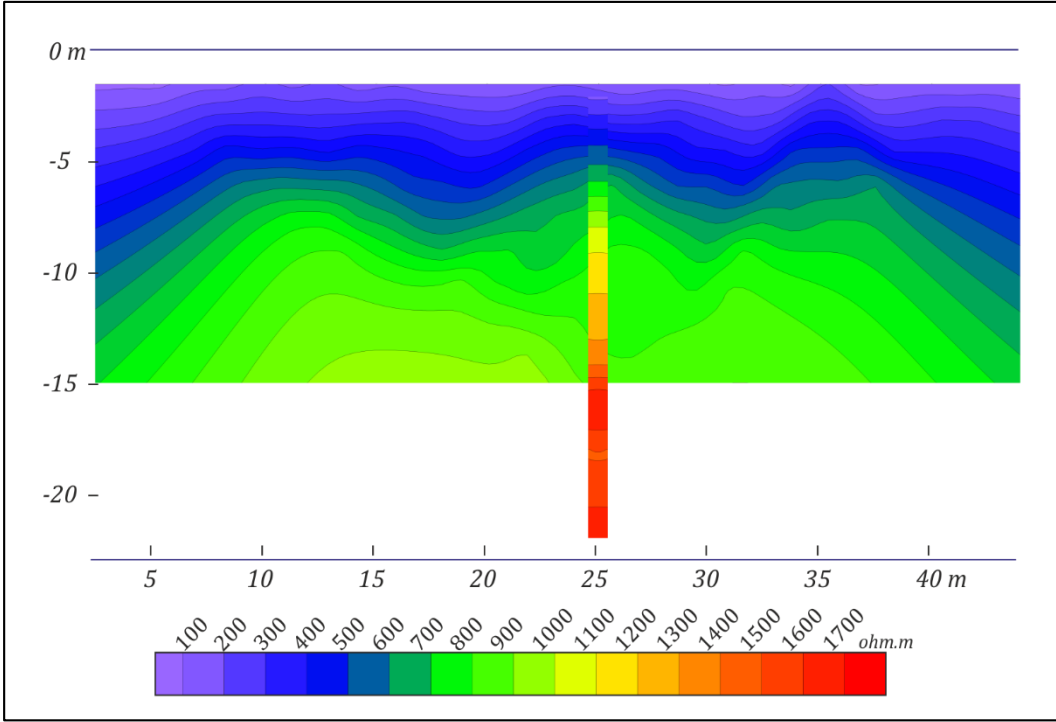


Şekil 4.59. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

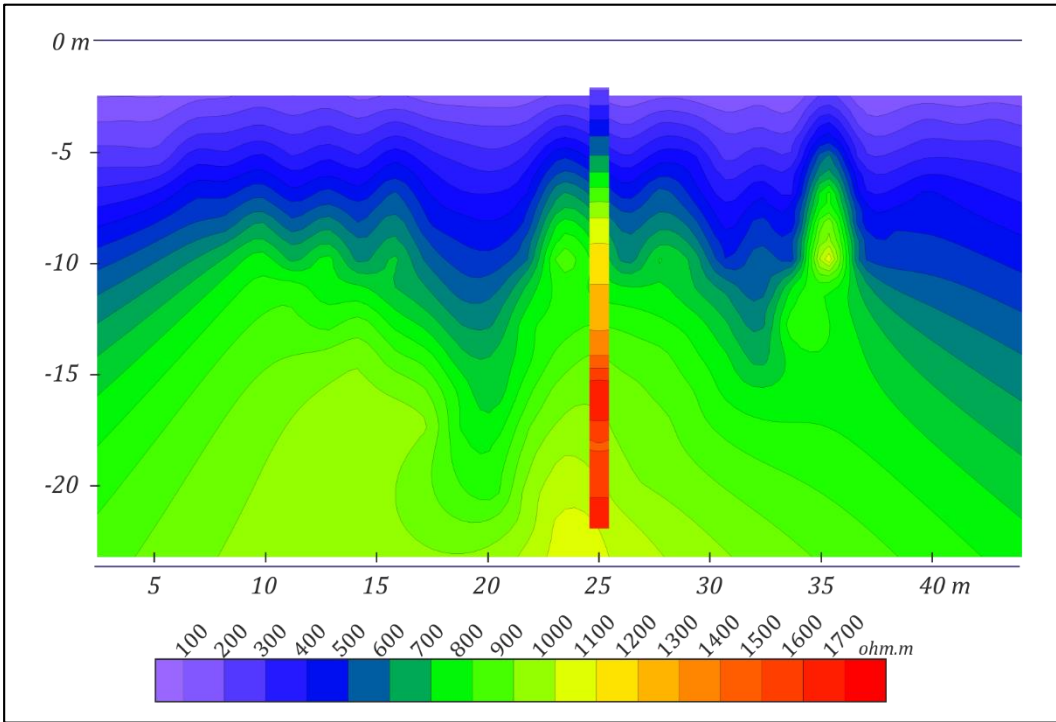


Şekil 4.60. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

Kampüs alanı 4 numaralı bölgesinde sadece bir noktada DES çalışması yapılmış ve çalışma Wenner-Alpha ölçümü ile 9 metreye kadar (Şekil 4.61), Wenner-Schlumberger ölçümü ile de 5 metreye kadar (Şekil 4.62) uyumluluk göstermiştir.



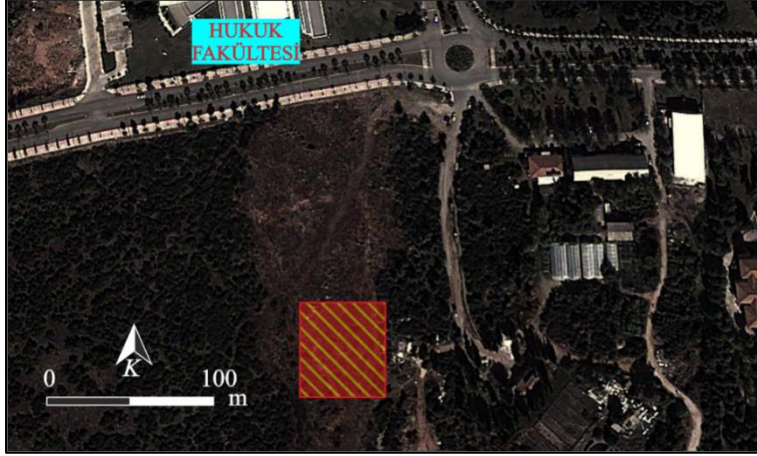
Şekil 4.61. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.62. Kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

4.1.5. 5 numaralı çalışma bölgesi (Hukuk Fakültesi karşısı)

Kampüs için 5 numaralı çalışma alanına ait arazi görüntüsü Şekil 4.63'te sunulmuştur. Çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları D-B doğrultulu ve K-G doğrultulu olmak üzere iki hat üzerinde (Şekil 4.64) gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, hatların kesişiminde yapılan düşey elektrik sondajı verileri ile desteklenmiştir.

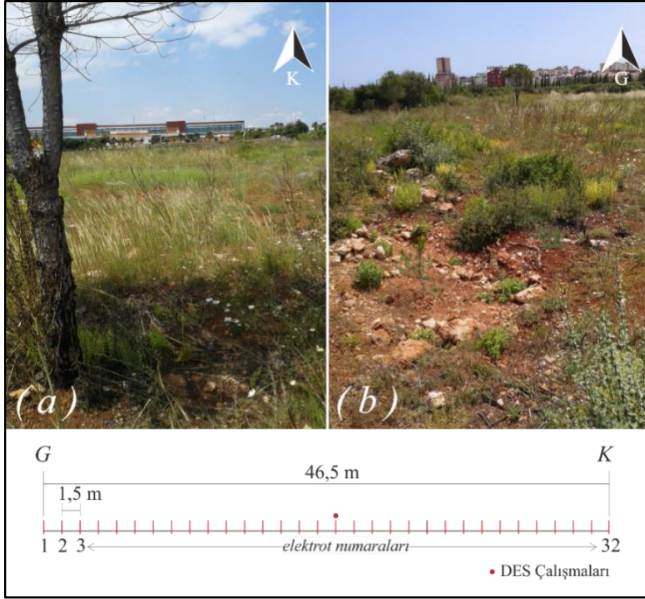


Şekil 4.63. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)



Şekil 4.64. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hatları ve düşey elektrik sondajı çalışma noktaları

