

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK
YÖNTEMLER İLE KARSTİK ALANLARDA
BOŞLUK YAPILARININ ARANMASI

Müge KARACA

Aralık, 2013

İZMİR

**JEOFİZİK ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK
YÖNTEMLER İLE KARSTİK ALANLARDA
BOŞLUK YAPILARININ ARANMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Müge KARACA

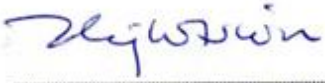
**Aralık, 2013
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MÜGE KARACA, tarafından ÖĞR. GÖR. DR. ÖZER AKDEMİR yönetiminde hazırlanan “JEOFİZİK ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLER İLE KARSTİK ALANLARDA BOŞLUK YAPILARININ ARANMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Öğr. Gör. Dr. Özer Akdemir

Yönetici


Prof. Dr. Tahir Kuluçon

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Mustafa Akçin

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimi hazırlama süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen, önerileri ile beni yönlendiren danışman hocam Öğr. Gör. Dr. Özer AKDEMİR'e, 2011-KB FEN.023 nolu DEÜ.BAP proje ekibine, juri üyeleri Prof. Dr. Talip GÜNGÖR ve Doç. Dr. Mustafa AKGÜN'e, mağaraların incelenmesi ve haritalanması çalışmalarında katkılarından dolayı üniversitemizin DAUM-KAG (Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi- Karst Araştırma Grubu) ekibindeki Tek. M. Fatih BÜYÜKTOPÇU'ya, ve arazi çalışmaları esnasında yardımcı olan Uzm. Zülfikar ERHAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Arazide ölçüm aşamasında yardımlarını ve hizmetlerini esirgemeyen arkadaşlarım başta Biyolog Ekin EVSEN ve Hasan Hüseyin ÖZÇİFTÇİ olmak üzere; Jeofizik Yüksek Mühendisi Hilmi DİNDAR'a, Jeoloji Mühendisi Emre ALTINTAŞ'a, Jeofizik Mühendisliği Bölümü 3. sınıf öğrencilerinden Recep DOĞAR'a ve 4. sınıf öğrencilerinden Ece SİVASLI'ya, Maden Mühendisi Mehmet Savaş BAKKALBAŞI'na, İnşaat Mühendisi İlker GÜR'e, Jeofizik Mühendisi Hazal BOSTANER ve Mesut GÜRLER'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca manevi desteklerinden dolayı Celal Bayar Üniversitesi Biyoloji Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Fatma KOÇBAŞ'a, Süleyman YETİM'e, arkadaşlarım Elif YAMAN, Betül GENÇ, Semra ÖZTÜRK, Özlem ŞERİFOĞLU ve Burcu TOKSOYLU'ya teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca daima yanımda olan aileme, tez hazırlama sürecindeki maddi ve manevi desteklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Müge KARACA

JEOFİZİK ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLER İLE KARSTİK ALANLARDA BOŞLUK YAPILARININ ARANMASI

ÖZ

Ülkemiz karstik araziler bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Karstik yapıların geometri ve boyutlarının belirlenmesi jeoteknik, speleolojik, arkeolojik, ve maden faaliyetleri açısından önemlidir. Jeofizik elektrik ve elektromanyetik yöntemler iletkenlik parametresine duyarlı olması nedeni ile karstik araziler gibi karmaşık jeoloji ve hidrojeolojiye sahip ortamlarda yürütülen çalışmalarda birinci sırada yer alır. Yüksek lisans tezi kapsamında karstik boşluklarının bu yöntemler kullanılarak araştırılması amaçlanmıştır. Arazi uygulamaları İzmir ve Isparta'daki çeşitli çalışma alanlarında elektrik, elektromanyetik ve manyetik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Özdirenç tomografi verileri Res2Dinv bilgisayar programı ile modellenerek ortam jeolojisini tanımlayan kesitler sonuç olarak verilmiştir. Karstik inceleme amacıyla yürütülen çalışmalarda özdirenç tomografi kesitlerinin seviyeler halinde incelenmesi yapıları tanımlama açısından daha uygundur. VLF-EM ölçümleri ile iletken ve yalıtkan yapı sınırlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Değerlendirme aşamasında Fraser ile Karous-Hjelt süzgeçleri kullanılarak yüzey ve eş seviye derinlik haritaları oluşturulmuştur. Manyetik verilerin içerdiği gürültüler süzgeçleme ile giderildikten sonra Geomodel programı ile değerlendirilmiştir. Yorumlama aşamasında uygulanan tüm yöntemler ilişkilendirilerek ortamı temsil eden model ve parametrelere ulaşılmıştır. Sonuç olarak; bu tip alanların karmaşık durumunu ortaya koymak için iletkenliğe duyarlı jeofizik elektrik ve elektromanyetik yöntem kesitleri ile jeolojik karst oluşumunu destekleyen bilgiler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Karstik boşluk, VLF-EM, özdirenç tomografi, Isparta, İzmir

INVESTIGATION OF CAVITY ON KARSTIC ZONES BY GEOPHYSICAL ELECTRICAL AND ELECTROMAGNETIC METHODS

ABSTRACT

Our country has rich potential in terms of karst terrain. The determination of geometry and dimensions of karstic structures is important with regards to geotechnical, archeological, speleological and mine activities. Due to be sensitive to conductivity parameter, geophysical electrical and electromagnetic methods take the first place in studies which are conducted in environment has complex geological and hydrogeological such as karstic areas. Investigation of karstic cavities using these methods are aimed within the scope of master's thesis. The field applications were conducted using electrical, electromagnetic and magnetic methods in different areas which in Izmir and Isparta. The resistivity tomography data were modelled with Res2Dinv computer program. The sections which are described geology of the media are given as a result. Analyzing of resistivity sections in levels is more appropriate in terms of defining structures in the studies conducted in order to review karstic structures. The delineation of the limits of conductive and non-conductive structure is aimed with VLF-EM measurements. In evaluation stage, surface and equivalent level of depth maps were formed using Fraser and Karous-Hjelt filters. After removing noises contained in magnetic data by filtering, data were evaluated with Geomodel program. In interpretation stage, model and parameters representing the environment has been reached by correlating applied methods. In conclusion, the information which is supported geological karstic formations were achieved to propound complex position of this type fields via sensitive to conductivity geophysical electrical and electromagnetic methods sections.

Keywords: Karstic cavity, VLF-EM, resistivity tomography, Izmir, Isparta

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	II
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	V
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

BÖLÜM İKİ - KARST HİDROJEOLOJİSİ ARAŞTIRMALARINDA UYGULANAN YÖNTEMLER.....5

2.1 Giriş	5
2.1.1 Dünyada Karstik Alanların Yayılımı.....	5
2.1.2 Türkiye’de Karstik Alanların Dağılışı	6
2.2 Karst Araştırma Yöntemleri	8
2.2.1 Hidrojeolojik Haritalama Çalışmaları.....	8
2.2.2 Jeomorfolojik Çalışmalar	9
2.2.3 Araştırma Sondajları	10
2.2.4 Yeraltı Suyu İzleme Deneyleri	10
2.2.5 Boya Seyreltme Yöntemleriyle Akım Ölçümleri	11
2.2.6 Hidrojeokimsiyal Çalışmalar	12
2.2.7 Mağara Araştırmaları.....	13
2.2.8 Çevresel İzotop Araştırmaları	14
2.2.9 Jeofizik Araştırma Yöntemleri	15
2.2.10 Uzaktan Algılama Çalışmaları.....	18

BÖLÜM ÜÇ - UYGULANAN YÖNTEMLERİN ÖZELİKLERİ 19

3.1 Çok Alçak Frekans Elektromanyetik Yöntem.....	19
3.1.1 Temel İlkeler.....	19
3.1.2 Ölçülen Büyüklükler.....	20
3.1.3 Verilerin sunumu ve değerlendirilmesi.....	21
3.1.3.1 Süzgeç hesaplamaları.....	21
3.2. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi	23
3.2.1 Giriş	23
3.2.2 Ölçü Sistemi.....	24
3.2.3 İki-Boyutlu Elektrik Özdirenç Yöntemi Çalışmaları.....	25
3.3. Manyetik Yöntem.....	27
3.3.1 Giriş	27
3.3.2 Yerkürenin Manyetik Alanı	28
3.3.3 Manyetometreler	30
3.3.4 Manyetik Alanın Ölçümü	30
3.3.5 Manyetik Ölçülerin Değerlendirilmesi	30
3.4 Kullanılan Yöntemlere Ait Karstik İnceleme Amaçlı Örnekler.....	31
BÖLÜM DÖRT - UYGULAMA BÖLGELERİ.....	44
4.1 Isparta İli Uygulama Bölgesi.....	44
4.1.1 Isparta'daki Çalışma Alanlarının Genel Jeolojisi	44
4.1.1.1 Bozburun şistleri	45
4.1.1.2 Gökdağ kireçtaşı	46
4.1.1.3 Kasımlar formasyonu.....	46
4.1.2 Çalışma Alanlarında Yapılan Jeofizik Uygulamalar	48
4.1.2.1 Düdenyayla Araştırma Alanı	48
4.1.2.1.1 Özdirenç Tomografi Yöntemi	49
4.1.2.1.2 VLF-EM Yöntemi	51
4.1.2.1.3 Manyetik Yöntem.....	59
4.1.2.2 Düden Alanı Çalışma Alanı	64
4.1.2.2.1 Özdirenç Tomografi Yöntemi	65
4.1.2.2.2 VLF-EM Yöntemi	67

4.2 İzmir İli Uygulama Bölgesi	72
4.2.1 İzmir'deki Çalışma Alanlarının Genel Jeolojisi	72
4.2.2 Çalışma Alanlarında Yapılan Jeofizik Uygulamalar	74
4.2.2.1 Dümbelek Mağarası Çalışma Alanı	74
4.2.2.1.1 Özdirenç Tomografi Yöntemi	75
4.2.2.1.2 VLF-EM Yöntemi	83
4.2.2.2 İncirli Mağarası Çalışma Alanı	90
4.2.2.2.1 Özdirenç Tomografi Yöntemi	91
4.2.2.2.2 VLF-EM Yöntemi	100
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR	109
KAYNAKLAR	116
EKLER.....	130

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye'deki karstik alanların dağılımı.....	7
Şekil 2.2 Jeofizik yöntemler ile tespiti ve ayırımı beklenen çeşitli yeraltı hedefleri.....	17
Şekil 2.3 Araştırılmak istenen hedefin doğası ve deneyime göre jeofizik yöntemlerin uygulanabilirliği	17
Şekil 3.1 VLF anteni ve oluşturduğu birincil alanın (H_p) ve ölçüm doğrultusunun şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.2 Fraser süzgeci.....	22
Şekil 3.3 Karous-Hjelt süzgeci.....	23
Şeki 3.4 Arazide ölçü sistemi A ve B elektrotları, M ve N gerilim elektrotları. Akım çizgileri noktalı çizgi ve buna bağlı dik gerilim çizgileri düz çizgi olarak çizilmiştir.....	24
Şekil 3.5 Çok kanallı öz direnç ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları a) iki-boyutlu öz direnç çalışması b) üç-boyutlu öz direnç çalışması.....	27
Şekil 3.6 (a) Yerküresi manyetik kuvvet hatları ve yer küresi manyetik alanı vektörel gösterimi (b) Kuzey yarım küresinde orta enlemde yerküresi manyetik alanı bileşenleri diyagramı.....	29
Şekil 3.7 (a) Sarıgerme motel alanındaki elektromanyetik toplam alan dağılımı, (b) çalışma alanındaki tilt açısı dağılımı ve (c) çalışma alanındaki gerçel bileşen dağılımı.....	31
Şekil 3.8 a) Doğu İrlanda Kildare eyaleti Maynooth bölgesindeki bilinmeyen çöküntü yapısını gösteren ait iki boyutlu öz direnç modeli b) İlk kesite (a) dik olacak şekilde aynı yapıyı resmeden iki boyutlu öz direnç modeli c) bilinen ve bilinmeyen mağara üzerinde gerçekleştirilen uygulamadaki iki boyutlu öz direnç modeli.....	32
Şekil 3.9 (,a) Kuzey İrlanda Tyrone eyaleti Cookstown yakınlarındaki paleokarst çöküntü yapısına ait kireçtaşı ve dolgu sedimanının manyetik suseptibilite çizimi (b) Aynı yapının manyetometre ölçüm sonuçları.....	33
Şekil 3.10 (a) Çalışma alanının toplam manyetik alan haritası, (b) çeşitli gürültü noktalarını kaldırdıktan sonraki toplam manyetik alan haritası , (c) çalışma alanının	

düşey manyetik gradyent haritası ve (d) gradyent operatörü kullanarak dönüştürülmüş toplam manyetik alan haritası	34
Şekil 3.11 Düşük manyetik özelliğe sahip ortamlardaki mağaraların oluşturabileceği sentetik manyetik anomali.....	35
Şekil 3.12 A-A' profiline ait residüel manyetik ve gravite ölçümleri (sol üst köşede), A-A'profilin Hever alanındaki residüel mikromanyetik haritasında gösterimi (sağda) ve alandaki düdenlerin resimleri (sağ alt ve sol alt köşede).....	35
Şekil 3.13 Zohar alanındaki çalışmaya ait 2 nT kontur aralıklı mikromanyetik haritası.....	36
Şekil 3.14 Dipole-Dipole dizilimi kullanılarak 1m elektrot aralığı ile toplanan ERT verisi: (a) Profil A-A', (b) Profil B-B', (c) Profil C-C'	37
Şekil 3.15 (a) Toplam alan manyetik anomali haritası, (b) Kutba indirgeme uygulanan anomali haritası, (c) yapma gravite anomali haritası ve (d) yapma gravite anomalisinin toplam yatay gradyenti	38
Şekil 3.16 1-4 profillerine ait iki boyutlu öz direnç modelleri	39
Şekil 3.17 5-8 profillerine ait iki boyutlu öz direnç modelleri.....	39
Şekil 3.18 Cheria havzasında Wenner dizilimi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaya ait verinin iki boyutlu ters çözüm sonucu.....	40
Şekil 3.19 ERT verisinin ters çözümü sonucu elde oluşturulan ve alanındaki birçok karstik özelliği resmeden model kesiti.....	41
Şekil 3.20 (a) Jeofizik araştırma profilleri haritası (b) Vico Goldoni (A-A'), Duca degli Abruzzi (B-B') ve M. Pagano (C-C') caddeleri boyunca gerçekleştirilen üç ERT kesiti.....	42
Şekil 3.21 GPR incelemelerine ait radargramlar (a) Vico Goldoni ve M. Pagano caddeleri, (b) Duca degli Abruzzi caddesi.....	42
Şekil 3.22 (a) Çalışma alanı, (b) mağara hatları ve yapısal özelliklerin gösterildiği topoğrafya haritası, (c) üç hatta ait ERT kesitleri, (d) mikrogravite incelemesi sonuçları.....	43
Şekil 4.1 Pınargözü mağarası ve kaynağı.....	44
Şekil 4.2 Bozburun şifitleri'nin arazi görüntüsü (Muslu Yayla).....	45
Şekil 4.3 Kasımlar formasyonu'nun ince katmanlı iç yapısını gösteren fotoğraf....	47