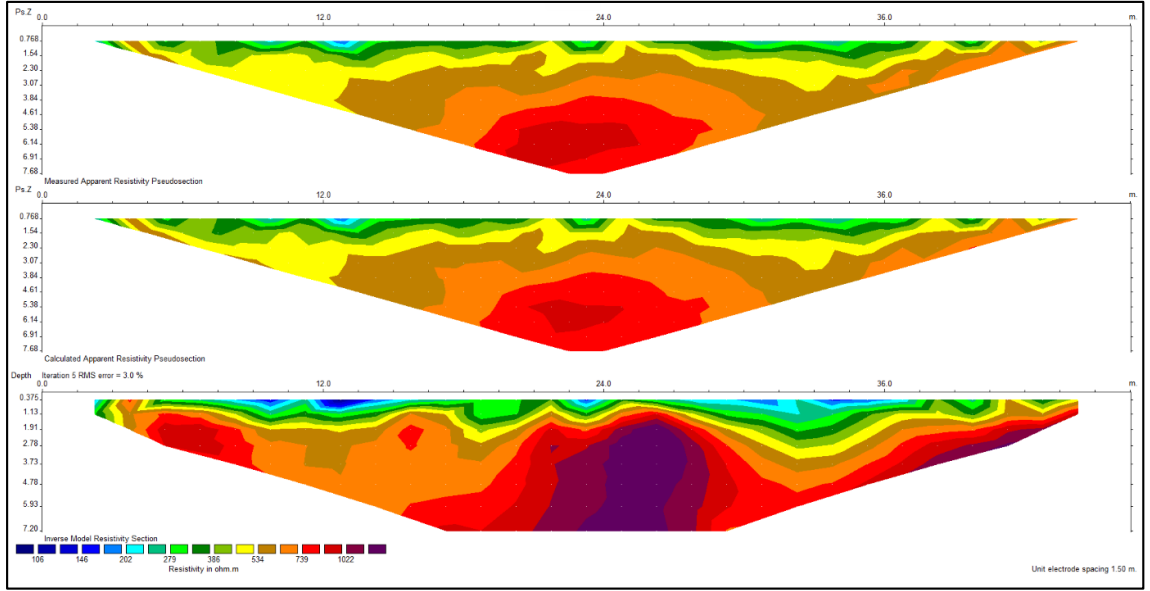
4 numaralı çalışma bölgesinde yapılan K-G doğrultulu hattın arazi görünümü Şekil 4.65'te verilmiştir. Ölçümler, 32 elektrot ve 1,50 m elektrot aralığı ile toplam 46,5 m serim yapılarak gerçekleştirilmiştir



Şekil 4.65. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1 (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu özdirenç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları

HAT 1'de yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 155 veri noktasında ve 10 seviyede ($n=10$) gerçekleştirilmiş ve 7,68 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.66'da sunulmuştur.

Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 170 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 7,20 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %8,51 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %3,03'e düşürülmüştür.

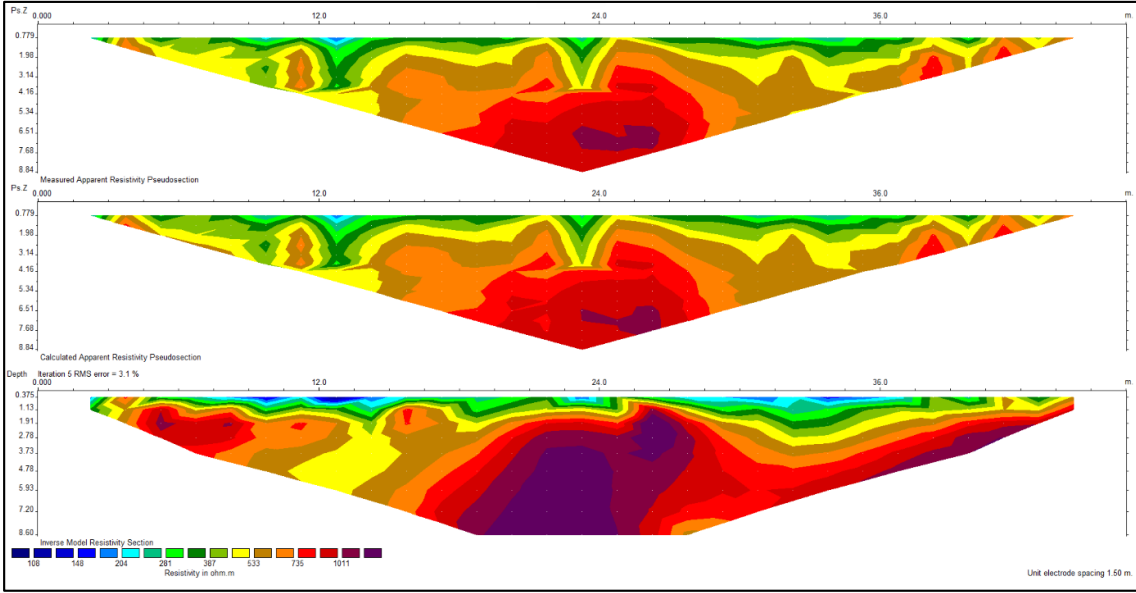


Şekil 4.66. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

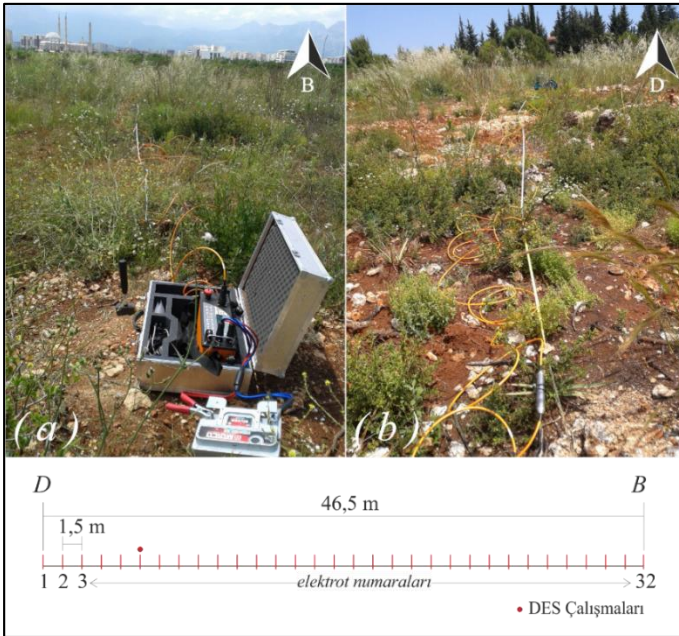
HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 225 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 8,84 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.67’de sunulmuştur.

Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 8,60 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %8,82 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %3,09’a düşürülmüştür.

5 numaralı çalışma bölgesinde yapılan D-B doğrultulu hattın arazi görünümü Şekil 4.68’de verilmiştir. Ölçümler, 32 elektrot ve 1,50 m elektrot aralığı ile toplam 46,5 m serim yapılarak gerçekleştirilmiştir.



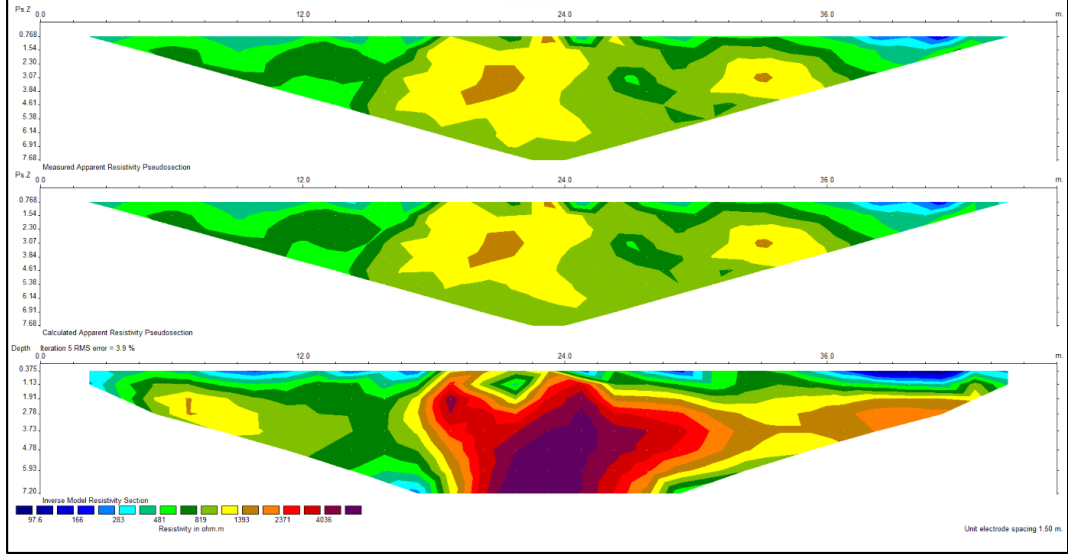
Şekil 4.67. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları



Şekil 4.68. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2 (a) başlangıç noktası ve (b) bitiş noktasından arazi görünümü, çok elektrotlu öz direnç çalışmaları serimi ve DES çalışma noktaları

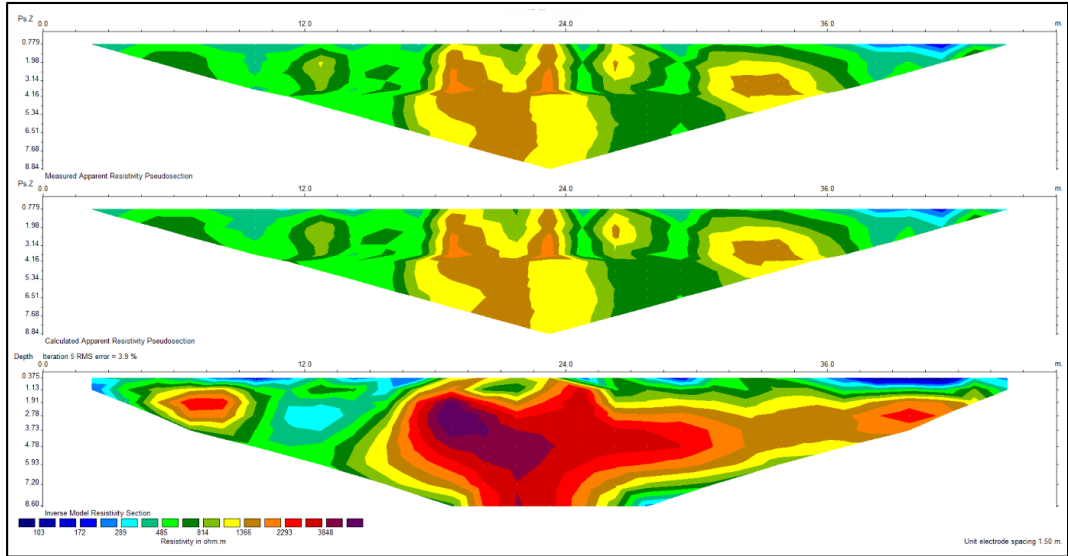
HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 155 veri noktasında ve 10 seviyede ($n=10$) gerçekleştirilmiş ve 7,68 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.69’da sunulmuştur.

Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 170 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 7,20 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %12,32 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %3,90'a düşürülmüştür.



Şekil 4.69. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

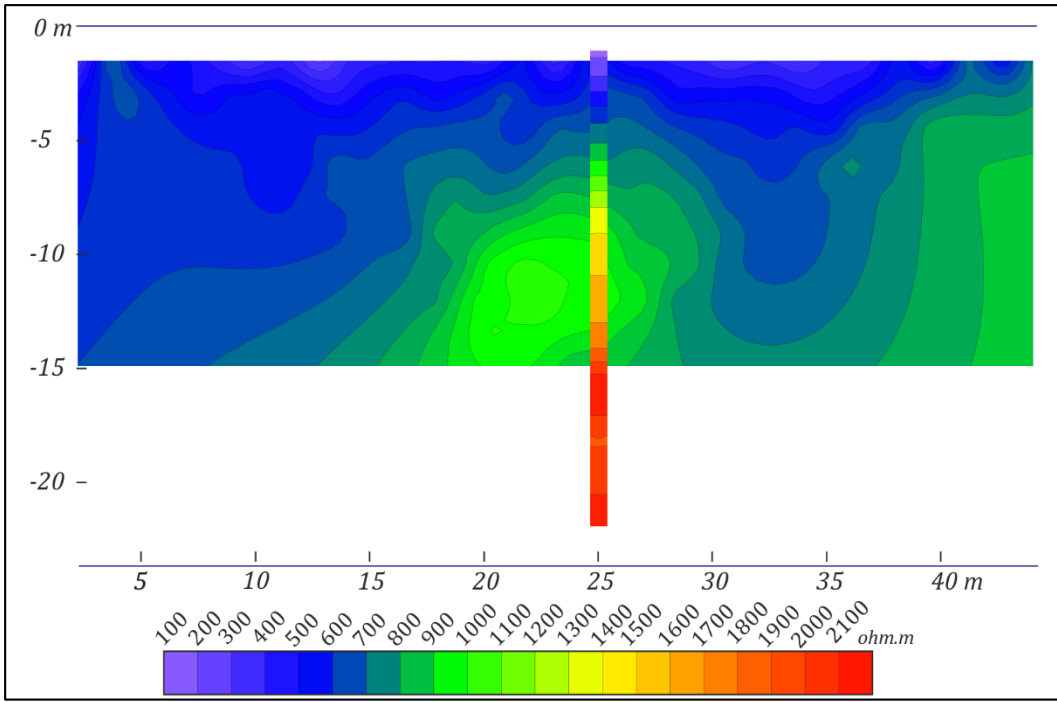
HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 225 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 8,84 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.70’te sunulmuştur.



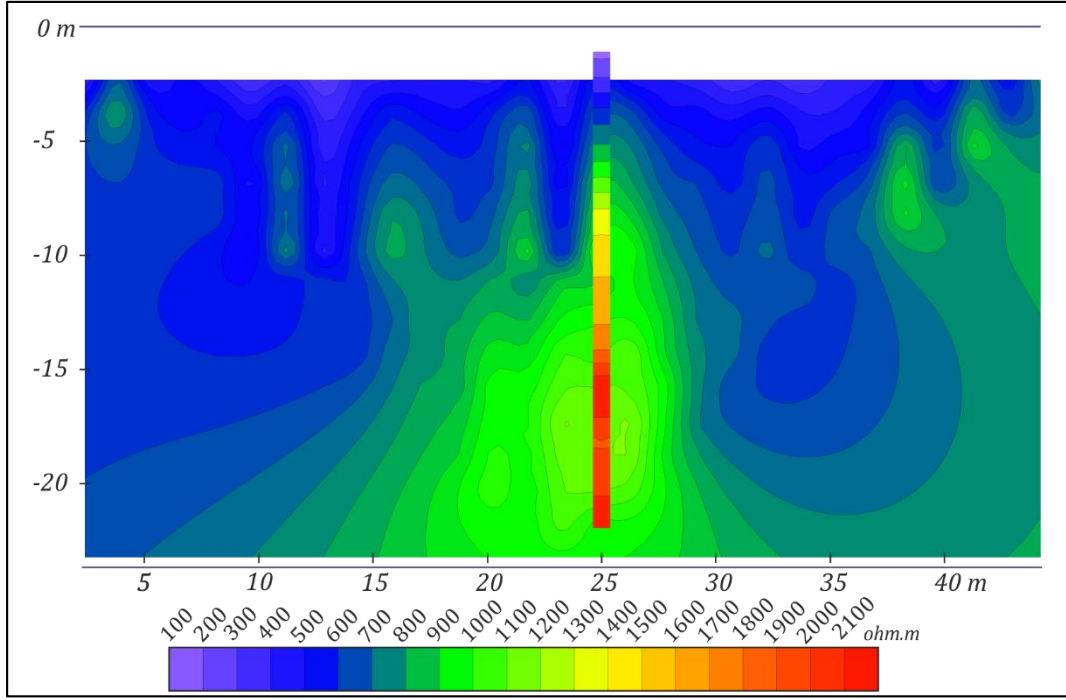
Şekil 4.70. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2’de yapılan Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 8,60 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %14,43 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %3,94'e düşürülmüştür.

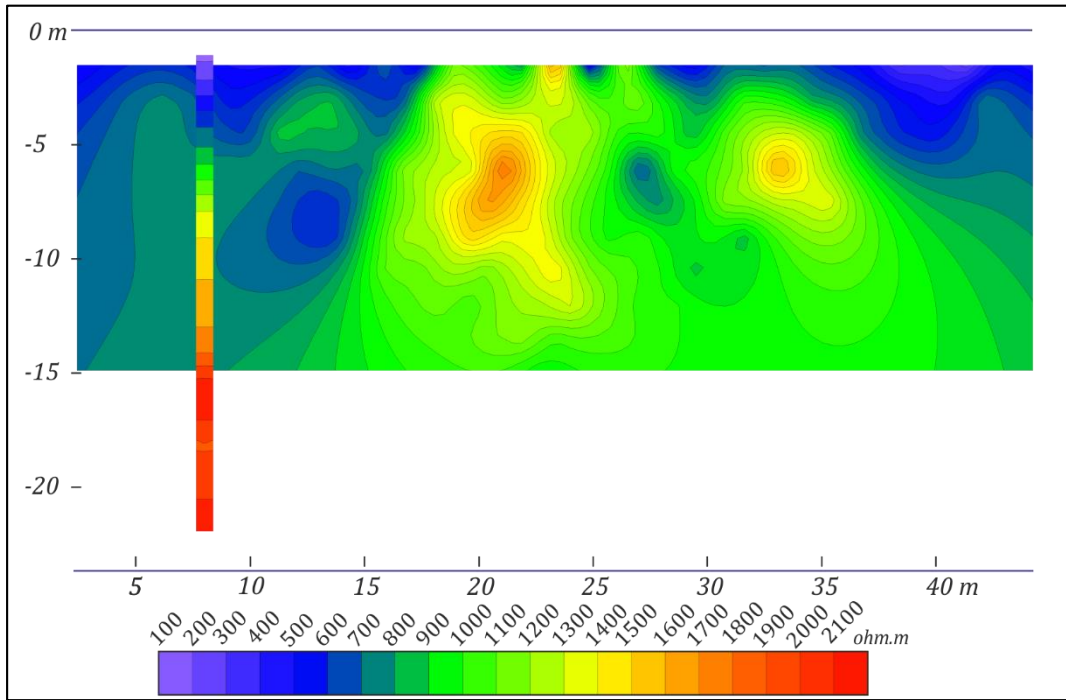
Çalışma alanındaki DES çalışması iki hattın kesişim noktasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin DES sonucu ile karşılaştırılması yine SURFER programı ile ortak lejanta alınarak gerçekleştirilmiştir. HAT 1 üzerindeki Wenner-Alpha (Şekil 4.71) ve Wenner-Schlumberger (Şekil 4.72) ölçümlerinde 10 metreye kadar uyumluluk gözlenirken, bu değer HAT 2 üzerindeki Wenner-Alpha (Şekil 4.73) ve Wenner-Schlumberger (Şekil 4.74) ölçümlerinde 5 metreye düşmektedir.