Şekil 4.4 Kasımlar formasyonu içinde bulunan kireçtaşı ve mercekleri (Melikler Yaylası).....	47
Şekil 4.5 Düdenyaylası mevkisine ait; (a) genel görüntü ve (b) düden ağzı fotoğrafı.....	48
Şekil 4.6 Düdenyayla Tomografi profilleri uydu görüntüsü.....	49
Şekil 4.7 Tom-1 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.....	50
Şekil 4.8 Tom-2 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.....	50
Şekil 4.9 Düdenyayla jeofizik VLF-EM yöntemi profilleri uydu görüntüsü.....	51
Şekil 4.10 23,4kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	52
Şekil 4.11 25kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	52
Şekil 4.12 26,7kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	53
Şekil 4.13 Frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.....	53
Şekil 4.14 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 23,4kHz (b) 25kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.....	54
Şekil 4.15 VLF-EM frekanslarına ait; (a) 23,4 kHz, (b) 25 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10- 20-30-40m eş-seviye derinlik haritaları.....	55
Şekil 4.16 K1 profilinde frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri.....	56
Şekil 4.17 K2 profilinde frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri.....	57
Şekil 4.18 Frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz K1 Profilinin Karous-Hjelt süzgeci sonucu elde edilmiş düşey kesitler.....	58
Şekil 4.19 Frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz K2 Profilinin Karous-Hjelt süzgeci sonucu elde edilmiş düşey kesitler.....	58
Şekil 4.20 Düdenyayla jeofizik manyetik yöntem profilleri uydu görüntüsü.....	59

Şekil 4.21 Man-1 profiline ait toplam manyetik alan değişimi.....	59
Şekil 4.22 Man-1 profiline ait manyetik gradient değişimi.....	60
Şekil 4.23 Man-2 profiline ait (a) toplam manyetik alan ve (b) manyetik gradient değişimleri.....	60
Şekil 4.24 Man-1 profili için beş boyulu kayan ortalama işlemi sonucu.....	61
Şekil 4.25 Man-2 profili için beş boyulu kayan ortalama işlemi sonucu.....	61
Şekil 4.26 Man-1 profiline ait (a) olası model ve (b) parametreleri.....	63
Şekil 4.27 Man-2 profiline ait (a) olası model ve (b) parametreleri.....	64
Şekil 4.28 Kurucuova yöresi Düden Alanına ait; (a) genel görüntü, (b) Düden ağzının yakın görüntüsü.....	65
Şekil 4.29 Kurucuova yöresi Düden Alanı'nda uygulanan jeofizik yöntemlere ait ölçüm profillerinin uydu görüntüsü.....	65
Şekil 4.30 Tom-1 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.....	66
Şekil 4.31 Tom-2 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.....	66
Şekil 4.32 18,1kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	68
Şekil 4.33 22,1kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	68
Şekil 4.34 23,4kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	69
Şekil 4.35 Frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,1kHz, (c) 23,4kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.....	69
Şekil 4.36 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,1kHz, (c) 23,4kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.....	70
Şekil 4.37 VLF-EM frekanslarına ait; (a) 18,1 kHz, (b) 22,1 kHz ve (c) 23,4 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları.....	71
Şekil 4.38 İzmir ve çevresinin jeoloji haritası (Baba ve diğer., 2001'den değiştirilerek).....	73

Şekil 4.39 İzmir çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Koca,1995'ten değiştirilerek).....	73
Şekil 4.40 Dümbelek mağarası; (a) çalışma alanı genel görünüm, (b) giriş ağzı.....	74
Şekil 4.41 Jeofizik ölçüm profilleri uydu görüntüsü.....	74
Şekil 4.42 Dümbelek Mağarası çalışma alanında gerçekleştirilen jeofizik uygulamalardan görüntüler.....	75
Şekil 4.43 Dum -1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.....	76
Şekil 4.44 Dum -1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 8 seviyeli ters çözüm kesiti.....	77
Şekil 4.45 Dum -1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.....	78
Şekil 4.46 Dum -2 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.....	79
Şekil 4.47 Dum -2 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 8 seviyeli ters çözüm kesiti.....	80
Şekil 4.48 Dum -2 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.....	81
Şekil 4.49 Dümbelek Mağarası geniş alanda 20,3kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntü.....	83
Şekil 4.50 20,3kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	84
Şekil 4.51 22,6kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	84
Şekil 4.52 26,7kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	85
Şekil 4.53 Dümbelek Mağarası geniş alanda frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.....	85
Şekil 4.54 Frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.....	86

Şekil 4.55 Dümbelek Mağarası geniş alanda Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.....	86
Şekil 4.56 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.....	87
Şekil 4.57 Dümbelek Mağarası VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları.....	88
Şekil 4.58 Dümbelek Mağarası daraltılmış alan VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10m eş-seviye derinlik haritaları.....	89
Şekil 4.59 İncirli mağarası; (a) çalışma alanı genel görünüm, (b) giriş ağzı.....	90
Şekil 4.60 Jeofizik ölçüm profilleri uydu görüntüsü.....	90
Şekil 4.61 İncirli Mağarası çalışma alanında gerçekleştirilen jeofizik uygulamalardan görüntümler.....	91
Şekil 4.62 İncir-1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.....	92
Şekil 4.63 İncir-1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 7 seviyeli ters çözüm kesiti.....	93
Şekil 4.64 İncir -1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.....	94
Şekil 4.65 İncir-1 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 15 seviyeli ters çözüm kesiti.....	95
Şekil 4.66 İncir-2 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.....	96
Şekil 4.67 İncir-2 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 8 seviyeli ters çözüm kesiti.....	97
Şekil 4.68 İncir-2 profiline ait ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.....	98
Şekil 4.69 İncirli Mağarası geniş alanda 20,3kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü....	101

Şekil 4.70 20,3kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	101
Şekil 4.71 22,6kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	102
Şekil 4.72 26,7kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.....	102
Şekil 4.73 İncirli Mağarası geniş alanda frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.....	103
Şekil 4.74 Frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.....	103
Şekil 4.75 İncirli Mağarası geniş alanda Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.....	104
Şekil 4.76 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.....	104
Şekil 4.77 İncirli mağarası VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları.....	105
Şekil 4.78 İncirli mağarası daraltılmış alan VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-9 m eş-seviye derinlik haritaları.....	106
Şekil 4.79 VLF-0 profilinde frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri.....	107
Şekil 4.80 Frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz VLF-0 Profilinin Karous-Hjelt süzgeci sonucu elde edilmiş düşey kesitler.....	108

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Türkiye karstik araziler bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Karstik gelişim için uygun çözünebilen kayaçlar ülkemizin 1/5'i gibi geniş bir alanı kaplamaktadır (Güldalı, 1971). Karstlaşmaya uygun bu tür çözünebilen kayaçlar Toros Dağları'nda daha yaygın olmak üzere Marmara Denizi'nin güney, Karadeniz'in batı ve orta kıyıları, Batı Anadolu ve Anadolu'nun doğu kesimlerinde geniş bir alanda yer alırlar. Güney Anadolu ve İç Anadolu haricindeki bölgelerde genelde litolojik koşulların olumsuzluğu nedeniyle, dağınık ve dar alanlı karst söz konusudur (Sür, 1994).

Su, atmosfer içerisinde yağmur olarak geçmesi sırasında bünyesine aldığı karbondioksitin çözünmesi sonucu karbonik aside dönüşür. Yağmurun, yeryüzüne ulaşması sonrasında topraktan süzülme aşamasında, bünyesine daha fazla karbondioksit alması sonucu daha yüksek bir asidite değerine ulaşması mümkündür. Sonuçta eriyebilen karbonat kayalara ulaşan asidik özellikli su, bu kayaçların süreksizlikleri boyunca çeperlerini eriterek genişletmeye başlar. Eriyebilen karbonatlı kayalar içerisinde bu şekilde kimyasal ayrışma ile oluşmuş değişik boyuttaki boşluklara karstik boşluk (karstik cavity) adı verilir. Karstik boşluklar genellikle fissür, çatlak, fay, tabaka yüzlerinde süreksizlikler boyunca gelişmektedirler (Yıldırım ve Göktaş, 2013). Boşluklar toprak veya su ile dolu olabilirler. Her iki durumda da civarına göre iyi bir fiziksel parametre farkı yaratırlar (Keçeli, 2009).

Karstik ortamların karmaşık jeolojik ve hidrojeolojik yapısı vardır. Bu yüzden böyle ortamlarda güncel araştırma teknikleri uygulanması gerekir. Karstik boşlukların sondaj aracılığıyla belirlenmesi pahalı, tehlikeli ve zaman alıcı olduğu için fiziksel parametre farkına dayanan jeofizik yöntemler ucuz maliyet ve hızlı veri sağlama özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Geçmişte yapılmış uygulamalar incelendiğinde elektrik ve elektromanyetik yöntemlerin bu tür alanlarda oldukça etkin olduğu ve diğer yöntemlere göre daha yaygın olarak kullanıldığı

görülmektedir. İlgilenilen problemin çözümü için jeofizik yöntemlerden hangisinin seçileceği son derece önemlidir. Elektrik öz direnç yönteminde amaç, yer içinin jeolojik yapısını, elektrik özelliğine (öz direnç) göre haritalamaktır. VLF yöntemi, yerin sığ bölgelerinde yatay yöndeki iletkenlik değişimlerinin saptanmasını sağlamaktadır. Manyetik yöntemin amacı ise kayaçların mıknatıslanma özelliklerine dayanarak farklı kayaçların belirlenmesidir.

Karstik boşluklar şehirleşme alanlarında tehlike oluşturabilirler. Bu nedenle çeşitli disiplinlerin yer aldığı çalışmalarla bunların boyutlarının ve konumlarının tespit edilmesi ve önlemler alınması gerekmektedir. Karstik özelliklerin yoğun olduğu bu tarz alanlardaki yapılarda çökme, oturma gibi olaylar meydana gelmemesi için yapı tasarımı öncesi karstik boşlukların araştırılması önemli bir konudur (Karaman ve Karadayılar, 2004; Park, Park, Yi, Rim, Cho ve Kim, 2010; Roth, Mackey, Mackey, ve Nyquist, 2002; Kaufmann ve Quinif, 2001; Zhou, Beck, ve Stephenson, 1999).

Aktif düdenlerin yer aldığı otoyol şantiyesindeki, (Ismail ve Anderson 2012), yol inşası aşamasında rastlanan karstik boşluklar (Farooq ve diğer., 2012) ve köprü temeli inşasında karşılaşılan karstik sorunlara yönelik yapılan çalışmalar (Cramer ve Hiltunen, 2003) geçmiş uygulama örneklerindedir.

Karstik bölgelerdeki su kaynakları ve dinamiği incelenerek yüksek potansiyelli hidroelektrik enerji üretim amaçlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Konomi ve Frasher, 1992; Kadioğlu ve Ulugergerli, 2004).

Karstik arazilerdeki baraj, tünel ve kanal gibi su yapılarının inşasında karstik boşlukların incelenmesi daha sonradan oluşabilecek olası sızıntı ve kaçakların önlenmesi bakımından çok önemlidir. Baraj yerinde ve baraj gölündeki kayaçların suda erimeleri, suya karşı hassas olmaları, şişme ve kabarmaları ya da ayrışmaları göl sularının havzadan sızmasına ve kaçmasına neden olur. Baraj göllerinde bulunan kayaçların erimesi, ayrışması ile baraj en son teknikle yapılmış olsa da baraj gölünde fazla miktarda kaçak olması sonucu su toplanmaz. Erime boşluklarının baraj (Kadioğlu ve Ulugergerli, 2004; Al-Zoubi ve diğer.,2007; Türkmen, Ozguler, Taga,

ve Karaoğullarından, 2002) ve tünellerde (Marinos, 2001) neden oldukları sorunlara yönelik örnek çalışmalardır.

Kartlaşma sonucu oluşan mağaralar doğal miras olarak kabul edilmektedir. Ülkenin sahip olduğu bu değerler araştırılmalı ve korunmalarına yönelik incelemelerde bulunulmalıdır. Karstik alanlardaki mağaraların uzanımlarını belirleme amaçlı birçok uygulama yapılmıştır (Quarto ve Schiavone, 2006; Balkaya, Göktürkler, Erhan, ve Ekinci, 2012; Gibson, Lyle, ve George, 2004; Leucci ve Giorgi, 2005).

Geçmişte yürütülmüş çalışmalar incelendiğinde bazı araştırmacıların tek yöntem kullandığı, diğerlerinin ise birden fazla yöntemin yer aldığı entegre çalışmayı tercih ettiği görülmektedir. İnceleme amaçlı Elektrik Rezistivite Tomografisi kullanan araştırmacılar için (Al-Zoubi ve diğ.,2007; Ismail ve Anderson, 2012; Farooq ve diğ., 2012; Roth ve diğ., 2002; Zhou ve diğ., 1999; Dunscomb ve Rehwoldt, 1999; Kaufmann ve Quinif, 2001, Roth ve Nyquist, 2003); Yer radarı (GPR) için (Al-fares, Bakalowicz, Guerin, ve Dukhan, 2002; Kadioğlu ve Ulugergerli, 2004; Quarto ve Schiavone, 2006; Prokhorenko, Ivashchuk, Korsun, ve Stefanyshyn, 2006; Anchuela, Casas-Sainz, Soriano, ve Pocovi-Juan, 2009; VLF için Coppo, Schnegg, ve Defago, 2006; Müller ve Stiefelhagen, 1979); mikrogravite için (Styles, McGrath, Thomas ve Cassidy, 2005) örnek verilebilir. Ayrıca, birden fazla yöntemi kullanan araştırmacılara örnek olarak, Elektrik özdirenç, Manyetik, Gravite (Konomi ve Frasher, 1992); Manyetik, VLF, Sismik kırılma (Armadillo, Massa, Caneva, Gambetta, ve Bozzo, 1998); VLF, SP, Doğru akım özdirenç (Danışman, 2003); Özdirenç Anizotropi, sismik kırılma tomografisi (Karaman ve Karadayılar, 2004); ERT ve GPR (El-Quady, Hafez, Abdalla, ve Ushijima, 2005; Leucci ve Giorgi, 2005); GPR, manyetometri ve gravimetri (Mochales ve diğ., 2008) ; ERT ve gravite (Park, Park, ve Kim, 2010); Manyetik ve ERT (Gibson ve diğ., 2004 ; Balkaya ve diğ., 2012); Manyetik rezonans sondaj (MRS) (Boucher, ve diğ.,2006); (VLF-EM GRAD), Radyo Frekans-Elektromanyetik (RF-EM), Radyo manyetotellürik (RMT), ERT ve sismik kırılma (Bosh ve Müller, 2005); ERT ve gamma-ray ölçümleri (Gauntam, Pant, ve Ando, 2000) verilebilir.

Karstik alanlarda görülen karstik şekillerin turizm, doğal soğuk hava depolamacılığı, hayvansal ürünlerin olgunlaştırılması-korunması, kültür mantarcılığı, solunum yolu hastalıkları tedavisi, yanıcı-patlayıcı ürün (sıvılaştırılmış gaz, doğal gaz, akaryakıt gibi) depolanması, askeri amaçla sığınak-korunak, guano (yarasa gübresi) üretimi, plaser mineral çıkarımı, sulama, içme, kullanma, tarım alanlarının sulanması, enerji üretimi ve inşaat sektöründe (portland çimento üretimini, kireç yapımı, mıcır üretimi gibi) kullanım alanları mevcuttur. Karstik alanlar, boksit ve barit gibi endüstriyel hammaddelere ayrıca metalik madenlerden gümüş, kurşun ve çinko gibi madenlere yataklık yapmaktadır. Bu alanlardaki yeraltı suyu havzalarının, kaynak sularının kirlenme ve koruma yöntemlerinin belirlenmesi ile yüzeye çıkarılması, bölgesel jeolojik, jeomorfolojik, hidrolojik, antropolojik ve paleoekolojik özelliklerin tespit edilmesi gerçekleştirilen bazı çalışmalardır. Bu alanların ortaya çıkarılması, korunması ve sürekliliğinin sağlanması çeşitleri meslek gruplarının yer aldığı bilimsel araştırmalarla mümkündür.

Bu çalışmada, karstik boşlukların tespiti amacıyla Isparta ve İzmir illerindeki çeşitli çalışma alanlarında ERT (Özdirenç Tomografi), VLF-EM (Çok düşük frekans Elektromanyetik) ve Manyetik Toplam Alan yöntemleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Özdirenç Tomografi verileri RES2DİNV bilgisayar programı kullanılarak değerlendirilmiştir. VLF-EM verilerine Fraser ve Karous Hjelt süzgeçleri uygulanmıştır. Manyetik veriler gürültülerden arındırmak için kayan ortalama ile süzgeçlenmiş ve daha sonra Geomodel programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu ortamı temsil edebilecek olası modellere ulaşılmıştır.

BÖLÜM İKİ

KARST HİDROJEOLOJİSİ ARAŞTIRMALARINDA UYGULANAN YÖNTEMLER

2.1 Giriş

Karst hidrojeolojisi; suda eriyebilen, genellikle kireçtaşı, dolomit gibi karbonatlı kayaçlar ile alçıtaşı ve kaya tuzu gibi evaporitik kayaçların tamamını veya bir kısmını içeren alanlarda yeraltı suyu dolaşımı ile litoloji birimleri arasındaki ilişkiyi araştıran bilim dalıdır.

Türkiye'nin yaklaşık üçte biri çözünebilir karbonatlı kayaçlarla kaplıdır. Bu kayaçlar ülkemizde geniş karst alanlarını oluşturur. Türkiye'deki karst alanları; hidroelektrik enerji üretimi, sulama, içme, kullanma ve endüstri suyu sağlanmasında kullanılacak önemli miktarda yüzey ve yeraltı suyu içerirler. Bu alanlarda mevcut yüzey suyunun tamamına yakını karst yeraltı suyundan beslenmektedir. Artmakta olan su ihtiyacı düşünüldüğünde karstik bölgelerdeki potansiyelin değerlendirilmesi, bu alanlarda yapılan sistematik çalışmalarla mümkündür.

Karstik bölgeler doğal alanların yanında; su depolaması, drenaj, hidroelektrik enerji üretimi amaçlı yapılarının inşasında farklı yaklaşımlar gerektirir. Türkiye'de birçok şehir merkezi ve tarım alanlarının ekonomisi karst yeraltı su kaynaklarına bağlıdır. İzmir ve Antalya şehirleri su ihtiyaçları çoğunlukla karstik kaynaklardan sağlamaktadır. Yine Akdeniz sahili boyunca tarım alanlarının sulanmasında karstik kaynak sularından geniş ölçüde yararlanılmaktadır (Günay, 1992).

2.1.1 Dünyada Karstik Alanların Yayılımı

Karstik alanlar, kabaca, dünyanın kara bölgelerinin (buzullar dışında) %12'sini kaplamaktadır. Karbonat kayaçları kuzey yarımkürede daha yaygın olarak bulunmaktadır. Dünya nüfusunun bir kısmı karbonat kayaçlarının kapladığı alanlarda

yaşamaktadır. Dünya nüfusunun %25'inin ise su ihtiyacının büyük oranda karst sularından karşılandığı tahmin edilmektedir.

Akdeniz havzasında yer alan ülkelerde ileri derecede gelişmiş karst yoğun olarak gözlenir. Öte yandan güney Amerika ve İskandinavya ülkelerinde karst ancak yerel öneme sahiptir. Avrupa kıtasında bulunan önemli karst alanları Yugoslavya (Dinar dağ Kuşağı), Yunanistan (Helen dağ Kuşağı), Türkiye (Toros dağ Kuşağı), İtalya (Apenin dağ Kuşağı), İspanya (Pirene dağ Kuşağı) ve Alplerde, Karpatlarda, Balkanlarda yer almaktadır. Bunun yanında, İsrail, Tunus ve Libya'da da karst oluşumları görülmektedir. Asya kıtasında Rusya ve özellikle Çin, karstın ileri derecede gelişmiş olduğu iki ülke durumundadır. Amerika kıtasında, Birleşik devletler ve Meksika körfezi bölgesinde yaygın karst bulunmaktadır. Okyanusya'da Yeni Zelanda ve Avustralya'da karst geniş alanlar kaplar.

2.1.2 Türkiye'de Karstik Alanların Dağılışı

İç ve Doğu Anadolu'nun belli kesimlerinde jipsli sahalar ve buralarda gelişmiş şekiller yer almakla beraber, Türkiye'nin asıl karstik alanlarını kalker arazileri oluşturmaktadır. Yaşı farklı olmakla beraber, kalker arazilere her bölgemizde rastlanır. Yapılan çalışmalarda birbirinden farklı rakamlar kullanılmakla beraber, ülkemizde karstik alanların oldukça geniş yayılıma sahip olduğu bilinmektedir (Şekil 2.1). Yalçınlar (1969) Türkiye'de Paleozoik kalkerli 121, Mezozoik kalkerli 174, Tersiyer kalkerli 27 dağ olduğunu bildirmektedir. Nazik (1989) ise ülkemizin 1/3'ünün erimeye uygun karbonatlı kayalardan meydana geldiğini ifade etmektedir. Atalay (1998), karstik sahaların Türkiye'nin yaklaşık 1/4 'ünü kapladığını belirtmektedir.

Türkiye'de karstik şekillerin yer aldığı alanlar Paleozoik, Mezozoik, Tersiyer ve Kuaterner (travertenler) arazilerine karşılık gelmektedir. Yine karstik sahalarımız bu jeolojik zamanların çeşitli devirlerine ait kalkerlerin yayılış alanlarına bağlı bulunmaktadır. Paleozoik içinde Permokarbonifer (Atalay, 1973); Mezozoik'te Trias (Doğan, 1996), Jura (Biricik, 1982; Doğan, 1996) ve Kretase (Akkuş 1991, Ardos

1996); Tersiyer’de Paleosen (Pekcan 1996), Eosen (Güldalı 1972, Biricik 1982); Miyosen’e (Atalay 1973, Nazik ve Güldalı, 1985, Doğu-Çiçek-Gürgen 1994) ait kalkerler başlıca karstik bölgeleri oluştururlar. Jipse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) bağlı karstik alanlar ise çoğunlukla Oligo-Miyosen yaşlı arazilere karşılık gelmekte olup (Alagöz 1967), Sivas (Hafik ve Zara ilçeleri arasında olduğu gibi), Çankırı ve Çorum (Sungurlu doğusunda olduğu gibi) çevrelerinde geniş yayılışa sahiptirler.



Şekil 2.1 Türkiye’deki karstik alanların dağılımı (<http://cografyabilimi.net/turkiyenin-jeomorfolojisi>).

Türkiye’de karstik alanlar hemen her bölgemizde bulunmakla beraber özellikle Batı ve Orta Toroslar başta olmak üzere Güney Anadolu’da daha geniş yer kaplarlar. İç Anadolu Bölgesi bu kuşağı takip eder. Ülkemizde karstik alanlar denilince ilk akla Toroslar gelmektedir. Bu kuşakta saf ve kalın tabakalar halinde, kireç oranı yüksek kalkerler geniş yayılış göstermektedir. Bölgedeki yükselti, tektonik özellikler, karstlaşmanın uzun zamandan beri devam etmesi sonucu karstik şekiller son derece çeşitli ve zengindir. Torosların ve Akdeniz Bölgesi’nin karstik alanları ile ilgili bu tespit gerçek olmakla beraber, son yıllarda yapılan ve yapılmakta olan çalışmalar diğer bölgelerimizin de eskiden sanılandan daha önemli karstik potansiyellerinin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu konuda Karadeniz Bölgesi örnek verilecek olursa, daha önce yapılan çalışmaların Türkiye’de karstik alanların yayılışı ile ilgili bölümlerinde (Alagöz 1944, Erinç 1960, Erinç 1971, Pekcan 1995) bu bölgemizden fazla bahsedilmediği görülmektedir. Her ne kadar kalker bu bölgemizde çok geniş yayılış göstermese de özellikle Paleozoik ve Mezozoik yaşlı arazilerde gelişmiş karstik alanlar dikkat çekicidir. Kıyı kuşağının nemli-ılıman iklim özellikleri

günümüzde de karstlaşmayı teşvik edecek niteliktedir. Kastamonu, Tokat, Gümüşhane, Zonguldak, Çorum çevresinde başta mağaralar olmak üzere, dolin, lapyra gibi şekillerle kaplı karstik alanlar önemli yer kaplamaktadırlar.

Ülkemizdeki karstik şekiller ve bunların yayılış alanları deniz kıyısından başlayıp 3000m'nin üzerindeki yükseltilere kadar çıkabilmektedir. Atalay (1973) Toros Dağları'nda 2500m'nin üzerinde dolinlerin, 3500m'nin üzerinde ise lapyaların yayılış gösterdiği karstik alanlardan bahsetmektedir.

2.2 Karst Araştırma Yöntemleri

Karst alanlarında yeraltı suyu dolaşımının karstik olmayan alanlarla kıyaslandığında oldukça heterojen ve karmaşık olması, bu alanlarda yürütülen çalışmalarda multidisipliner yaklaşımların uygulanması gerektiğini göstermiştir.

2.2.1 Hidrojeolojik Haritalama Çalışmaları

Hidrojeolojik haritalama çalışmaları, karst hidrojeolojisi araştırmalarının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu haritalar, bir karst havzasında elde edilen bilgileri kullanıcıya havza hakkında en fazla bilgiyi sağlayacak biçimde yansıtır. İyi bir karst hidrojeoloji haritası kullanıcıya akarsu drenaj ağı, karstik su noktaları, yüzey şekilleri (kaynaklar, estavellalar, mağaralar, düdenler vs.), yerel ve genel yeraltı akım yönleri hakkında güvenilir bilgiler sunmalıdır. Bölgesel jeolojik yapıların bilinmesi, bölgesel yeraltı suyu akımının ve dolayısıyla karst akiferlerin genel özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Türkiye'de karst araştırmalarının yoğun olarak yürütüldüğü Toros Dağları zinciri içinde yer alan karstik havzalar özellikle DSİ (Devlet Su İşleri) Genel Müdürlüğü, MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü, EİE (Elektrik İşleri Etüd) İdaresi Genel Müdürlüğü, Hacettepe Üniversitesi (HÜ) Karst Araştırma Merkezi ve Üniversitelerin ilgili bölümleri tarafından araştırılmaktadır. DSİ tarafından Birleşmiş Milletler Kalkınma Programının desteği ile yürütülen çalışmalar sonucunda Batı Toroslar'da 50.000km²'lik bir sahanın ve HÜ Karst Araştırma Merkezinin yürüttüğü çalışmalar ile Batı, Orta Toroslar'da Dalaman, Eşençay,

Antalya Traverten Platosu, Köprüçay, Ermenek ve Aşağı Zamantı havzalarını kapsayan 12.000km²'lik alanın ayrıntılı karst hidrojeolojisi haritaları hazırlanmıştır (Günay, 1992).

Konya'nın Karapınar ilçesi yakınlarında gerçekleştirilen bir çalışmada bölgenin hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Bölge çözünmeye son derece elverişli Bolcardağı Birliği'ne ait Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları ile Miyosen ve sonrası yaşlı birimlerden oluşmuştur. Konya havzasının iç havzaya dönüşmesinin nedeni iklimsel değişimler, obruklar veya obruk şekilli mağaralar kanalıyla meydana gelen ani su boşalmıdır. Çöküntü oluşabilecek olası alanların belirlenmesi için alanı en iyi temsil eden kuyulardan statik ve dinamik su seviyesi ölçümleri alınarak yeraltı su tablası haritası oluşturulmuştur (Yavuz, 2010).

2.2.2 Jeomorfolojik Çalışmalar

Jeomorfolojik yapı ile karstik akiferlerin oluşması arasındaki yakın ilişki, hidrojeolojik problemlerin çözümünde jeomorfolojik analizlerin büyük öneme sahip olduğunu göstermektedir. Morfolojik yapıların ayrıntılı değerlendirilmesi ile bir kısım hidrojeolojik problemlerin çözümüne yönelik ipuçları bulunmaktadır.

HÜ Karst Araştırma Merkezinin Köprüçay, Dalaman ve Aşağı Zamantı Havzalarında yürüttüğü araştırmalarda karşılaşılan bir kısım problemlerin çözümünde ayrıntılı jeomorfolojik analizler büyük yararlar sağlamıştır. Yukarı Eşençay Havzasında yürütülen bir araştırmada, karst yüzey şekillerinin gelişimi ile çizgisel unsurlar arasındaki ilişkinin belirlenmesinde jeomorfolojik analizlerden geniş ölçüde yararlanılmıştır (Günay, 1992).

Karstik alanlarda yapılan barajların hidrojeolojik açıdan yapılabirliklerine ilişkin çalışmalarda morfolojik özelliklerden nasıl yararlanıldığına dair örnek Kırklareli iline bağlı Kıyıköy'de yapılan Pabuçdere barajıdır. Yapıların projelendirilmesinde karşılaşılan sorunların aşılabilmesi yeraltı ve yüzey suyu arasındaki ilişkilerin doğru şekilde incelenmesini gerektirmektedir. Arazi çalışmalarından önce uzaktan algılama

ile havzanın morfolojik yapılarının değerlendirilmesi hem zaman hem de maliyet açısından yarar sağlamaktadır (Ekmekçi, 1998).

2.2.3 Araştırma Sondajları

Araştırma sondaj kuyuları, karst araştırmalarının özellikle su yapılarının fizibilite etütlerini kapsayan bölümünde kullanılan temel araçlardan biridir. Araştırma kuyuları genellikle, formasyonların hidrojeolojik ve jeolojik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılır. Araştırma kuyuları ile problemliler jeolojik yapıların aydınlatılması, yeraltı suyu düzeyi değişiminin, yeraltı suyu akım yönünün, karstik erime boşluklarının boyutlarının belirlenmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca kayaçların permeabilite ve su tutma kapasiteleri gibi konularda oldukça yararlı veriler elde edilmektedir.

Dağlık karst alanlarında yeraltı suyu akiferin oldukça derin kısımlarında yer almaktadır. Bu gibi alanlarda geçmişte yapılan su sondajlarından yeraltı suyunun oldukça derinde yer alması ve akiferin boşluklu bir yapıya sahip olması gibi nedenlerle istenilen verim sağlanamamaktaydı. Sondaj makine kapasitesinin yeterli olmamasından ya da sondaj dolaşım suyunun sürekli yenilenmesi gibi güçlüklerden kaynaklanan problemliler, su sondaj makinelerinde sağlanan gelişmelerle büyük oranda aşılmıştır. DSİ, MTA ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüklerinin temin ettiği sondaj makineleri ile 1500m'yi aşan derinliklerde sondaj yapılabilmekte, kuru sistemle çalışan makineler sayesinde sondaj dolaşım suyunun karstik boşluklara kaçması gibi problemlilerden etkilenilmemektedir (Günay, 1992).

2.2.4 Yeraltı Suyu İzleme Deneyleri

Karst araştırmalarında yerel ya da bölgesel yeraltı suyu akım yönünün ve yeraltı suyunun görünür hızının belirlenmesi amacıyla uygun koşulların mevcut olduğu durumlarda izleme deneylerinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla karst yeraltı suyuna uygun bir noktadan; örneğin bir düden ya da mağaradan, izleyici enjekte edilerek, beklenen akım yönü üzerinde yer alan karstik kaynaklardan söz konucu izleyicinin

çıkıp çıkmadığı araştırılır. Gözlem noktalarında enjekte edilen izleyicinin saptanması ile yerel ya da bölgesel karst yeraltı suyunu akım yönü belirlenmiş olur. Enjeksiyon ve gözlem zamanları arasındaki farktan ve bu noktalar arasındaki uzaklıktan yararlanılarak görünür yeraltı suyu akım hızının hesaplanması da mümkündür. Türkiye’de ilk boya izleme deneyleri EİE ve DSİ tarafından Batı Toroslarda yer alan Manavgat ve Beyşehir Gölü havzalarında yapılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Günay, 1992).