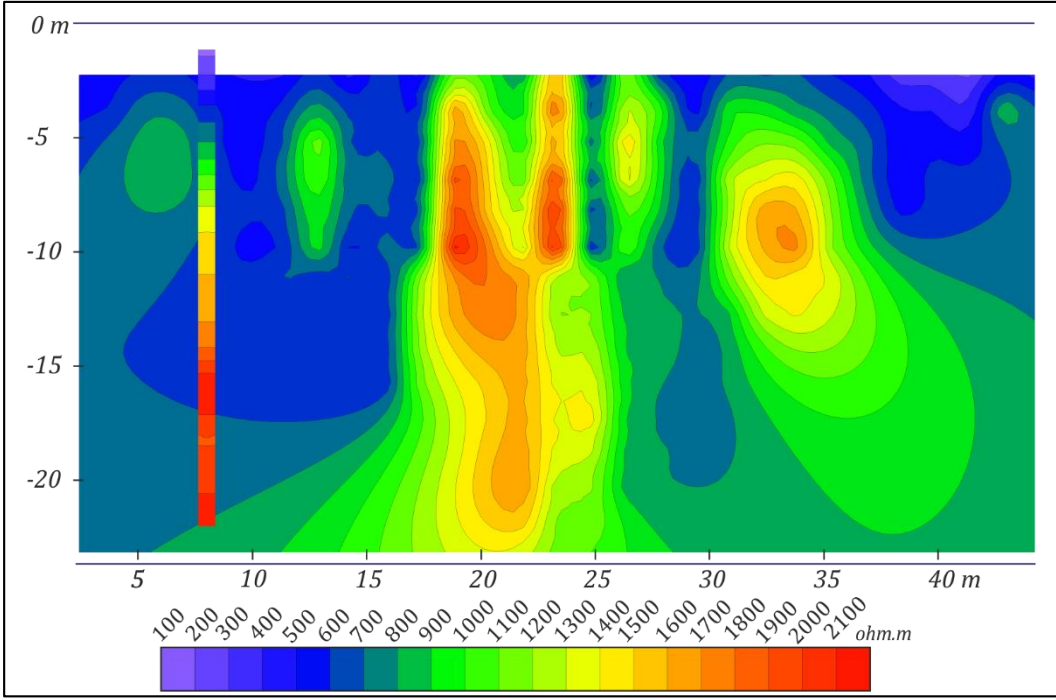
Şekil 4.71. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.72. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 1'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması



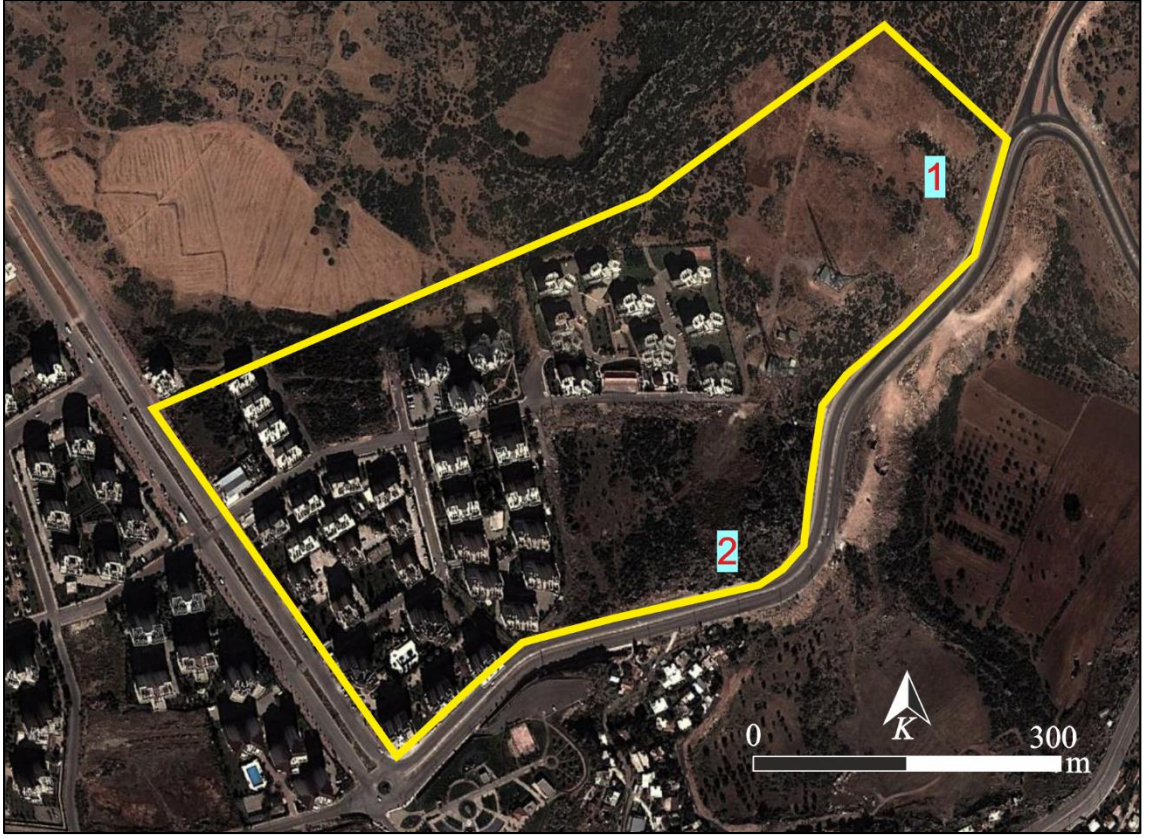
Şekil 4.73. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2'de gerçekleştirilen Wenner-Alpha ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.74. Kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesi HAT 2'de gerçekleştirilen Wenner-Schlumberger ve DES ölçüm sonuçlarının SURFER ile oluşturulmuş kesitlerinin karşılaştırılması

4.2. Kepez Bölgesi Çalışmaları

Antalya merkezinin kuzeyinde yer alan Kepez ilçesine bağlı Masa Dağı bölgesi, yerleşimin kısmen az olması, korelasyon çalışmaları için önemli olan topoğrafik enine kesitlerinin açık bir şekilde görünür olması sebebiyle çalışma alanlarından biri olarak seçilmiştir. Bölge karstik aktivite açısından önemli mostralar sunmaktadır. Masa Dağı bölgesinde 2 farklı alanda toplamda 4 çalışma gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.75).



Şekil 4.75. Masa Dağı alanındaki çalışma noktalarını gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

4.2.1. Masa Dağı 1 numaralı çalışma bölgesi

Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi (Şekil 4.76), açık topoğrafyası (Şekil 4.77) ile önemli bir çalışma bölgesi olarak göze çarpmaktadır. Bölgede yapılan çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmalarına ek olarak sadece düşey elektrik sondajı (DES) çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

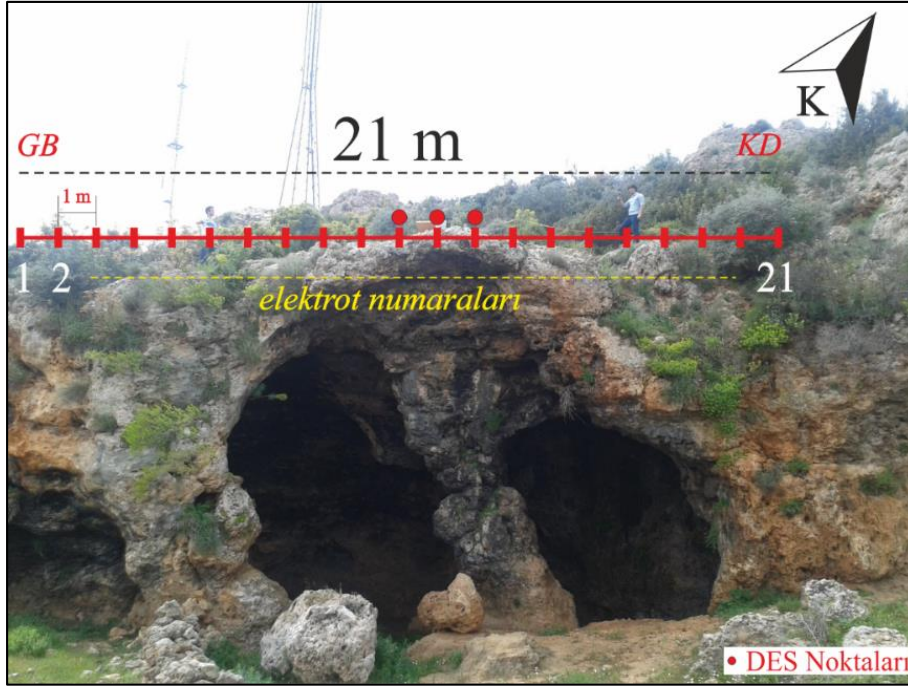
Bölgedeki çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları, GB-KD doğrultusunda, Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger yöntemleri kullanılarak bir hat üzerinde yapılmıştır. Çalışmada elektrot aralığı -alanın dar olması sebebiyle- 1 metre olarak seçilmiş ve 21 elektrot kullanılmıştır. Bu şekilde 21 metrelik serim yapılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.78).