Bursa Orhangazi ilçesi su ihtiyacını Nadir kaynağı ve doğusunda Kaynarcadaki sondaj sularından karşılamaktadır. Kaynaklar mermerlerin üzerine düşen yağış suları ile doğrudan beslenmektedir. Bursa’da gerçekleştirilen bir çalışmada karstik yeraltı suyunun akım hızını ve kaynakların birbiri ile olan ilişkilerini belirlemek için fluoresein ile boya deneyi yapılmıştır (Canik ve Pasvanoğlu, 2002).

Antalya’da yapılan çalışmada Girdev Gölü ve Kazanpınarı Kaynağı arasında genellikle kireçtaşlarından oluşan allokton birimlerdeki yeraltı suyunun akım yönü ve hızı, Girdev Gölü suları ile ilişkisi, litolojik ve yapısal özellikler, yeraltı suyu dolaşımı araştırılmıştır. İzleme deneyi öncesinde yeraltı suyu kimyası araştırılmış, suyun kalsiyum ve bikarbonatlı olmasından dolayı fluoresein boya kullanılmıştır. Fluoresein boya deneyi ile yeraltı görünür akım hızı bulunmuştur (Çelik ve Unsal, 1996).

2.2.5 Boya Seyreltme Yöntemleriyle Akım Ölçümleri

Karst araştırmalarında başlıca inceleme konularından birisi de önemli karstik kaynakların verilerinin güvenilir bir biçimde ölçülmesidir. Toros karstı gibi dağlık morfolojinin baskın olduğu alanlarda, karstik boşalımların çoğu klasik ölçüm yöntemlerinin uygulanamadığı derin vadilerde yer almaktadır. Bu gibi alanlarda, boya seyreltme yöntemiyle söz konusu karstik boşalımların güvenilir biçimde ölçülmesi mümkün olmaktadır. Toros karst alanında, Oymapınar Baraj Gölünde 120m su yükü altında bulunan, ortalama 35 m³/s lik verdisiyle dünyanın tek gözeden boşalan en büyük karstik kaynağı olan Dumanlı kaynağının akımı Rhodamine WT

kullanılarak boya seyreltme deneyi ile güvenilir biçimde ölçülebilmektedir (Günay, 1992)

2.2.6 Hidrojeokimyasal Çalışmalar

Son yıllarda bölgesel karst yeraltı suyu araştırmaları içinde önemli bir yeri bulunan hidrojeokimyasal çalışmalar ile güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Karst yeraltı suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yüzeye çıktığı andan itibaren hızla değişmesi, karst akiferindeki kimyasal süreçlerin güvenilir bir biçimde tanımlanabilmesi için yerinde yapılan ölçüm ve analizlerin önemini arttırmaktadır. Sıcaklık, Ph, iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş oksijen, çözünmüş karbondioksit vb. parametrelerin ölçümlerinde kullanılan cihazların mevcut teknoloji ile hassaslıklarının artması, hidrokimyasal saha çalışmalarından daha güvenilir veriler sağlamıştır. Saha çalışmalarında elde edilen bu gelişmeler sonucunda; Toroslarda yürütülen karst araştırmalarında, farklı karst yeraltı suyu akım sistemlerinin ayırt edilmesine yönelik çalışmalarda tatminkar sonuçlara ulaşılmıştır (Günay, 1992).

Isparta ili Yenişarbademli ilçesinin kuzeyinde bulunan Anamas Dağları bölgesinde karstik akiferler ve birçok karstik kaynak boşalımları gözlenmektedir. Hidrojeokimyasal özelliklerin belirlenmesi amacıyla Anamas dağı kireçtaşlarından boşalan kaynaklardan su örnekleri alınarak incelenmiştir. Suların PH, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde değerleri ve anyon-kasyon trendleri irdelenmiştir (Davraz ve Şener, 2007).

Konya'nın Karapınar ilçesi yakınlarında gerçekleştirilen çalışmada bölgenin hidrokimyasal özelliklerini belirlemek için 72 noktada yapılan yerinde ölçüm değerlerine göre çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık dağılım ve özgül elektriksel iletkenlik haritaları hazırlanmıştır. 31 noktada alınan su örneklerinin major anyon-kasyon analizleri yapılarak Piper, Schoeller, ABD Tuzluluk ve Wilcox diyagramları değerlendirilmiş, suların kökeni, tipi ve sınıflaması yorumlanmıştır (Yavuz, 2010).

Akpınar karstik kaynakları (Manisa) ve çevresinde gerçekleştirilen çalışmada, bölgenin hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik değerleri belirlenmiş; çeşitli noktalardan su numuneleri alınarak bölgenin hidrokimyasal özellikleri ortaya konmuştur. Ayrıca çalışma alanındaki 27°deki su sıcaklığına dayanılarak jeotermal bir alan olma potansiyeli üzerinde durulmuştur (Gök, 2007).

Uşak ilinin Bonoz ilçesine bağlı Yukarı Karacahisar köyünde bulunan Çokrağan karstik kaynağı ve çevresinin hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek için araştırma yapılmıştır. Kaynak ve kaynak etrafından su numuneleri alınmış ve analizleri yapılmıştır. Su numunelerinin pH, elektrik iletkenlik, tuzluluk ve sıcaklık değerleri arazide ölçülmüştür. Analizi yapılan su numuneleri çeşitli Excel programları ile değerlendirilerek yorumlanmıştır (Baykara, 2007).

Isparta ve yakın çevresinde gerçekleşen bir çalışmada yerüstü ve yeraltı sularının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi için kaynak ve kuyulardan su örnekleri toplanmıştır. Örneklerin sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde miktarı, redoks potansiyeli, çözünmüş oksijen miktarı, alkalinite ve asidite testleri gibi in-situ analizleri yapılmıştır. Bunun yanında su örneklerinde anyon, katyon ve bazı eser elementler analizleri gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanındaki sular genel olarak Ca-Mg-HCO₃ ile Ca-HCO₃ tipi sular olarak sınıflandırılmış ve içilebilir sular olduğu ortaya konmuştur. Isparta ovası içerisindeki kaynak ve yeraltı sularına ait hidrojeokimyasal özellikler plajiyoklas, karbonat ve silikat ayrışmasını içeren su-kayaç etkileşimine işaret etmektedir (Demir, 2008).

2.2.7 Mağara Araştırmaları

Karst sistemlerinin iç yapılarının gözlenmesi konusunda mağara araştırmalarının büyük önemi vardır. Karst yeraltı suyu sistemindeki güncel akım koşullarının ve çözünme-çökelme süreçlerinin yerinde gözlenmesi sistemin yerel ve bölgesel özelliklerinin tanınması açısından değerli bilgiler sunmaktadır. Son yıllarda, mağara araştırma ekipmanlarının çeşitlenmesi ve daha güvenli malzemelerin üretilmesi sonucunda ülkemizde yürütülen mağara araştırmalarından daha ayrıntılı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Aşağı Zamanti Havzasında,

Aladağ ve Karanfıldağ yörelerinde bulunan Subatağı ve Sütlük mağaralarında -400m, Anamur Çukurpınar mağarasında -1040m'lik derinliklere inilebilmiş ve karst sisteminin bu derinliklerdeki fiziksel yapısı hakkında daha önceleri ulaşılamayan değerli bilgiler edinilmiştir (Günay, 1992).

Uşak ilinin Bonoz ilçesine bağlı Yukarı Karacahisar köyünde bulunan Çokrağan karstik kaynağının çıkış noktasında yer alan Çokrağan Mağarası, Dokuz Eylül Mağara Araştırma Topluluğu tarafından incelenmiş ve haritası yapılmıştır. Mağara içinde yapılan gözlemler ve mağara haritasının plan ve profil çizimleri incelenerek, bölgede meydana gelen tektonik hareketler ve buna bağlı olarak yeraltı su seviyelerindeki değişimler incelenmeye çalışılmıştır (Baykara, 2007).

2.2.8 Çevresel İzotop Araştırmaları

Karst araştırmalarında, karstik kaynaklar arasındaki ilişkilerin ve bunların beslenme alanlarının belirlenmesi amacıyla genel olarak çevresel izotoplar olarak adlandırılan Trityum, Oksijen-18, Döteryum ve Karbon-14 izotoplarından yararlanılmaktadır.

Çevresel izotopların Türkiye'deki karst araştırmalarında kullanılması 60'lı yıllarda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın desteği ile başlanmıştır. DSİ ve EİE tarafından geçmiş yıllarda yürütülen çevresel izotop araştırmalarının yanı sıra HÜ Karst Araştırmaları Merkezi'nce yürütülen çalışmalar sonucunda, Batı ve Orta Toroslar ile Doğu Torosların bir kısım havzalarında karşılaşılan hidrojeolojik problemlere çözümler getirilmiştir. Örneğin Konya Kapalı havzasında yürütülen Karbon-14 araştırması ile yeraltı suyu yaşı (12-16000 yıl) saptanmış, Antalya-Kırkgöz kaynaklarının beslenme mekanizması ve yeraltı suyu geçiş zamanı belirlenmiş, Aşağı Zamantı Havzasında farklı karst yeraltısuyu dolaşım sistemleri ayırt edilmiştir (Günay, 1992).

Isparta ili Yenişarbademli ilçesinin kuzeyinde bulunan Anamas dağları bölgesinde gerçekleştirilen hidrojeokimyasal çalışmada, kaynak sularının Oksijen-18 ve

Döteryum izotop analizleri değerlendirilmiş ve meteorik kökenli sular olduğu tespit edilmiştir. Kaynak sularının büyük bir çoğunluğu Dünya Meteorik Doğrusu ile çakışmakta iken bir kısmı Akdeniz kökenli yağışlardan da etkilenmiştir. Oksijen-18 izotopu ve su sıcaklığı ilişkisine göre, kaynak sularının neredeyse tamamının aynı karst sistemi içerisinde boşalan ve benzer dolaşım sular olduğu belirlenmiştir (Davraz ve Şener, 2007).

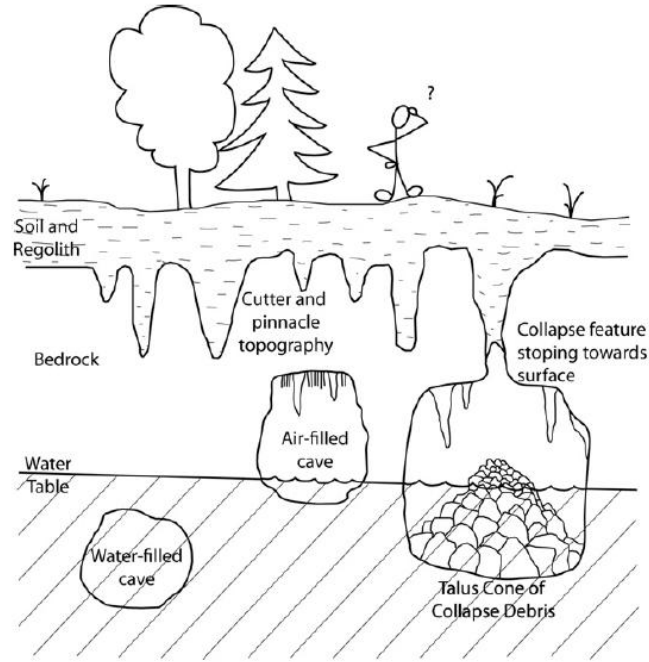
Isparta ve yakın çevresinde gerçekleşen diğer bir çalışmada yerüstü ve yeraltı sularının izotop incelenmesi yapılmıştır. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}O$ ve δD izotop oranları, genel olarak kıtasal meteorik su çizgisi üzerinde dağılım göstermekte olup buharlaşma etkisi altında olmayan atmosferik suları temsil etmektedir (Demir, 2008).

2.2.9 Jeofizik Araştırma Yöntemleri

Jeofizik yöntemlerin temel amacı karstlaşmış karbonatlı kayaçların doğrudan gözlenmesi mümkün olmayan kısımlarının dolaylı yollarla incelenmesidir. Jeofizik çalışmalar, karst araştırmalarında her zaman büyük öneme sahip olan süreksizlik zonlarının saptanmasını mümkün kılar. Bu süreksizlikler, tüm yeraltı boşluklarını ve kanalları, karstlaşmış zonları, tektonik kırıkları ve kaya kütlelerinin homojenliğini bozan tüm diğer yapıları içerir. Karst ortamında bu yapılar çoğunlukla yüksek permeabiliteye sahiptir ve porozite gibi jeohidrolojik karakteristiklerin belirlenmesinde de kullanılır. Jeofizik çalışmalarda ayırımı ve tespiti istenen çeşitli yeraltı hedefleri Şekil 2.2’de görülmektedir. Karstik boşluk tespiti çalışmalarında birinci sırada uygulanan jeofizik yöntemler olarak elektrik ve elektromanyetik yöntemler gelmektedir (Şekil 2.3). Ayrıca, kaliper, sıcaklık ve iletkenlik gibi loglar ile açılan araştırma kuyularında karst yeraltı suyunun derinlik boyunca davranışı hakkında da değerli bilgiler edinilir. Son yıllarda özellikle elektronik alanda sağlanan gelişmeler sonucunda, kuyu logu alımı aygıtları kolaylıkla taşınabilecek şekilde küçültülmüştür. Mevcut modern sistemler küçük arazi araçlarına monte edilerek kolaylıkla taşınabilmekte; bu durum Toroslar gibi dağlık alanlarda yürütülen karst araştırmalarında mobilizasyon kolaylığı sağlamaktadır.

Türkiye’de karstik alanlarda günümüze değin yürütülen araştırmalarda jeofizik yöntemlerden oldukça yararlanılmıştır. Antalya Traverten Platosu, Bıyıklı düdeni akım yollarının saptanması, Ovacık sahil kaynaklarına su taşıyan akım yollarının karaya doğru uzanımlarının incelenmesi, Keban Baraj gölündeki büyük karst boşluklarının derinlik ve yayılımlarının belirlenmesi gibi çalışmalarda jeofizik araştırmaların katkısı olmuştur.

Kuyularda rastlanan karstik boşlukların aranmasında son yıllarda kullanılan yöntemlerden birisi de kuyu içi kameralarıdır. Kuyu içi kamerası ile kullanıcı kamerayı kuyu boyunca istediği derinliğe indirerek, söz konusu erime boşluklarının ve sedimanların mevcut durumunu önünde bulunan görüntü ünitesinden anında inceleyebilir. Bu görüntülerin video kayıtları alınarak araştırmanın daha sonraki aşamalarında gereksinim duyulan ayrıntılı incelemeler yer ve zamanda bağımsız olarak yapılabilir. Kuyu kamerasının, kuyu duvarlarındaki erime boşluklarının gözlenmesi ve yerel jeolojik özelliklerin incelenmesi için uygun olmasına karşın; bu kameralar araştırma kuyularınca kesilen büyük mağaraların gözlenmesinde pek verimli değildirler. Kuyu kamerası kuyuda büyük bir boşluğa rastladığı zaman görüntü kalitesi bozulmakta ve bir metreyi aşan uzaklıklardan kaliteli görüntü alınamamaktadır. Bu problemin aşılması amacıyla büyük karst boşluklarının gözlenebilmesi için daha uygun olan yeni bir stereo-foto kamera yapılmıştır. Bu kameranın eskisinden üstün olan yanı daha güçlü flaş ışığına sahip olmasıdır. Kameranın istenilen yönde ayarlanması pusula ile kontrol edilir ve yüzeydeki kontrol aracından, uzaktan kumanda ile, her iki kameranın görüntü netlikleri ayarlanır. Kameranın, karstik boşluğunun derinliklerine indirilmesi sırasında her metrede ve her yönde stereo görüntülü 8 çekim yapılır. Türkiye’de kuyu televizyonu ve stereo kamera kullanılarak karstik boşlukların incelenmesine yönelik bazı çalışmalar DSİ tarafından Oymapınar Barajı’nda yürütölmüş ve yeraltı karstlaşması hakkında ayrıntılı bilgiler edinilmiştir (Günay, 1992).



Şekil 2.2 Jeofizik yöntemler ile tespiti ve ayrımı beklenen çeşitli yeraltı hedefleri (Ende, 2012).

Example Objectives	Seismic Refraction	Seismic Reflection	Ground Penetrating Radar	Electrical Resistivity	Electromagnetic Induction	Induced Polarization	Microgravity	Airborne Sensing	Magnetic Methods
Geologic mapping	①	①	①	①	①	②	②	②	②
Hydrogeology characteristics	①	②	①	①	①	③	②	③	na
Water table depth	①	②	②	①	①	③	na	②	na
Top of bedrock	①	①	③	①	①	③	②	③	na
Cavity detection	②	②	①	①	①	③	①	③	③
Disposal trench mapping	③	②	①	①	①	na	②	②	②
Nature of trench fill	③	na	①	①	①	?	①	na	①
Inorganic contaminant plume	na	na	①	①	①	①	na	②	na
Organic contaminant plume	na	na	②	?	?	?	na	②	na
Disposal container (metal drum)	na	na	①	②	①	③	③	na	①
Underground storage tanks	③	③	①	②	①	③	②	na	①
UXO detection	na	na	①	①	①	na	na	③	①
Coal "Void" Detection	2	1	2	2	2	3	1	3	3

KEY: ① = primary applicability; ② = secondary supporting applicability; ③ = limited applicability; na = no general applicability or not widely used; and ? = area of active research and rapidly evolving technology or questionable application.

(NRC 2002)

Şekil 2.3 Araştırılmak istenen hedefin doğası ve deneyime göre jeofizik yöntemlerin uygulanabilirliği (National Research Council (NRC), 2000 ve National Research Council (NRC), 2002).

2.2.10 Uzaktan Algılama Çalışmaları

Başlangıçta sadece askeri amaçlar doğrultusunda yoğun bir şekilde yürütülen uzaktan algılama çalışmaları, günümüzde özellikle bilimsel araştırmalar bazında (yerbilimleri, şehir plancılığı, tarımsal ürün rekolte hesapları, çevre kirlenmesi vb.) sivil amaçlı kullanımlara da hizmet sunmaya başlamıştır. Uzaktan algılama çalışmalarına temel oluşturan verilerin temininde kullanılan uydu sayısının ve alınan görüntü kalitesinin artması, bu verilerin işlenmesinde kullanılan bilgisayar sistemlerinin gelişimine bağlı olarak; uzaktan algılamaya dayalı bilimsel araştırmalarda son yıllarda bir artış olmuştur. Uzaktan algılama çalışmalarına temel oluşturan verilerin temininde kullanılan uydu sayısının ve alınan görüntü kalitesinin artması, bu verilerin işlenmesinde kullanılan bilgisayar sistemlerinin küçülmesi ve ucuzlamasının bir sonucu olarak; uzaktan algılamaya dayalı bilimsel araştırmalarda son yıllarda dikkate değer bir artış olmuştur.

Ülkemizde karst araştırmalarına destek sağlayan ilk uzaktan algılama çalışmaları Eğridir-Beyşehir Gölleri ile Akdeniz arasındaki alanda yapılmıştır. HÜ Karst Araştırma Merkezi tarafından Dalaman, Eşençay, Antalya Traverten Platosu, Köprüçay ve Aşağı Zamantı havzalarında yürütülen araştırmalarda da uzaktan algılama verilerinden geniş ölçüde yararlanılmıştır. Ayrıca, Torosların Akdeniz sahili boyunca yer alan Ovacık, Kaş-Kalkan, Köyceğiz ve Antalya Traverten Platosu gibi alanlarda denize olan karst yeraltı suyu boşalım noktalarının belirlenmesi çalışmalarında da uzaktan algılama verileri oldukça faydalı olmuştur (Günay, 1992).

Landsat 5 TM görüntüsünün termal bant çalışmasında, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti kıyılarında, denizin yüzeysel sıcaklık analizi yapılmış ve Koruçam burnu çevresinde yeraltı suyu çıkışları soğuk alanlar olarak belirlenmiştir. Deniz yüzeyine ulaşan yeraltı suyu çıkışları olarak yorumlanan bu alanların karayla olan ilişkisi araştırılmış ve bunların Sadrazamköy dolayında yayılım gösteren karbonatlı kayalar üzerinde Pleyistosen süresince gelişen paleokarstlaşmayla ilgili olabileceği anlaşılmıştır (Tüfekçi, 1998).

BÖLÜM ÜÇ

UYGULANAN YÖNTEMLERİN ÖZELLİKLERİ

3.1 Çok Alçak Frekans Elektromanyetik Yöntem

3.1.1 Temel İlkeler

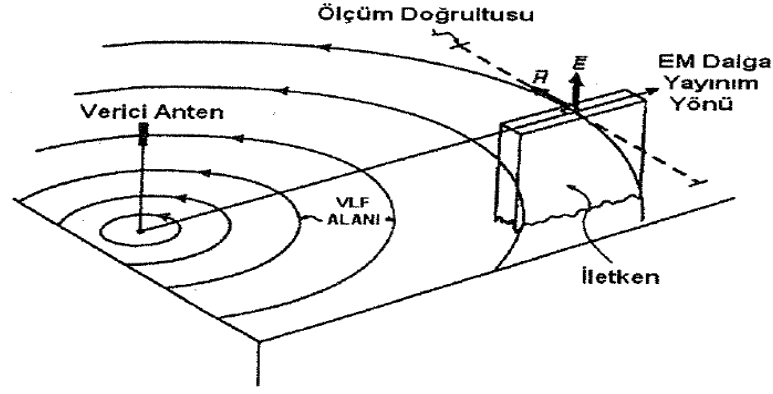
VLF-EM (Çok Alçak Frekans Elektromanyetik) yöntemi bağıl olarak yerin sığ kesimlerindeki özdirenç değişim ve dağılımlarının araştırılması amacıyla kullanılan bir jeofizik yöntemdir. VLF yönteminde, kaynak verici olarak dünyanın çeşitli yerlerinde deniz aşırı haberleşmeler için kurulmuş olan ve 15-30kHz frekans aralığında yayın yapan çok güçlü askeri radyo istasyonlarının yaydığı elektromanyetik alanlar kullanılır. Bu yöntemin yeni tasarım aygıtlarında frekans aralığı 10kHz'ten 2MHz'e kadar genişletilerek yerin en sığ bölgelerindeki elektrik iletkenlik dağılımına ait bilgiler elde edilmektedir. Bu yöntem RMT (Radio Magnetotelluric) olarak bilinmektedir. Gerek VLF, gerekse RMT yöntemi için isteğe bağıl olarak yapay verici kullanılabilir (Hayles ve Sinha, 1986).

Yöntemin çalışma esası, kaynak vericiden yayılan elektromanyetik alanların araştırma yapılan ölçü noktaları civarındaki süreksizlik veya iletken bölgelerde uyandırdıkları akımların (induced currents) bileşke yöneyinin yön ve şiddetini değiştirmesiyle elde edilen imlerin kaydedilmesidir. VLF vericileri, sabit duran ortalama 50-150m boyunda ve 100-1000kW gücünde dikey antenlerdir. Verici antenler yapı olarak bir ucu topraklanmış yüksek antenlerden oluşmaktadır ve düşey elektrik kutup (vertical electric dipole) gibi davranırlar. Vericilerde oluşan birincil manyetik alan (H_p) yatay yönde yayılmaktadır ve verici ile çalışma alanları arasındaki büyük uzaklıklar nedeniyle düzlem dalga (plane wave) olarak kabul edilerek tekdüze ve sabit düşünülebilir (Şekil 3.1). Bir radyo vericisinden yayılan elektromanyetik alan yeryüzü ile iyonosferin alt katmanı arasında yayılma ve/veya yansımadan sonra yeriçine yayılarak (difüzyon) orada içsel akımlar oluştururlar. Diğer elektromanyetik yöntemlerin de dayandığı fizik esasına bağıl olarak yeriçinde uyartılan akımların dağılımı ve oluşturduğu yeni elektromanyetik alanların (Şekil

3.1) kaydedilmesiyle yerin elektrik özellikleri saptanmaya çalışılır. Bu esnada seçime bağlı olarak oluşan elektromanyetik alanların manyetik alan bileşenleri VLF-R (VLF-Resistivity) ölçülerek yeraltına ilişkin dönüşüm denklemleri (transfer function) elde edilir ve bunlar yöntem ile elde edilen verilerin değerlendirilmesinin temel esasını oluştururlar. Özellikle son 10 yıldır yaygın biçimde tüm dünyada kullanılan VLF yöntemi, ölçüm için seçilen frekans ve ortamın öz direnç/iletkenliğine bağlı olarak yaklaşık 5-70m arasındaki sığ yapıların, düşey süreksizliklerin araştırılmasında kullanılmaktadır.

3.1.2 Ölçülen Büyüklükler

VLF yönteminde, kullanılan ölçüm cihazına bağlı olarak frekans bant aralığında seçilen bir veya birden fazla frekansta ölçüm almak mümkündür. En genel ölçülen büyüklükler, manyetik alanın düşey bileşeninin yatay bileşene oranı olan ve düzenek dönüşüm denklemi (system transfer function) olarak isimlendirilebilecek büyüklüğün (B_z/B_x) gerçel (real component) ve sanal bileşenidir (imaginary component). Bu büyüklükler yüzde (%) cinsinden birimsiz olarak ölçülür ve aynı zamanda manyetik kutuplanma elipsinin x ve z düzlemlerindeki eksenleridir. Gerçel bileşen ortamdaki birincil alanla aynı fazda olduğu için aynı fazlı “in-phase” (IP) ve sanal bileşen farklı fazda olduğu için “out-of-phase” (OP) veya “quadrature” isimleriyle bilinmektedir. VLF yönteminde ölçülen diğer büyüklük, dalganın eğim açısı (wave-tilt) ve toplam alan şiddetidir (total field, B_{total}). VLF-R durumunda ise ölçülen büyüklükler geleneksel manyetotellürik yönteminde olduğu gibi yatay manyetik alan ve elektrik alan bileşenleridir, buradan görünür öz direnç ve faz farkı hesaplanarak manyetotellürik yöntemdeki değerlendirme ve sunum teknikleri kullanılabilir.



Şekil 3.1 VLF anteni ve oluşturduğu birincil alanın (H_p) ve ölçüm doğrultusunun şematik gösterimi (Reynolds, 1997).

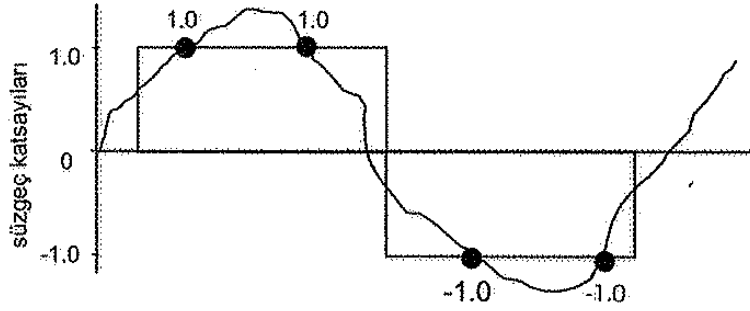
3.1.3 Verilerin sunumu ve değerlendirilmesi

VLF yönteminde genel olarak ölçülen gerçel (% in-phase, %IP) ve sanal bileşen (% out-of-phase, % OP) ölçüm doğrultuları boyunca grafik çizimi veya alansal verilerin eşdeğer (kontur) haritaları biçimindeki gösterimi yaygındır. Herhangi bir süzgeç uygulamadan verilerin bu şekilde gösterimi ile ölçüm yapılan alana ilişkin doğrudan nitel bir yorum elde etmek mümkündür. Yapılan araştırmaların çoğunda bir süzgeç uygulaması söz konusu olsa bile bu şekilde bir gösterim doğrudan bilgi vermesi açısından önemlidir.

3.1.3.1 Süzgeç hesaplamaları

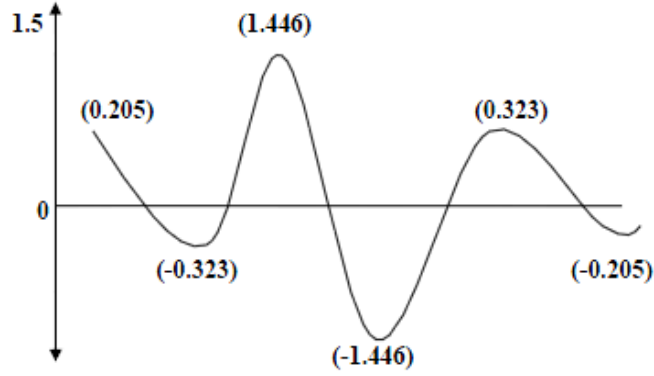
VLF verileri için yaygın olarak kullanılan Fraser süzgeci (Fraser, 1969), gerçel bileşen verilerinin band geçişli bir sayısal süzgeç ile araştırılmak istenen düzey iletken üzerinde bir en büyük değerin elde edilmesini amaçlamaktadır. Bu süzgecin katsayılar +1, +1, -1, -1 olarak verilmiştir (Şekil 3.2) ve bu süzgeçle veri 90° kaydırılarak yumuşatılmaktadır. Fraser süzgeci süzgeç şekli ile uyumlu belirtileri belirginleştirirken diğerlerini bastırmaktadır. Böylece geçiş noktaları ve bükülmeler tepeciklere dönüştürülerek konturlanabilir değerler elde edilmektedir. Fraser süzgeci, doğru akım etkisini kaldırarak ve uzun boylu dalga boylarını bastırarak bölgesel belirtilerin çözünürlüklerini artırır. Dolayısıyla süzgeç şekline benzeyen belirtiler

eksi değer alır, eşdeğer çizim haritalarında yalnızca artı değerler göz önüne alınır ve kullanılır.



Şekil 3.2 Fraser süzgeci (Fraser, 1969).

VLF vericileri uygulanabilecek bir başka sayısal süzgeç, Karous-Hjelt süzgecidir (Şekil 3.3) (Karous ve Hjelt, 1983). Bu süzgeçle manyetik alan bileşenleri bir derinlik değerine atanarak görünür bir akım yoğunluğu tanımlanmıştır. Karous-Hjelt süzgeci katsayıları, 0.205, 0.323, 1.446, -1.446, -0.323, -0.205 olarak uygulanmakla birlikte bu değerler normalize edilerek de kullanılmaktadır. Bu süzgeç ile aynı veri takımı farklı derinlikler için süzgeçlenerek eşdeğer akım yoğunluğunun derinlikle değişimi hakkında fikir elde edilebilmektedir. Yüksek eşdeğer akım yoğunluğu olan bölgeler iyi iletken bir yapının olduğu alanları göstermektedir. Bu süzgeç ile iletkenin dalımı da tahmin edilebilmektedir. İletken üzerinde sadece eş akım yoğunluğu dağılımının gerçel kısmı artı değerler almaktadır. İletkenin her iki yanında kalan eksi kısımlar genellikle süzgecin uzunluğundan veya akım toplanması nedeniyle akım yoğunluğunun azalmasından kaynaklanır. Bununla birlikte akım dağılımının sanal bileşen kısmı daha karmaşıktır. Bazı durumlarda artı ve eksi akımlar hemen hemen eőit büyüklüktedir ve sonuçta toplam akım yoğunluğu neredeyse sıfırdır. Artı ve eksi akımların değişim oranı, toplanan ve indüklenen akımlar arasındaki orana bağlıdır. Doğrusal süzgeçler kullanılarak yapılan ters çözüm sabit bir derinlikteki eş akım yoğunluğu dağılımını tüm bir belirti için açıklamaktadır.



Şekil 3.3 Karous-Hjelt süzgeci (Karous and Hjelt, 1983).