Şekil 4.76. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

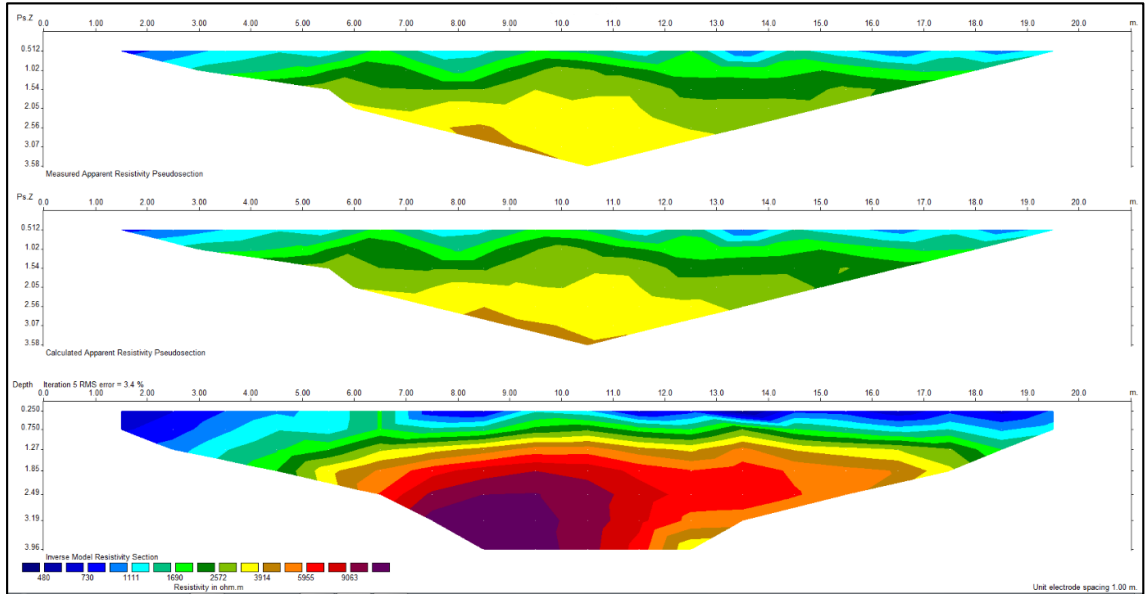


Şekil 4.77. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi arazi görünümü



Şekil 4.78. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışma hattı ve düşey elektrik sondajı çalışma noktası

Bölgede yapılan Wenner-Alpha ölçümü 69 veri noktasında ve 7 seviyede (n=7) gerçekleştirilmiş ve 3,58 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.79’da sunulmuştur.

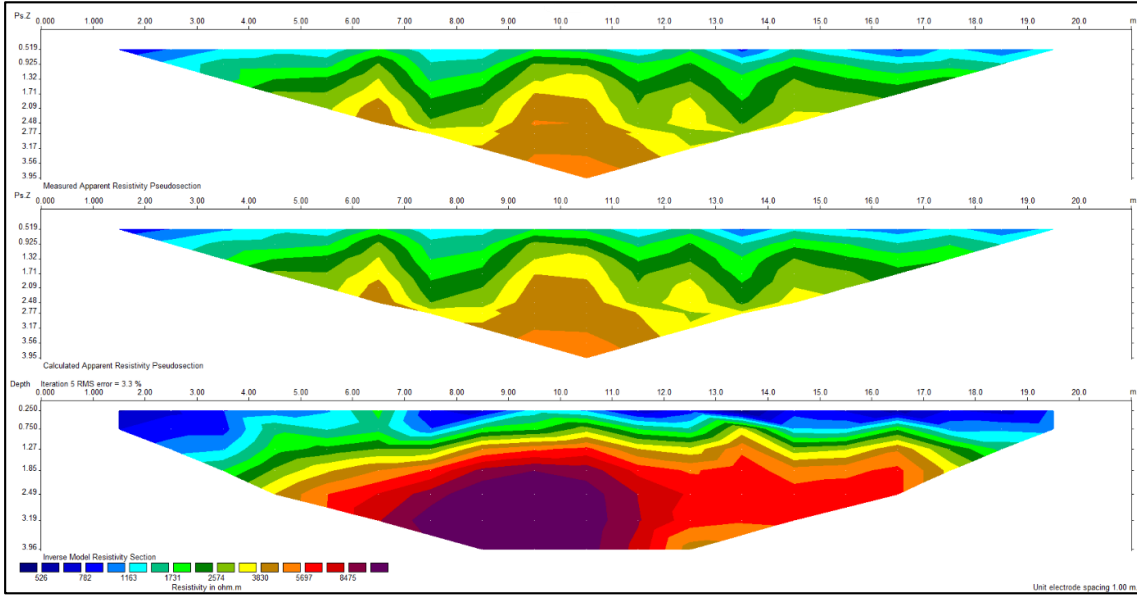


Şekil 4.79. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 7 seviyede 91 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 3,96 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm

ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %13,14 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %3,45'e düşürülmüştür.

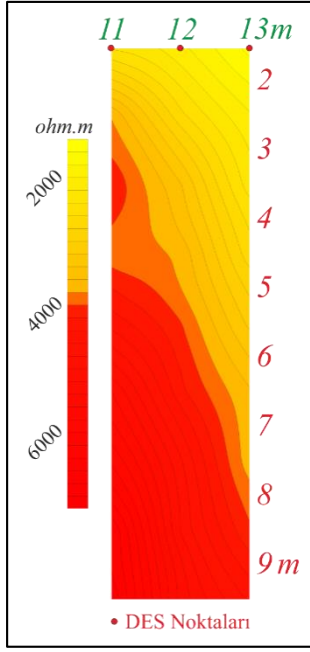
Bölgede yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü 100 veri noktasında ve 10 seviyede (n=10) gerçekleştirilmiş ve 3,95 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.80'de sunulmuştur.



Şekil 4.80. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

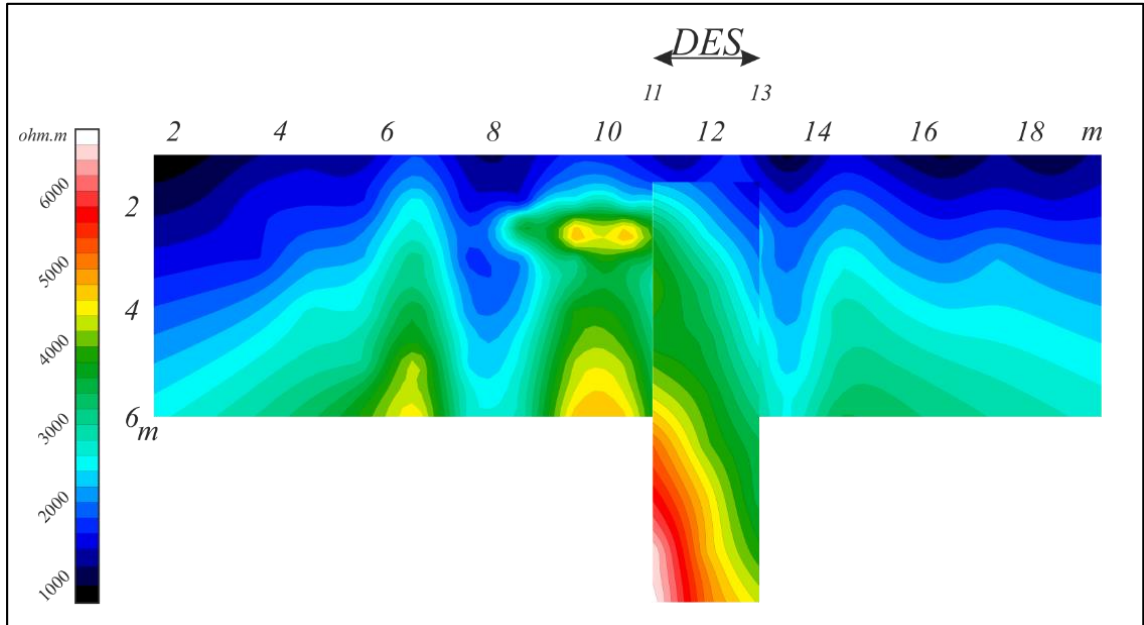
Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 7 seviyede 97 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 3,96 metre derinliğe kadar öz direnç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %14,53 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %3,30'a düşürülmüştür.

Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesindeki Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları incelendiğinde 9 m ve 13 m noktaları arasında yüksek elektrik öz direnç değerleri olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu değerleri ortalayacak biçimde 11 m, 12 m ve 13 m noktalarından (Bkz. Şekil 4.78) düşey elektrik sondajı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya ait ölçüm sonucu Şekil 4.81'de gösterilmiştir.



Şekil 4.81. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan DES ölçüm sonuçları

Şekil 4.81, DES verilerinin el ile çakıştırma yöntemi ile belirlenmesi ile bulunmuştur. Bu değerler çok elektrotlu öz direnç ölçümünde ölçülmüş (measured) değerlere karşılık gelmektedir. Bu iki ölçüm sonucunun lejant birlikteliğini sağlamak ve ölçüm yapılan noktalarda çakıştırma yapabilmek için, veriler SURFER programına aktarılmıştır (Şekil 4.82).