VLF verileri için yukarıda sözü edilen süzgeçlerden sonra ölçülen gerçel ve sanal bileşen verilerinin süzgeç yardımıyla dönüşümü ile bir görünür özdirenç tanımı Chouteau, Zhang, ve Chapellier, (1996) tarafından verilmiştir. VLF-EM yöntemine ilişkin son yıllarda birçok ölçüm süzgeçleme teknikleri, modelleme ve ters çözüm algoritmaları (Ogilvy ve Lee, 1991; Beanish, 1994; Beamish, 1998) geliştirilmiştir. Uygulamadaki kolaylığına uygun değerlendirme yöntemleri geliştirilmekle birlikte iki ve üç boyutlu modelleme hesapları uzun zaman aldığından yaygın kullanım alanı bulmamıştır. Ancak tüm jeofizik yöntemlerde olduğu gibi en az iki boyutlu modellemelerin yapılmasıyla elde edilecek sonuçların doğruya ve gerçeğe yakınlık sağlaması bu hesaplamaların yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.2 Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

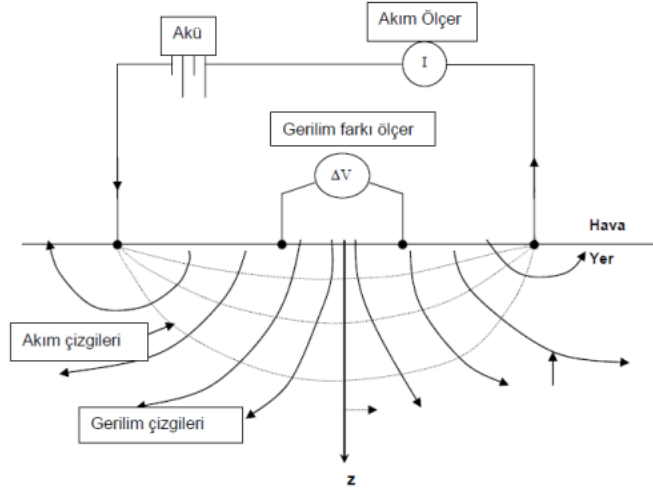
3.2.1 Giriş

Özdirenç (Resistivity) yöntemi olarak da bilinen Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi, arama jeofiziğinde kullanılan başlıca jeofizik yöntemlerdendir. Bu yöntemde amaç, yer içinin jeolojik yapısını, elektrik özelliğine (özdirenç) göre haritalamaktır. Yöntem, maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı, petrol aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır. Özellikle 1980'lerden itibaren, arkeolojik yapıların aranmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. DAÖ yöntemi; kuramı ile uygulmasının kolay olması,

ölçü aletinin basit olması ve etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin çok elektrotlu ölçü düzenekleri sayesinde, artık veriler çok daha hızlı toplanmakta ve ölçülen bu veriler iki-boyutlu (2-B) ve üç boyutlu (3-B) yorumlanmaktadır.

3.2.2 Ölçü Sistemi

DAÖ ölçü düzeneği Şekil 3.4'deki gibi gösterilebilir. Bu düzende, bir güç kaynağı (akü), bir akım ölçer (current meter) ve bir gerilim farkı ölçer (voltage meter) gereklidir. Burada, iki noktada yere çakılmış elektrotlar yardımı ile akım uygulanır (A ve B akım elektrotları) ve diğer iki noktada çakılmış elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (M ve N gerilim elektrotları). Kullanılan elektrotlar genelde paslanmaz çelikten yapılmıştır. Eskiden, gerilim elektrotları için bakır-sülfat çözelti fincanlar (Pot'lar) kullanılırdı. Günümüzde imal edilen ölçü aletleri, doğal kutuplaşma (self potential) etkisini giderecek şekilde imal edildiğinden gerilim elektrodu için de çelikten yapılmış elektrotlar kullanılır.



Şeki 3.4 Arazide ölçü sistemi A ve B elektrotları, M ve N gerilim elektrotları. Akım çizgileri noktalı çizgi ve buna bağlı dik gerilim çizgileri düz çizgi olarak çizilmiştir (Van Nostran ve Cook, 1966).

Burada A'dan (Source) yere verilen akım, yer içinden geçer ve B'ye (Sink) ulaşır. Bu akımdan dolayı, M ve N elektrotlarının arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen bu gerilim farkı, tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik

yapısına bağlıdır. Örneğin, akım elektrotları, iki taş arasına sıkıştırılırsa, akım geçmez ve M ve N arasında gerilim farkı oluşmaz (Candansayar, 2007).

3.2.3 İki-Boyutlu Elektrik Özdirenç Yöntemi Çalışmaları

Yeryüzünden yapılan elektrik özdirenç çalışmaları ile yeraltındaki özdirenç dağılımlarını belirlemek için değişik ölçüm teknikleri bulunmaktadır. Burada araştırma problemine bağlı olarak özdirenç değişiminin yeraltında hangi yönlerde incelenmesi temel olarak iki farklı ölçüm türünü ortaya çıkarmaktadır.

-Düşey Elektrik Sondajı (DES) çalışmaları (bir boyutta)

-Profil Ölçüsü (iki veya üç boyutta)

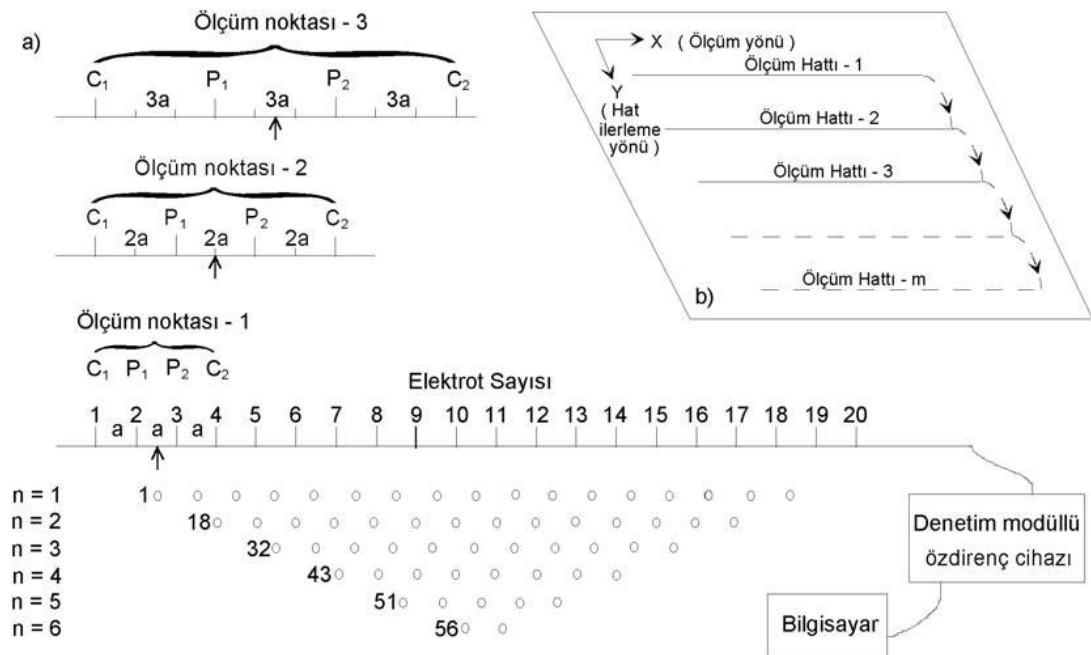
İlk olarak Wenner (1915) tarafından uygulanan elektrik özdirenç yöntemi, Schlumber (1920) tarafından geliştirilerek kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Burada yeraltının özdirenç değerinin derinlikle değişimi DES çalışmalarıyla incelenmekte ve geleneksel özdirenç eğrileri (Stefanescu, 1930) ile nitel yorumlamaları yapılmaktadır. 1970'li yıllarda bilgisayarların ve lineer filtre teorisinin gelişimi ile bilgisayar bazlı yorumlama teknikleri geliştirilmiştir (Ghosh, 1971). Bunu ise geliştirilen otomatik ters çözüm teknikleri izlemekte ve bir-boyutlu bu verilerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Johansen, 1977). Tek-kanallı özdirenç aletlerinin kullanıldığı ölçüm yönteminde, dizilimin orta noktası sabit tutularak, elektrotların aralıkları açılmakta ve orta nokta altının yeraltı görünür özdirenç değerleri derinliğe göre bir boyutlu olarak elde edilmektedir. Derinliğe göre olan bu değişimde özdirenç sadece bu yönde (z-yönü) değiştiği, diğer iki yönde (x- ve y- yönü) sabit kaldığı ve yeraltının yatay homojen katmanlardan oluştuğu varsayılmaktadır. Yeraltında özdirenç dağılımı üç yönde değişmektedir ve bir boyutta yapılan varsayım sonucu, diğer yöndeki değişimler, elde edilen görünür özdirenç değerlerini olumsuz etkilemektedir. Yine de yöntem bir-boyutlu yeraltı modelinin yaklaşık doğru olduğu yerde örneğin yeraltı su tablası gibi jeolojik ortamlar hakkında kullanışlı bilgi verebilmektedir.

Mühendislik ve çevresel çalışmalarda olduğu gibi yeraltı jeolojisi çok karmaşıktır ve öz direnç kısa mesafelerde çok hızlı değişir. Böylesi ortamlarda bir-boyutlu DES metodu başarılı olmamaktadır. İki-boyutlu modelde öz direnç değerleri hem yatay yönde (genellikle x- ölçüm yönü) hem de düşey yönde değişir, ama diğer yatay yönde (y-yönü) sabit kabul edilir. Daha gerçekçi bir model ise, öz direnç değerlerinin üç yönde de değiştiğini kabul edilerek yapılan üç-boyutlu modeldir. Öz direnç dağılımının iki- ve üç-boyutta gözlenebilmesi için arazi çalışmaları profil ölçüsü alınarak yapılır. Bu ölçüm yönteminde ise, ölçüm hattı boyunca ve istenen ölçüm aralıklarına bağlı olarak yerleştirilen çoklu elektrotlar ve bunlar arasında iletimi sağlayan çok kanallı kablo (32, 64 kanal sayısı gibi) ve bunların bağlandığı taşınabilir bir öz direnç aleti ve bilgisayar, ölçümün temel ekipmanlarıdır (Şekil 3.5a) (Overmeeren ve Ritsema, 1988; Griffiths, Turnbull ve Olayinka, 1990; Griffiths ve Barker, 1993; Dahlin ve Loke, 1998; Christensen ve Sorensen, 1998; Dahlin, 2001).

Şekil 3.5a'da 32 elektrotlu ve Wenner dizilimine göre alınan bir ölçüm sistemi gösterilmektedir. Buna göre Ölçüm noktası-1, elektrot aralıkları "a" olarak alınan, birinci ve dördüncü elektrotları yere akım veren akım elektrotları, ikinci ve üçüncü elektrotları ise potansiyeli ölçen elektrotlar olarak kullanılan ilk ölçümün düzenidir. Ölçülen bu ilk görünür öz direnç değerleri ikinci ve üçüncü elektrotlar arasına atanır. Daha sonra aynı işlem elektrotların bir kez ötelenmesiyle yeni ölçüm noktası için yinelenir ve diğer ölçümler profil sonuna kadar devam ettirilerek "n=1" derinlik seviyesine ait görünür öz direnç verileri toplanmış olur. Diğer derinlik seviyeleri içinse elektrot aralıkları "2a, 3a, ..., na" kadar açılarak görünür öz direnç verileri "n" seviye için toplanmaktadır. Tüm bu ölçüm noktaları için elektrot değişimleri bu amaç için geliştirilmiş çok kanallı öz direnç ölçüm aletindeki elektronik anahtarlama yoluyla sağlanmaktadır (Griffiths ve Berker, 1993).

Tek hat üzerinde yapılan iki-boyutlu ölçümün "m" kadar hat üzerinde tekrarlanması ile ortama ait görünür öz direncinin üçüncü boyuttaki değişimin haritalanması ve hacimsel görüntülerin oluşturulması sağlanabilir (Şekil 3.5b) (Drahor ve diğer., 2004).

Alınan ölçüm değerleri iki-boyutlu olarak çizdirilmek istendiğinde ise yapma-kesit (pseudo-section) konturlama metodu kullanılmaktadır. Çizim noktasının düşey pozisyonunun yerinin belirlenmesi kullanılan elektrot dizilimine bağlı olarak etkin araştırma derinliği (Edwards, 1977) veya yapma-derinlik (Z_e) kavramıyla yerine getirilir. Bu yapma-derinlik değeri homojen bir yarı-uzay için duyarlılık değerleri veya Frechet türevlerini baz almaktadır. Böylelikle tüm ölçüm noktaları, görünür özdirenç değerlerinden oluşan, düşey eksenini yapma-derinlik, yatay eksenini ölçüm yönü (uzaklık) olan iki-boyutlu bir görünür özdirenç yapma-kesitinde gösterilebilir.



Şekil 3.5 Çok kanallı özdirenç ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları a) iki-boyutlu özdirenç çalışması b) üç-boyutlu özdirenç çalışması (Griffiths ve Berker, 1993).

3.3 Manyetik Yöntem

3.3.1 Giriş

Manyetizma fikri 1600 yılında fizikçi William Gilbert'in yayınladığı De Magnete kitabında yer manyetik alanının farklı noktalarında farklı yönlenmesi tanımı ile başlamıştır. Manyetik yöntem ilk olarak 1640 yılında İsveç'te demir maden yatağı üzerinde uygulanmaya başlanmıştır. 1870 yılında manyetometre uygulamalarıyla

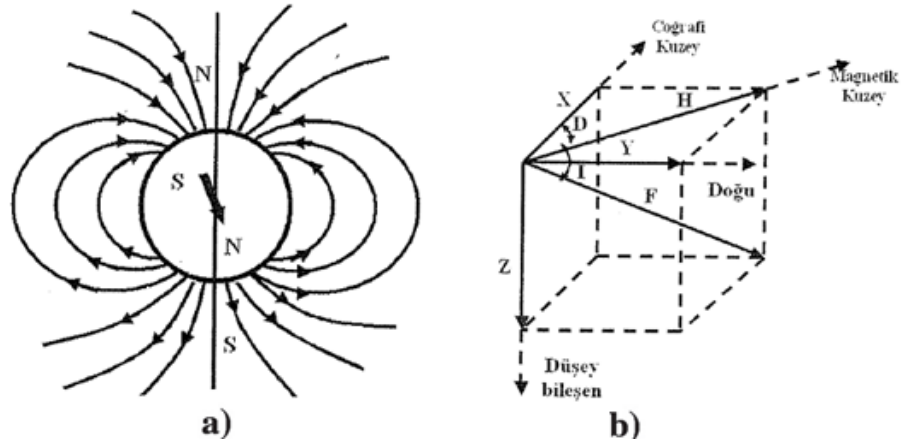
gelişmiş ve Adolf Schmidt tarafından 1915’de Schmidt terazisi manyetometre olarak geliştirilmiştir. Manyetik yöntem özellikle mıknatis özelliğine sahip gömülü ekonomik maden yataklarının aranmasında direk veya dolaylı yöntem olarak kullanılan bir yöntemdir. Doğal manyetik elementler: manyetit, ilmenit, hematit, piyorittir.

Eski yerleşim yerleri, mezarlar, gömülü duvarlar ve yapıların arkeolojik etütlerinde yaygın olarak kullanılır. Manyetik yöntem ile mühendislik ve çevre etütlerinde kayaçların manyetik özellikleri yanında toprak zeminlerin ve yer içindeki metalik eşyaların manyetik özellikleri ile de ilgilenilir. Toprak çeşitli kayaçlardan oluşur. Alüvyonlar oluşurken bazı kesimlerinde ve organik topraklarda ferromanyetik mineral konsantrasyonu yoğun olabilmektedir. Yeryüzü toprakları genellikle şiddetli kalıntı mıknatislanma gösterirler. Ortamın farklı manyetik duyarlılıkları (susseptibility) manyetik anomalileri oluşturur. Çevre ve mühendislik uygulamalarında gömülü metalik nesnelere hızlı bulmada manyetik yöntem kullanımı bir anahtardır. Toprak zeminlerin jeolojik haritalanması, terk edilmiş eski kuyular, eski maden ocağı atıkları, toprak dolgu sınırları, gömülü varil, tank, betonarme parçaları, atık alanları, mayın tarlası, karstik yapı ve su kaçak alanları, gömülü boru ve kablo hatlarının bulunmasında başarılıdır.

3.3.2 Yerkürenin Manyetik Alanı

Yer manyetik alanının kaynağı tam olarak bilinmemekle beraber, yerküresinin çekirdeğindeki yüksek iletkenlikli sıvının dönen akımlarından ileri geldiği ve bu sebeple yerküresi çekirdeğinin kendi kendini uyarayan bir dinamo gibi davrandığı düşünülmektedir. Yer manyetik alanı bir küre merkezine konmuş büyük bir mıknatis çubuğunun manyetik alanına benzer.

Yerküresinin coğrafik kuzey kutbuna en yakın manyetik kutbu gerçekte güney manyetik kutbudur. Yer manyetik alanı veya manyetik akı hatları genellikle Şekil 3.6a’ daki gibi ve yerküresi manyetik alan bileşenleri Şekil 3.6.b’deki gibi temsil edilir.



Şekil 3.6 (a) Yerküresi manyetik kuvvet hatları ve yer küresi manyetik alanı vektörel gösterimi (b) Kuzey yarım küresinde orta enlemde yerküresi manyetik alanı bileşenleri diyagramı.

Şekil 3.6b’de D: Denklinasyon Açısı ve I: İnklinasyon Açısı, F: Toplam Manyetik Alan veya Manyetik Alanın Büyüklüğü, Z: Düşey Bileşen, H: Yatay Bileşen, X ve Y: Yatay Alan Bileşenleridir. Bu bileşenler (3.1) ve (3.2) bağıntıları ile ifade edilirler:

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad \text{veya} \quad F^2 = (F_X)^2 + (F_Z)^2 \quad (3.1)$$

$$F_X = F \cos I \quad F_Z = F \sin I \quad \tan D = Y/X \quad \tan I = F_Z/F_X \quad (3.2)$$

Mühendislik jeofiziğinde en çok kullanılan Z ve H bileşenleridir. I’nın değeri kutuplarda $I = +90^\circ, -90^\circ$, Ekvatorda $I = 0$ ve Türkiye’de $I = 50 - 55^\circ$ dir. Buna göre yer manyetik alanının doğrultusu kuzey ve güney kutuplarda dik ve manyetik ekvatorda paraleldir. Manyetik alanın şiddeti kutuplarda 60000 ekvatorda 30000 gama ($1\text{gama} = 10^{-5}\text{gauss} = 10^{-5}\text{oersted}$) değerindedir. Yer manyetik alanı zamanla değişen ve zamanla sabit olan kısımlara sahiptir. Yer manyetik alanının zamanla değişmeyen kısmı yerküresi içindeki mıknatıs özelliğine sahip mineral ve kütlelerden dolayı olur ve manyetik yöntem mıknatıs özelliğine sahip mineral ve kütlelerin saptanmasında kullanılır. Yer manyetik alanı zamanla gün, ay ve yıllar içinde periyodik ve ani olmak üzere 100 gama mertebelerine varan değişim özelliğine sahip olup yer küresi içinde 10^{-5} Hz e kadar alçak frekanslarda elektrik akımı üretir. Bu akımlara tellürik akımlar ve bu akımları kullanan yöntemlere de manyetotellürik yöntem denir.

3.3.3 Manyetometreler

Pusula en basit kaba bir manyetometredir. Sığ derinlikler için günümüzde Torsiyon, Shimit terazisi gibi klasik manyetometre türleri yerine ileri teknoloji ile geliştirilmiş manyetometrelerden olan Fluxgate, proton manyetometresi kullanılmaktadır. Mühendislik konuları için en uygun ve yaygın kullanılanı proton manyetometresidir. Proton manyetometresi daha çok toplam alan ölçümünde, Fluxgate manyetometresi düşey alan bileşeni ölçümünde kullanılır.

3.3.4 Manyetik Alanın Ölçümü

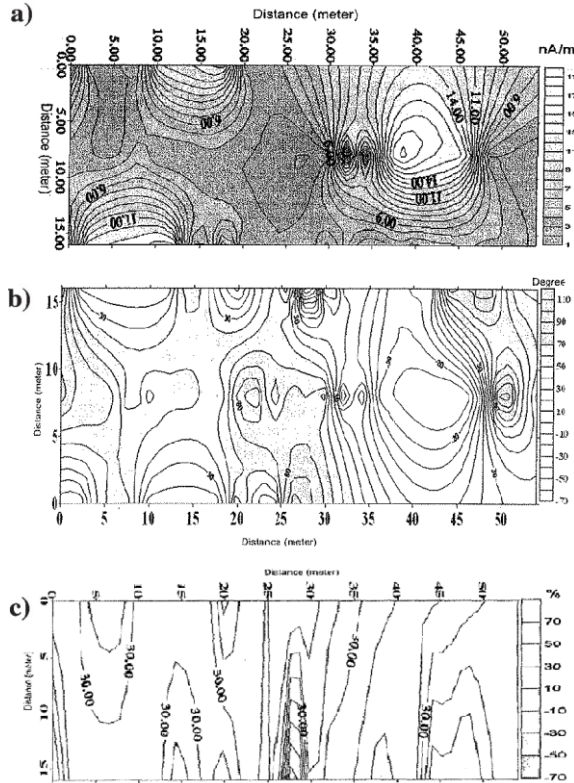
Manyetik alan ölçümlerinde de düzeltmeler için, gravitede olduğu gibi, ölçülmüş noktalarda veya seçilen bir baz istasyonunda birkaç saat aralıklarla ölçü tekrarı yapılır. Tekrarlama işlemi yer manyetik alanındaki günlük ve ani değişimleri saptamak için yapılır. Bu tür düzeltmeler maden yataklarının etüdünde çoğu mineraller için anomali değeri 500 nT den büyük olması sebebiyle gerekli görülmemektedir. Ölçülerin haritalanması ve kesitlerin elde edilmesi gravite yönteminde olduğu gibidir.

3.3.5 Manyetik Ölçülerin Değerlendirilmesi

Belirli şekillerdeki düzgün mıknatıslanmış gömülü kütlelerin yeryüzündeki manyetik anomalileri aynı şekilli kütlelerin kütle çekimlerinin (gravity) saptanmasında kullanılan benzer yöntemle potansiyel teoriden hesaplanmaktadır. Manyetik verilerin işlemi gravite yönteminde bahsedilen sayısal süzgeç, uzanım, türev ve ters çözüm teknikleri ile benzerdir. Manyetik anomalinin kuramsal olarak saptanması mıknatıslanmış kütlelerin derinliğine, konumuna ve geometrik şekline bağlı olması yanında, çeken ve iten iki kutba sahip olması veya tek kutuplu olması, kütlelerin mıknatıslanma doğrultusu ve yönüne bağlı olması nedenleriyle oldukça daha karmaşık ve güçtür. Anomali kaynağının indüksiyon ve mıknatıslanma şiddeti J_1 olduğunda manyetik anomali vektörel olarak, bölgesel (Regional) – yerel (Rezidual) farkı olarak elde edilir (Keçeli 2009).

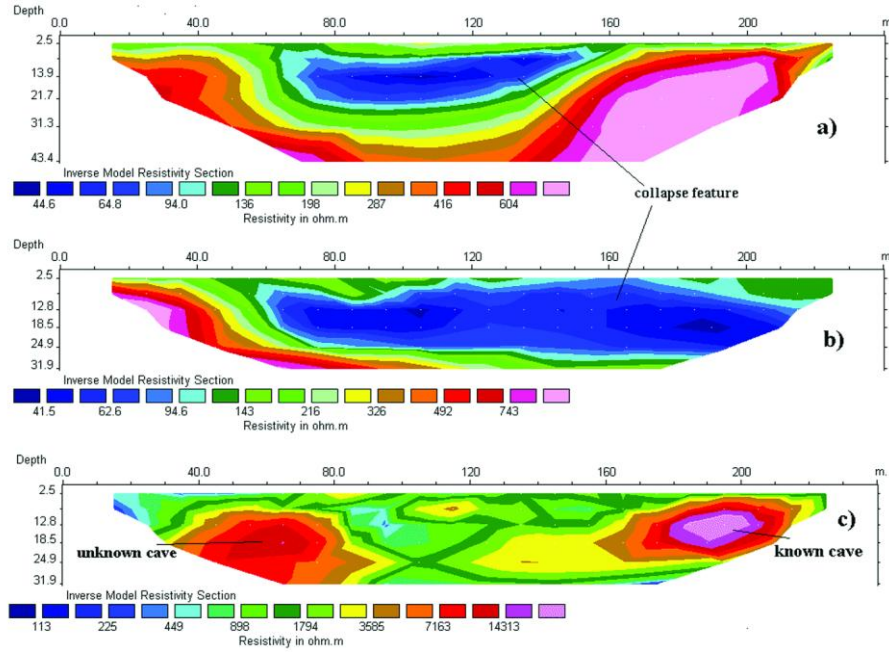
3.4 Kullanılan Yöntemlere Ait Karstik İnceleme Amaçlı Örnekler

İlk örnek olarak; Türkiye'nin güney kıyıları boyunca sıkça rastlanan karstik boşlukları araştırmak için Muğla Dalaman Sarıgerme yöresinde VLF-EM metodu kullanılmıştır. Bu metot diğer yöntemlere göre daha kolay ve hızlı bir araştırma sağladığı için tercih edilmektedir. Toplam alan, tilt açısı, gerçel ve sanal bileşen parametreleri belirlenen profiller boyunca VLF-EM metodu kullanarak ölçülmüştür. Toplam manyetik alanın genliğindeki değişim Şekil 3.7'deki elektromanyetik ölçümle belirlenmiştir. Bu değişimler aynı zamanda polarizasyon elipsinin ana ekseninin genliğini göstermektedir. Alan yoğunluğunda gerçel bileşende olduğu gibi artışın olması iletken bir yapının varlığına işaret etmektedir. Bu uygulama için deniz suyu ile dolu bazı boşluklar düşünülebilir. Uygulamalar sonucunda alana ait en uygun yapı modeli olarak, karstik boşluklar ve bunları tuzlu su ile ilişkilendiren bir kırık sistemi öngörülmüştür. Bu modelde yapı yüksek dirençli bir ortamdan oluşurken, bu yapının içi ise iletken bir akışkan ile doldurulmaktadır.

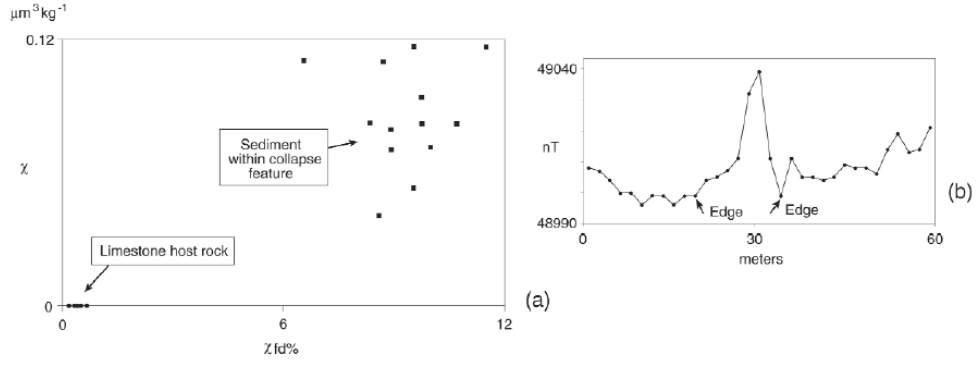


Şekil 3.7 (a) Sarıgerme motel alanındaki elektromanyetik toplam alan dağılımı, (b) çalışma alanındaki tilt açısı dağılımı ve (c) çalışma alanındaki gerçel bileşen dağılımı (Danışman, 2003'ten düzenlenmiştir).

Bir başka örnek olarak İrlanda'da yapılan manyetik ve ERT uygulaması verilmiştir. İrlanda'da geniş yüzeysel buzul yatakları birçok karstik özelliğin tanımlanmasını önlemektedir. Jeofizik manyetik ve ERT ölçümleri bilinmeyen karstik özellikleri tanımlamak için kullanılmıştır. İki boyutlu öz direnç yöntemi uygulanarak doğu İrlanda'daki yüzeysel sedimanların altında 210m uzunluğunda 70m genişliğinde ve 25m derinliğinde bilinmeyen bir çöküntü yapısı tespit edilmiştir (Şekil 3.8a-b) Cork bölgesindeki Cloyne mağara sistemi üzerinde yapılan rezistivite çalışmasıyla bilinmeyen bir mağaranın konumu belirlenmiştir. (Şekil 3.8c) Dolgulu paleokarst yapısında gerçekleştirilen manyetik çalışma sonucu elde edilen 40 nanotesla'lık anomali, yöntemin İrlanda'daki bilinmeyen mağaralar için kullanılabilirliğini göstermiştir (Şekil 3.9).

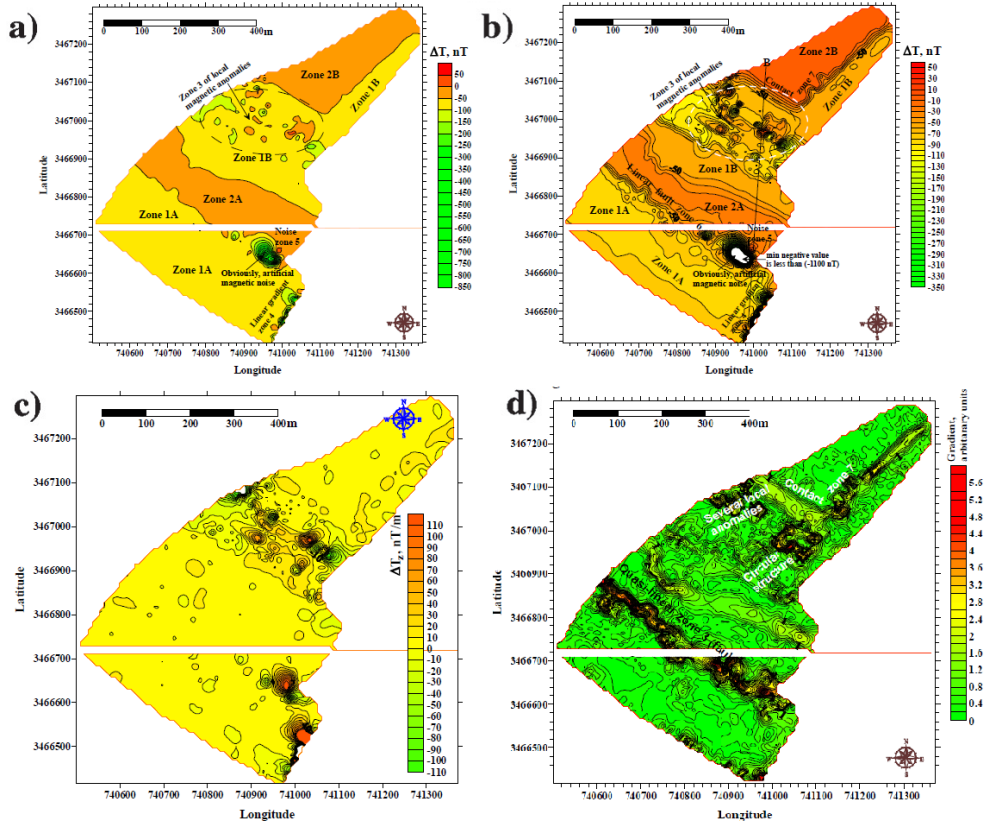


Şekil 3.8 (a)Doğu İrlanda Kildare eyaleti Maynooth bölgesindeki bilinmeyen çöküntü yapısını gösteren iki boyutlu öz direnç modeli (b) İlk kesite (a) dik olacak şekilde aynı yapıyı resmeden iki boyutlu öz direnç modeli (c) bilinen ve bilinmeyen mağara üzerinde gerçekleştirilen uygulamadaki iki boyutlu öz direnç modeli (Gibson ve diğ, 2004).