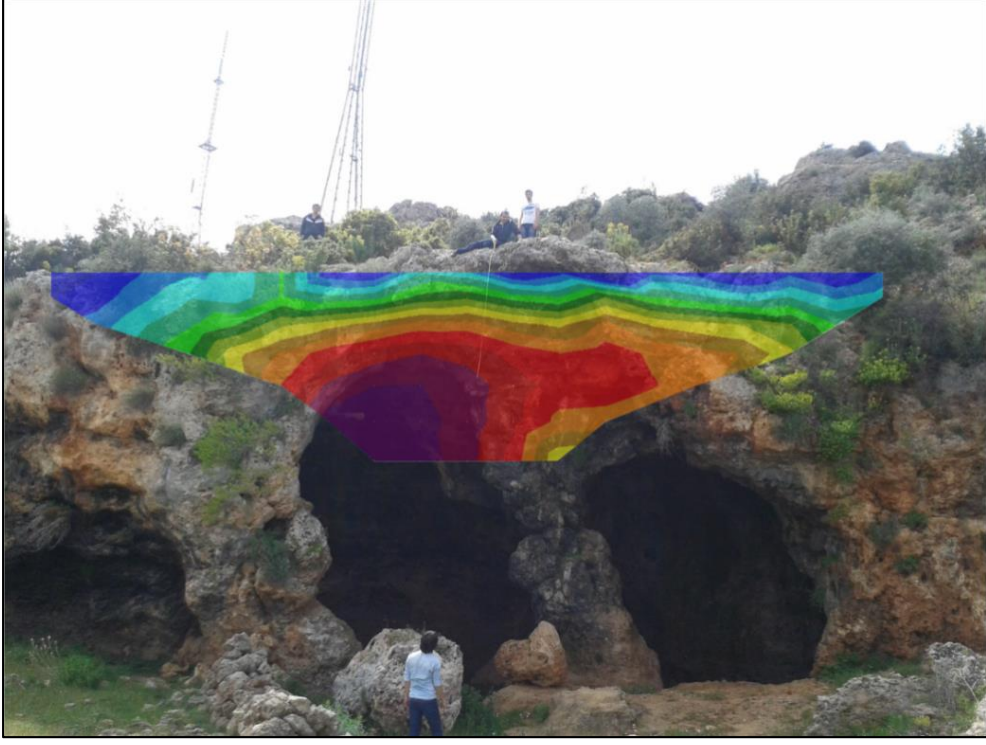
Şekil 4.82. DES ve çok elektrotlu ölçüm sonuçlarının SURFER programı ile çakıştırılması işlemi

DES verilerine topoğrafik kesit üzerinden bakıldığında da mağara içerisinde yer alan sütun yapının çok rahat bir şekilde gözlemlendiği, mağara kenarına gelindiğinde elektrik özdirenç değerinin yükseldiği görülmektedir.

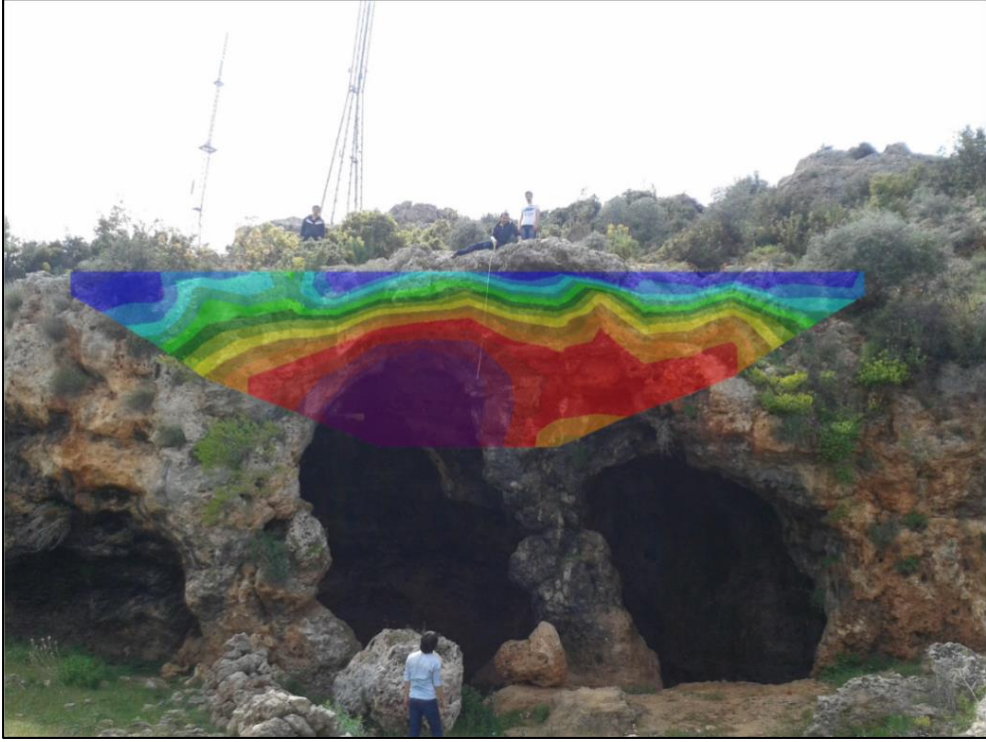


Şekil 4.83. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan DES ölçümü ve sonuçların topoğrafik kesit üzerinde görünümü

Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesi çok açık bir topoğrafik kesite (Bkz. Şekil 4.77) sahip olduğundan, DES verilerine gerek duyulmadan da ölçümün doğruluğu kontrol edilebilmektedir. Bunun için, bölgeye ait ölçüm sonuçlarının modellenmiş hali, topoğrafya ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.84 ve Şekil 4.85).



Şekil 4.84. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümü ve sonuçların topoğrafik kesit üzerinde görünümü



Şekil 4.85. Masa Dağı alanı 1 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü ve sonuçların topoğrafik kesit üzerinde görünümü

4.2.2. Masa Dağı 2 numaralı çalışma bölgesi

Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi (Şekil 4.86), tıpkı 1 numaralı çalışma bölgesi gibi açık topoğrafyası (Bkz. Şekil 4.77) ile göze çarpmaktadır (Şekil 4.87). Bölgede yapılan çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmalarına ek olarak yine sadece düşey elektrik sondajı (DES) çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.86. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesini gösteren uydu görüntüsü (25/10/2013 tarihli uydu fotoğrafı, Google Earth)

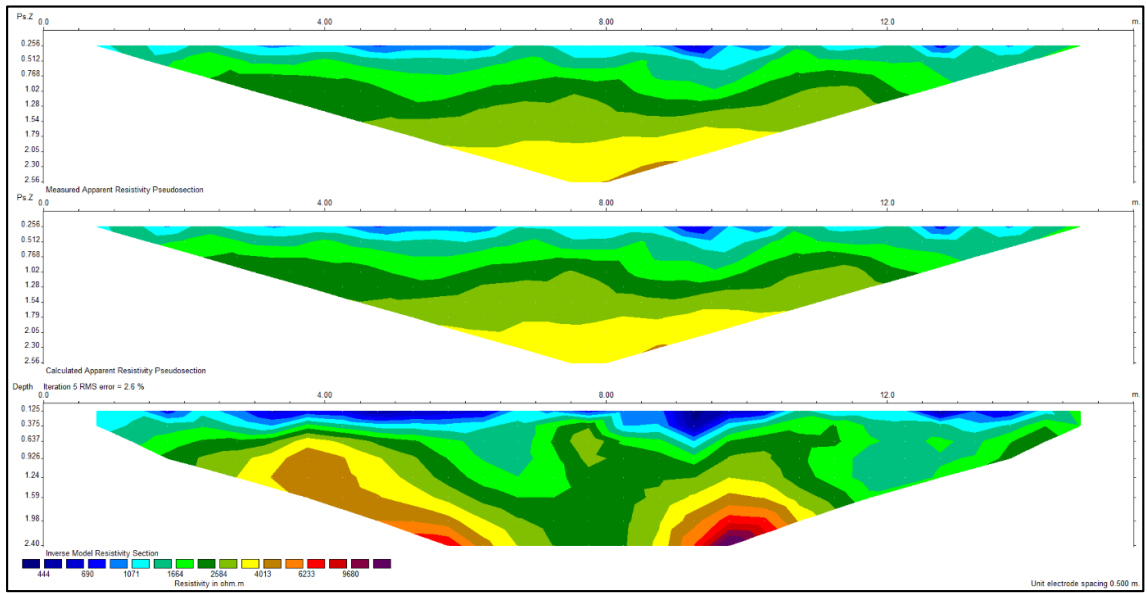


Şekil 4.87. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi arazi görünümü

Bölgedeki çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları, B-D doğrultusunda, Wenner-Alpha ve Wenner-Schlumberger yöntemleri kullanılarak bir hat üzerinde yapılmıştır. Çalışmada elektrot aralığı -alanın dar olması sebebiyle- 0,5 metre olarak seçilmiş ve 31 elektrot kullanılmıştır. Bu şekilde 15,5 metrelik serim yapılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Masa Dağı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 153 veri noktasında ve 10 seviyede (n=10) gerçekleştirilmiş ve 2,56 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.88’de sunulmuştur.

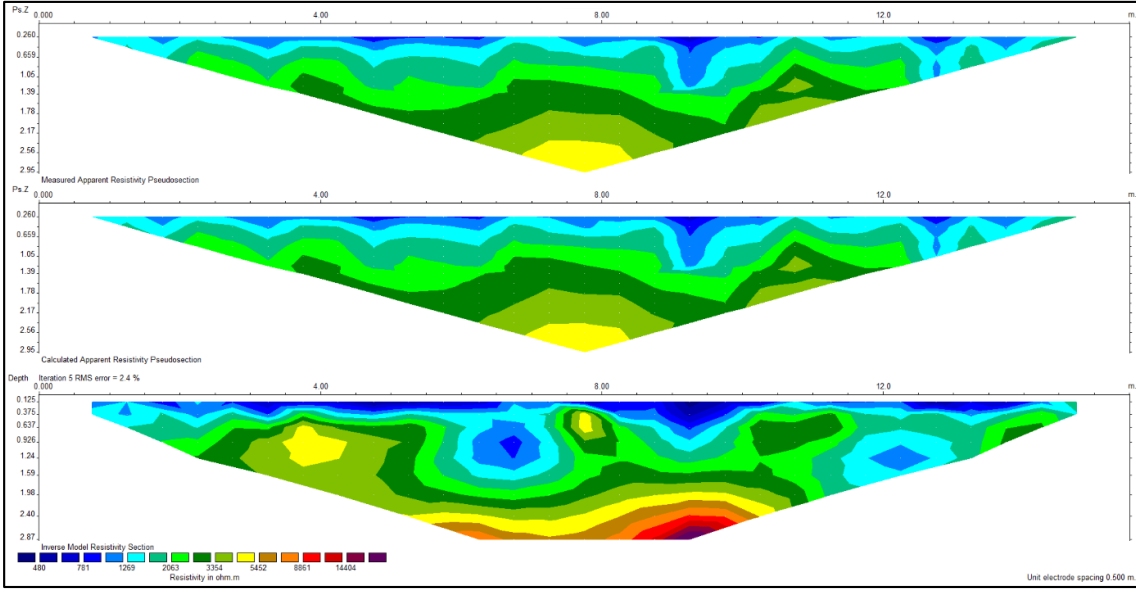
Masa Dağı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Alpha ölçümüne ait ters çözüm işlemi 8 seviyede 111 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 2,40 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %10,87 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %2,59’a düşürülmüştür.



Şekil 4.88. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Alpha ölçüm sonuçları

Masa Dağı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümü, RES2DINV programı kullanılarak ölçümlerin ardışımı işlemi ile 221 veri noktasında ve 15 seviyede (n=15) gerçekleştirilmiş ve 2,95 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Bu işlem ile elde edilen yalancı-kesit görüntüsü Şekil 4.89’da sunulmuştur.

Masa Dağı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan Wenner-Schlumberger ölçümüne ait ters çözüm işlemi 9 seviyede 185 blok modellenerek gerçekleştirilmiş ve 2,87 metre derinliğe kadar özdirenç değerleri alınmıştır. Ters çözüm ile elde edilen özdirenç kesit görüntüsü 5 yineleme sonucunda elde edilmiştir. İlk yinelemede %11,68 olan hata değeri dört yineleme daha yapılarak %2,41’e düşürülmüştür.



Şekil 4.89. Masa Dağı alanı 2 numaralı çalışma bölgesi Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Jeofizik yöntemler, jeolojik yöntemler için önemli bir yol gösterici olarak göze çarpmaktadır. Kimi zaman doğrudan numune alma işlemi, saha koşullarını sağlıklı bir şekilde tanımlama konusunda yeterli olamamaktadır. Bazı durumlarda ise geleneksel sondaj ve numune alma yöntemleri ile uygun olmayan arazilerden veri elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda jeofizik yöntemler, uygulanma kolaylığı sayesinde, arazi konusunda daha ayrıntılı bilgi vermektedir. Ayrıca, yeraltını çok iyi aydınlatan bir yöntem olan sondajlar için isabetli sondaj noktalarının belirlenmesi yine jeofizik yöntemler ile mümkün olabilmektedir. Yeraltındaki boşluklu yapıların saptanması işleminde jeofizik yöntemlerin önemi öne çıkmaktadır.

Bu veriler ışığında, jeolojik araştırmalar öncesinde önemli bir aşama olması, yeraltı boşluklarının tespitinde nicelik ve nitelik açısından sağlıklı sonuçlar sunması, zaman ve maliyet açısından önemli kazanç sağlaması sebebiyle gerek jeolojik araştırmalarda gerekse jeoteknik araştırmalarda jeofizik yöntemlerin kullanımının çok önemli olduğu görülmektedir.

Her ne kadar olumlu yönleri ile öne çıksalar da, arazi koşullarının jeofiziksel çalışmalar için uygun olması da bir zorunluluktur. Yağmur vb iklimsel olayların varlığında, özellikle elektrik özdirenç ölçümleri kullanılamamakta olup, sismik yöntemler de -gürültü oluşacağından- aynı şekilde hassas sonuçlar verememektedir. Elektrik özdirenç ölçümleri kuru zeminlerde, ıslak zeminlere göre daha zor gerçekleştiğinden, ölçüm yapılacak zeminin homojen bir şekilde nemli olması ölçümleri kolaylaştırmaktadır, bu arazilerdeki ölçümlerde sonuçların doğruluğu yükselmektedir.

6. SONUÇLAR

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı başta olmak üzere yapılan 2-boyutlu elektrik özdirenç çalışmalarının neticesinde bölgelerin yeraltı yakın yüzey profilleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı 1 numaralı çalışma bölgesi olan Gıda ARGE Binası çalışmalarında, 2-boyutlu elektrik özdirenç ölçümlerine ek olarak düşey elektrik sondajı verilerinden ve sismik ölçüm verilerinden faydalanılmıştır. Bölgede KD-GB ve GD-KB olmak üzere iki hat üzerinde ölçüm yapılmış, KD-GB hattında Wenner-Alpha ölçümleri sonucunda 48 m -72 m aralığında, Wenner-Schlumberger ölçümleri sonucunda 40 m – 76 m aralığında çevresine göre yüksek elektrik özdirenç ($\rho > 700 \Omega\text{m}$) gösteren noktalar tespit edilmiştir. Bu hattı, yüksek elektrik özdirenç gösteren kısımlardan kesen GD-KB hattında ise Wenner-Alpha ölçümleri sonucunda 8 m -60 m aralığında, Wenner-Schlumberger ölçümleri sonucunda 8 m – 56 m aralığında çevresine göre yüksek elektrik özdirenç ($\rho > 600 \Omega\text{m}$) gösteren noktalar tespit edilmiştir. Bu sayede yüksek elektrik özdirenç gösteren kısmın, bölgenin GD kesiminde kaldığı gözlenmiştir. Bu kesimde yapılan Broad-Side, çevresel ve yelpaze sismik ölçümleri ile yine bu bölgeye denk gelen sismik hız düşümleri gözlenmiştir.

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı 2 numaralı çalışma bölgesinde yapılan ölçümlerden elde edilen elektrik özdirenç değerlerinin 1 numaralı çalışma alanına göre daha yüksek olduğu ($\rho > 1800 \Omega\text{m}$) gözlenmiştir. Bu bölgedeki ölçümlerde serimin ilk 25 metresine kadar bu değerler görülmektedir. 3 metre derinlikte 5 metre kalınlık ile gözlenen bu değerler neticesinde, bölgede kısmen ayrılmış ve boşluk içerebilen kayaçların olabileceği tahmin edilmektedir.

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı 3 numaralı çalışma bölgesinde yapılan ölçümlerden elde edilen elektrik özdirenç değerleri 2 numaralı çalışma alanındaki değerler ile benzer özellikler sunmaktadır. Bu bölgedeki yüksek elektrik özdirenç değerleri ($\rho > 1600 \Omega\text{m}$) gösteren noktalar serimin ilk 42 metrelik alanına denk gelmekte, yine yaklaşık 3 metre derinlikte 10 metre kalınlık ile gözlenmektedir. Hacim olarak 2 numaralı çalışma alanından fazla hacme sahip olması, bu bölgedeki bozuşmanın daha fazla olduğunu belirtmektedir.

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı 4 numaralı çalışma bölgesinde, 3,7 metre derinlikte çok yüksek elektrik özdirenç değerleri ($\rho > 12000 \Omega\text{m}$) gözlenmiştir. Serim boyunca devam eden ve derinliği tespit edilemeyen bu alan için karstik aktivitenin yoğun olduğu gözlemine varılabilmektedir.

Akdeniz Üniversitesi kampüs alanı 5 numaralı çalışma bölgesinde iki hat üzerinde serim yapılmış K-G seriminde yüksek elektrik özdirenç ($\rho > 1000 \Omega\text{m}$) gözlenmiş, D-B seriminde ise çok yüksek elektrik özdirenç ($\rho > 4000 \Omega\text{m}$) değerleri görülmüştür. D-B seriminin 21 m ve 27 m aralığındaki bölümde bir sokulum gibi gözlenen yüksek elektrik özdirenç değerleri, kısmi bozulma olarak tarif edilebilmektedir.

Masa Dağı bölgesindeki ölçümlerde açık topoğrafik kesit avantajı kullanılmış, 1 numaralı çalışma bölgesinde çok yüksek elektrik özdirenç değeri ($\rho > 8000 \Omega\text{m}$)

gözenmiştir. Bu değerler topoğrafik anlamda karstik boşluğu tam anlamda ifade etmektedir. 2 numaralı çalışma alanı ise engebeli ve dar bir arazi olması sebebiyle uzun bir serilim gerçekleştirilememiştir. Yine de yüksek elektrik öz direnç ($\rho > 14000 \Omega m$) değeri ile mağara tavanı tespit edilebilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- AKAY, E., UYSAL, Ş., POISSON, A., CRAVATTE, J. ve MÜLLER, C. 1985. Antalya neojen havzasının stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 2, 26-29.
- AKTÜRK, Ö. and DOYURAN, V. 2012. Soil profile identification around Necatibey subway station (Ankara, Turkey), using electrical resistivity imaging (ERI). *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 4, 4, 1-14.
- ALTUNEL, E. 1996. Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri. *MTA Dergisi*, 118, 47-64.
- ASTM D6429-99. 1999. Standard guide for selecting surface geophysical methods. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- AYDAR, C. ve DUMONT, J.F. 1979. Antalya travertenlerinde görülen dizilimlerde elde edilen Landsat görüntüleri üzerinde yapılan gözlemler, neotektonik ve hidrojeoloji arasında olabilecek bağlantıların tartışılması. *MTA Dergisi*, 92, 131-134.
- BAŞOKUR, A.T. 2002. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters çözümleri. TMMOB, Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, No: 4, ISBN 975-395-505-7, Ankara.
- BLUMENTHAL, M. 1951. Batı Toroslarda Alanya ard ülkesinde jeolojik araştırmalar. *MTA Enstitüsü Yayınları*, Seri D, No: 2.
- CANDANSAYAR, M.E. and BAŞOKUR, A.T. 2001. Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two sided three-electrode data: Application to an archeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49, 1, 40-53.
- CLARE P. GLOVER and ALASTAIR H.F. ROBERTSON. 1998. Role of regional extension and uplift in the Plio-Pleistosen evolution of the Aksu basin, SW Turkey. *Journal of the Geological Society*, 155, 365-387, London.
- DANIELS, F. and ALBERTY, R.A. 1966. Physical Chemistry. John Wiley and Sons Inc.
- DAVIS, J.L. and ANNAN, A.P. 1989. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
- DECEUSTER, J., DELGRANCHE, J. and KAUFMANN, O. 2006. 2D cross-borehole resistivity tomographies below foundations as a tool to design proper remedial actions in covered karst. *Journal of Applied Geophysics*, 60, 68-86.
- deGROOT-HEDLIN, C. and CONSTABLE, S. 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional model from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.

- DİPOVA, N. 2005. Antalya tufa platosu üzerindeki zemin birimlerinin mühendislik özellikleri. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-25 Eylül 2005, Antalya, sayfa 54.
- DİPOVA, N. ve YILDIRIM, M. 2005. Antalya tufa platolarının oluşumu ve jeomorfolojik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29 (2), 53-69.
- DİPOVA, N. and DOYURAN, V. 2006a. Assessment of the collapse mechanism of tufa deposits. *Engineering Geology*, 83, 332-342.
- DİPOVA, N. and DOYURAN, V. 2006b, Characterization of the Antalya (Turkey) tufa deposits. *Carbonates and Evaporites*, 21, 2, 144-160.
- DİPOVA, N. ve CANGİR, B. 2011. Antalya ili yerleşim alanının depremselliğinin araştırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35, 2, 93-114.
- DRAHOR, M.G., GÖKTÜRKLER, G., BERGE, M.A. ve KURTULMUŞ, T.Ö. 2005. Bazı sığ yeraltı yapılarının özdirenç ters-çözümü. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 26, 2, 1-14.
- DSİ 1985, Antalya Kırkgöz Kaynakları ve Traverten Platosu Karst Hidrojeolojik Etüd Raporu. DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- FORD, T.D. and PEDLEY, H.M. 1996. A review of tufa and travertine deposits of the World. *Earth-Science Reviews*, 41, 117-175.
- GAUTAM, P., PANT, S.R. and ANDO, H. 2000. Mapping of subsurface karst structure with gamma ray and electrical resistivity profiles; a case study from Pokhara Valley, Central Nepal. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 97-110.
- GOOGLE EARTH. 2013. Version 7.1.2.2041. <http://earth.google.com>.
- GUNN, J. 2004. Encyclopedia of Caves and Karst Science, Taylor & Francis Books. Inc., New York, USA.
- GÜLDALI, N. 1976. Akseki Polyesi, Toroslar'ın karstik bölgelerindeki dağarası ovalarının oluşumu ve gelişimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 143-148.
- GÜNAY, Y., BÖLÜKBAŞI, S. ve YOLDEMİR, O. 1982. Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı. Türkiye 6. Petrol Kongresi Tebliğ, Nisan 1982, 91-101.
- HARİTA GENEL KOMUTANLIĞI. 2009. Erişim: 15 Mayıs 2013
http://www.hgk.msb.gov.tr/urunler/diger/il_ilce_alanlari.pdf
- INMAN, J.R. 1975. Resistivity inversion with ridge regression. *Geophysics*, 40, 798-817.
- INMAN, J.R., RYU, J. and WARD. S. H. 1973. Resistivity inversion. *Geophysics*, 38, 1088-1108.

- İNAN, N. 1980, Antalya travertenleri. MTA Enstitüsü, Derleme No. 7175, Ankara.
- İNAN, N. 1985, Antalya travertenlerinin oluşumu ve özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 24, 31-37.
- JOL, H. 2007. Erişim: 15 Ekim 2013. <http://www.uwec.edu/jolhm/Cave2007/CC2007.html>
- KALAFATÇIOĞLU, A. 1973. Antalya körfezi batı kısmının jeolojisi. *MTA Dergisi*, 81, 82-131.
- KARAGÜZEL, R. ve ÖZÇELİK, M. 1994. Antalya yerleşim merkezi 18L-19L paftaları mühendislik jeolojisi haritası. *Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi*, 15, 1-8.
- KEÇELİ, A. 2012. Uygulamalı Jeofizik. JFMO Eğitim Yayınları, No:18, Ankara.
- KELLER, G.V. and FRISCHKNECHT, F.C. 1966. Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press Inc., Oxford.
- KOÇYİĞİT, A. 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın dolayının levha içi yeni tektonik gelişimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 1.
- KOŞUN, E., SARIGÜL, A. ve VAROL, B. 2005. Antalya tufalarının litofasiyes özellikleri. *MTA Dergisi*, 130, 50-70.
- KRANJC, A. 2011. The origin and evolution of the term karst. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 567-570.
- LOKE, M.H. and BARKER, R.D. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1690.
- LOKE, M.H. 2004. Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys. Revised Copy. Geotomo Software, Malaysia.
- METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ. 2013. Erişim: 13 Mayıs 2013. <http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA>
- NOSSIN, J.J. 1989. SPOT stereo interpretation in karstic terrain, Southern Turkey. *ITC Journal*, 2.
- OKAY, A.I. and ÖZGÜL, N. 1984. HP/LT Metamorphism and the Structure of the Alanya Massif, Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (Edited by Dixon, J.A., Robertson, A.H.F.), London, Blackwell, 493s.
- OKAY, I.A. 1986. High pressure low temperature metamorphic rocks of Turkey. *Geological Society of America*, 164, 333-347.

- OLAYINKA, A.I. and YARAMANCI, U. 2000. Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 63-82.
- ÖZGÜL, N. and ARPAT, E. 1973. Structural units of the Taurus orogenic belt and their continuation in neighbouring region selection of papers on the Eastern Mediterranean region. 23rd Congress of CIESM in Athens, November 1972. *Bull. of the Geol. Soci. of Greece*, 10, 1, 156-164.
- ÖZGÜL, N. 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 1, 65-78.
- ÖZGÜL, N. 1984. Alanya window and geology of its western part. Türkiye Jeoloji Kurumu, Ketin Sempozyumu, 97-120.
- ÖZÜŞ, A.S. 1992. Antalya Traverten Platosunun Jeolojik, Hidrolojik, Hidrojeolojik, Hidrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, 180 s. (Yayımlanmamış).
- PALMER, D. 1980. The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK.
- PALMER, A.N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 1, 1-21.
- PALMER, D. 2000. Can new acquisition methods improve signal-to-noise ratios with seismic refraction techniques?. *Exploration Geophysics*, 31, 275-300.
- PEDLEY H.M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.
- POISSON, A. 1977. Recherches Geologique Dans Les Taurides Occidentales (Turquie). Thesis, Univ. Paris-Sud, Orsay, p.795 (Fransızca).
- RAMAKRISHNA, A.M. 2011. Characterization of karst terrain using electrical resistivity imaging technique. Geo-Frontiers 2011 Proceedings, 2514-2523.
- REDPATH, B.B. 1973. Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations.
- RES2DINV. 2004. 2D Resistivity and IP Inversion, Version 3.5.
- SASAKI, Y. 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40, 453-464.
- SKETCHUP MAKE. 2013. Version 13.0.4812.

- SMITH, N.C. and VOZOFF, K. 1984. Two-dimensional DC resistivity inversion for dipole-dipole data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 22, 21-28.
- SOWERS, G.F. 1996. Building on Sinkholes: Design and Construction of Foundations in Karst Terrain. ASCE Press, New York, 202p.
- STOKOE, K.H. and SANTAMARINA, J.C. 2002. Seismic-wave-based testing in geotechnical engineering, Special Lecturer, International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Australia, 50p.
- SURFER. 2011. Version 10.2.601.
- ŞENEL, M., SERDAROĞLU, M., KENGİL, R., ÜNVERDİ, M. ve GÖZLER, M.Z. 1981. Teke Torosları güneydoğusunun jeolojisi. *MTA Dergisi*, 95-96, 13-43.
- ŞENEL, M. ve GEDİK, İ. 1996. Isparta bükümü doğusunda otokton ve allokton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). *MTA Dergisi*, 118, 111-160.
- ŞENEL, M., 1997, MTA 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, 7-8, Ankara.
- TAKAHASHI, T. 2004. ISRM Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41, pp. 885-914.
- TELFORD, W.M. and GELDART, L.P., SHERIFF, R.E. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, New York.
- TRIPP, A.C., HOHMANN, G.W. and SWIFT JR.C.M. 1984. Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49, 1708-1707.
- TÜRKER, A.E., KEÇELİ, D.A., KAMACI, Z. ve KAYA, M.A. 1991. Antalya'nın zemin sorunları ve jeofizik yöntemlerle çözümleri. *Jeofizik*, 5, 27-42.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1995. Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations, Engineering Manual No. 1110-1-1802. Department of Army, U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, 202 p.
- VAN NOSTRAND, R.G. and COOK, K.L. 1966. Interpretation of Resistivity Data, US Geological Survey Paper 499.
- ZOHDY, A. 1974. Electrical Methods in US Geological Survey, Tech Water Resources Inv, Book 2, Chap D1.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih UÇAR 1984 yılında Soma'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. Eylül 2010 - Ağustos 2011 tarihleri arasında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapıyorken, Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı kapsamında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve Yüksek Lisans Eğitimine Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda devam etti. Ağustos 2011 yılından beri Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.