Şekil 3.9 (a) Kuzey İrlanda Tyrone eyaleti Cookstown yakınlarındaki paleokarst çöküntü yapısına ait kireçtaşı ve dolgu sedimanının manyetik suseptibilite çizimi (b) Aynı yapının manyetometre ölçüm sonuçları (Gibson ve diğ., 2004).

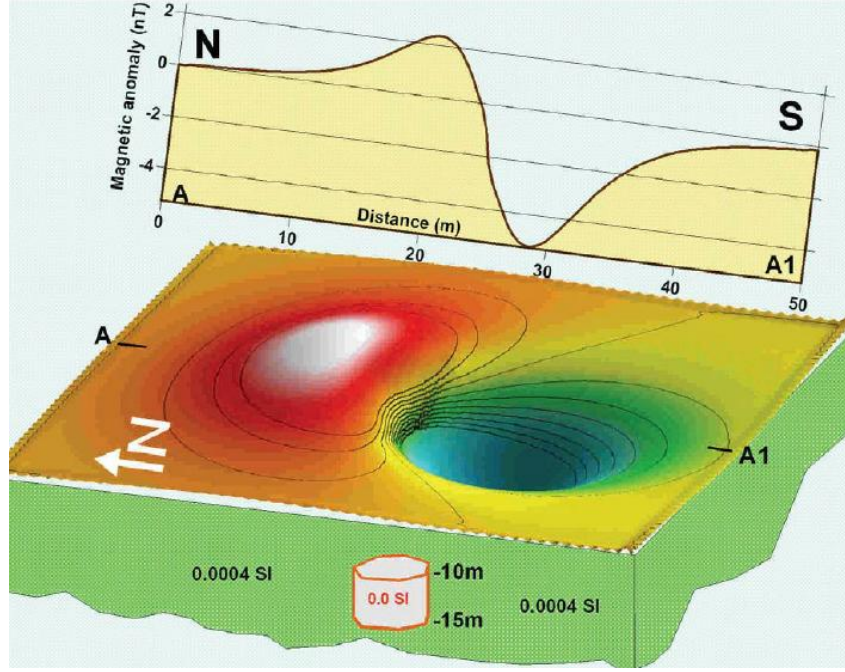
Ölüdeniz kıyılarında yüzlerce düdenin gelişimi bu bölgenin çeşitli jeofizik yöntemlerle araştırılmasını gerektirmiştir. Detaylı jeofizik araştırmalar Ölüdeniz kıyısının doğusuna yakın bölgede yeraltındaki değişimi ve yeni düdenleri tahmin etmek amacıyla yapılmıştır. Toplam manyetik alan haritası ve düşey manyetik gradyent haritası oluşturulmuştur. Şekil 3.10a'da 1A, 1B, 2A ve 2B zonları belirgin şekilde resmedilmiştir. En ilgi çekici bölge 3 ile numaralandırılmış birçok yerel negatif ve pozitif manyetik anomali içeren eliptik zondur. Aynı manyetik harita modern manyetik gürültü kaynaklı birkaç bozucu nokta çıkarılarak daha açık ve detaylı bir görünüm sağlayacak şekilde tekrar oluşturulmuştur (Şekil 3.10b). Manyetik alan düşey gradyent haritası Şekil 3.10c'de gösterilmektedir. Oluşturulan haritadaki manyetik anomalilerin özellikle yüzeye yakın etkileri yansıttığı ve bu anomalilerin çoğunun 3 numaralı eliptik zon ve 4 numaralı doğrusal gradyent zonu ile ilişkilendirilebileceği düşünülmüştür. Çeşitli anomalilerin üst üste bindiği durumlarda potansiyel alan analizinde kullanılan dönüştürücüler çok önemli rol oynar. Şekil 3.10d'de alandaki örtülü yapıları resmetmek amacıyla gradyent operatörü kullanılmıştır.



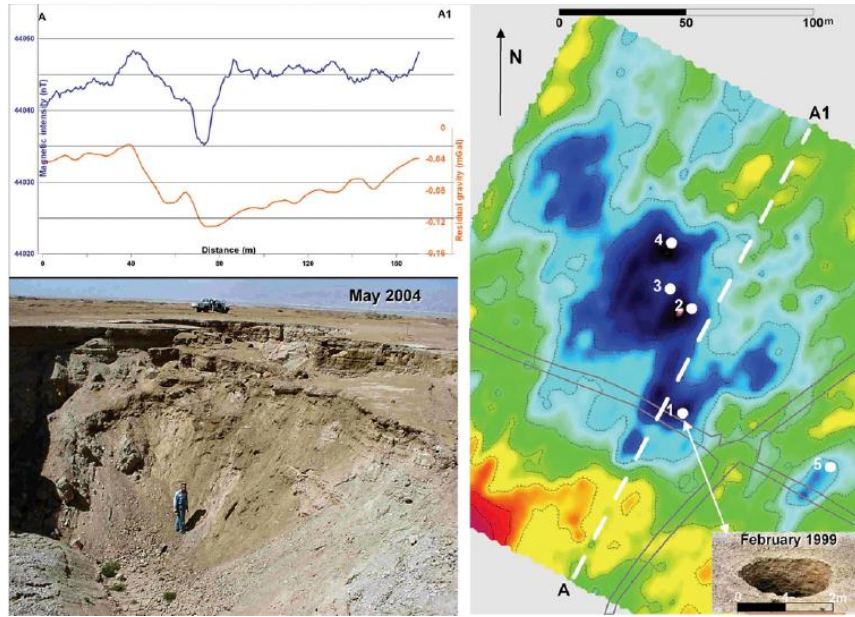
Şekil 3.10 (a) Çalışma alanının toplam manyetik alan haritası, (b) çeşitli gürültü noktalarını kaldırdıktan sonraki toplam manyetik alan haritası , (c) çalışma alanının düşey manyetik gradyent haritası ve (d) gradyent operatörü kullanarak dönüştürülmüş toplam manyetik alan haritası (Al-Zoubi ve diğ., 2011'den düzenlenmiştir).

Ölüdeniz yakınlarındaki bölgede düden tespiti için mikromanyetik yöntemi ile inceleme yapılmıştır. Çalışmalara başlamadan önce örtülü boşluklar üzerinde oluşabilecek olası manyetik anomali, manyetik incelemenin dizaynı için simule edilmiştir. Yapılan üç boyutlu ön modelleme de boşlukların birkaç nanoteslalık ölçülebilir manyetik anomalilere neden olabileceği düşünülmüştür. Modelleme yapılırken bölgedeki inklınasyon açısının 46° olduğu göz önüne alınarak standart bir dipol anomali düşünülmüş ve kaynak cisim anomalideki dönüm noktasına göre konumlandırılmıştır (Şekil 3.11). İlk mikromanyetik ölçümler Hever'in güneyindeki alanda yapılmıştır. Manyetik anomalideki yaklaşık 12 nT'lık düşüş residüel mikrogravite anomalisi ile iyi korelasyon sağlamaktadır (Şekil 3.12). Gerçekleştirilen ölçümlerden bir diğeri iki adet açık durumda düden bulunan Zohar alüvyal alanına aittir. Şekil 3.13'deki manyetik harita bölgedeki düdenlerle ilişkili iki tipik manyetik

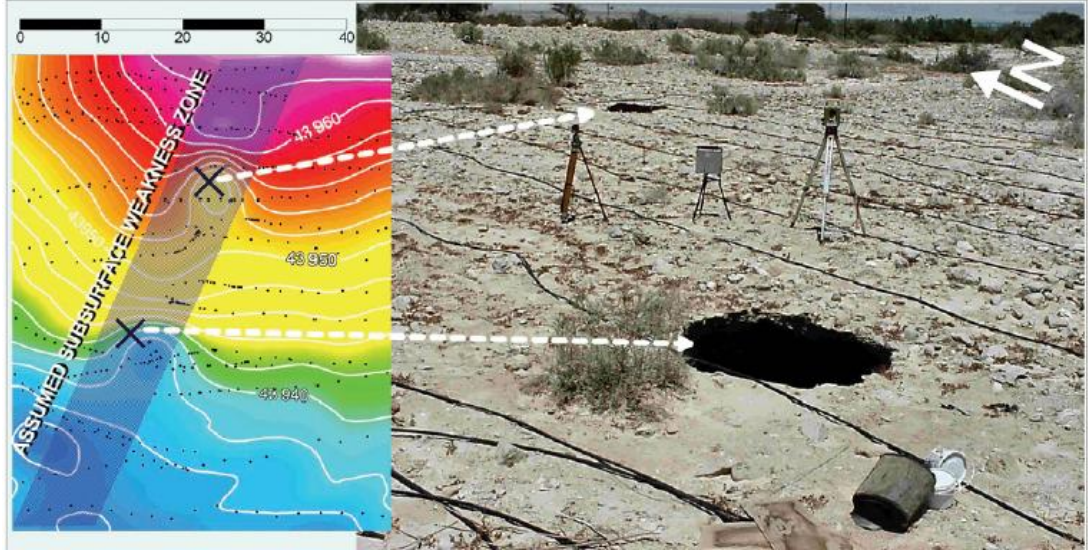
anomali göstermektedir. Çalışma sonucunda mikromanyetik metodu ile sığ boşlukların ve mağaraların tespit edilebileceği kanısına varılmıştır.



Şekil 3.11 Düşük manyetik özelliğe sahip ortamlardaki mağaraların oluşturabileceği sentetik manyetik anomali (Rybakov, Rotstein, Shirman, ve Al-Zoubi, 2005).

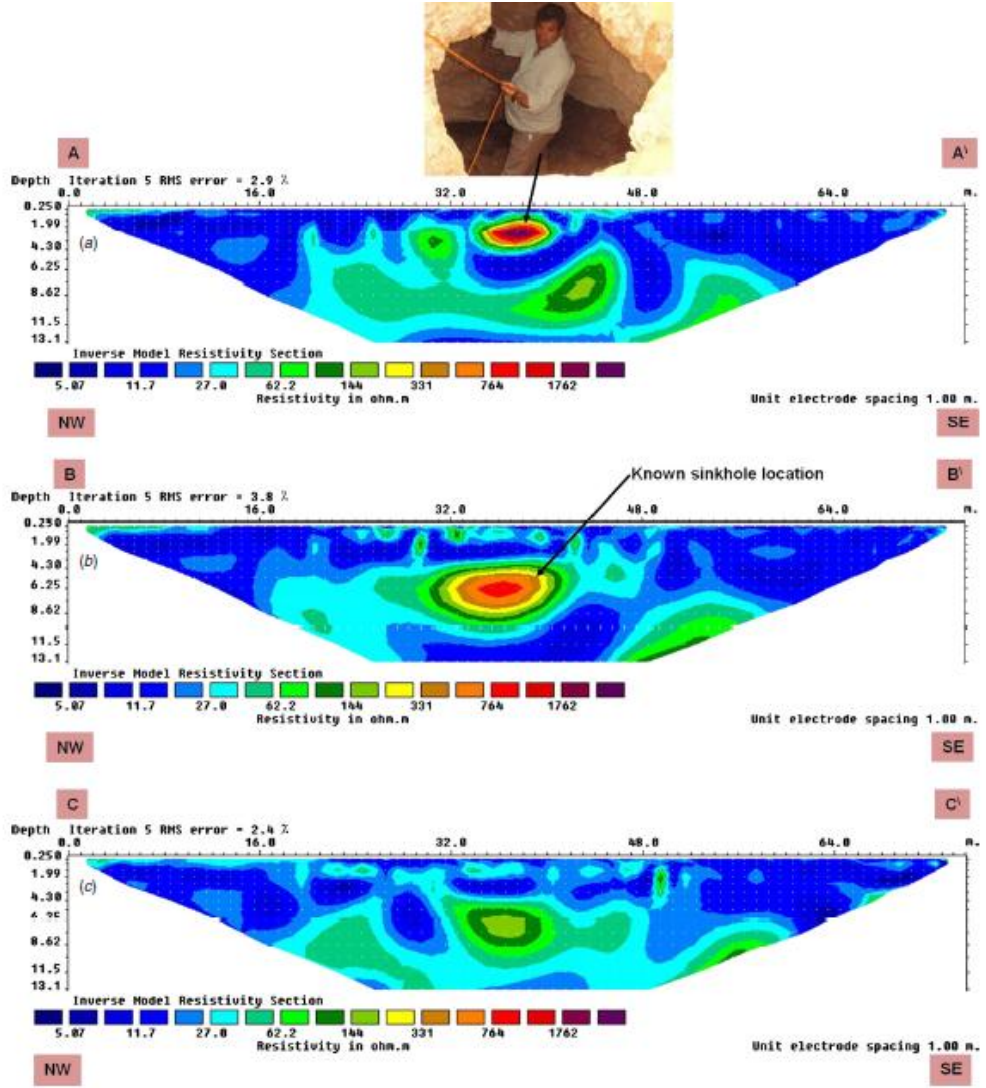


Şekil 3.12 A-A' profiline ait residüel manyetik ve gravite ölçümleri (sol üst köşede), A-A'profilin Hever alanındaki residüel mikromanyetik haritasında gösterimi (sağda) ve alandaki düdenlerin resimleri (sağ alt ve sol alt köşede) (Rybakov, Rotstein, Shirman, ve Al-Zoubi, 2005).



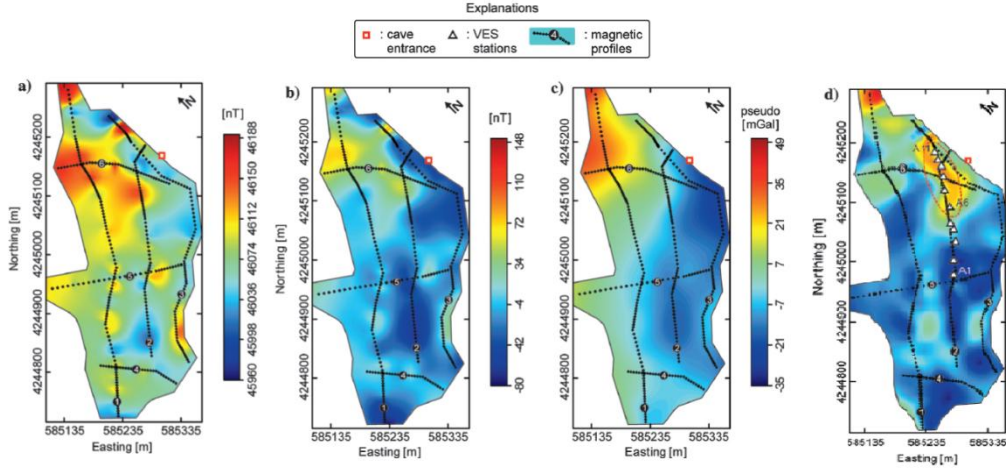
Şekil 3.13 Zohar alanındaki çalışmaya ait 2 nT kontur aralıklı mikromanyetik haritası (Rybakov, Rotstein, Shirman, ve Al-Zoubi, 2005).

Suudi Arabistan krallığında gerçekleştirilen jeofizik çalışmada, gömülü düdenleri ve onlarla bağlantılı boşlukları resmetmek için ERT yöntemi değişik elektrot aralıkları kullanarak uygulanmıştır. Dipole-dipole dizilimi tercih edilen çalışmada elektrot aralığı 1m kullanılmış ve yapılan çalışmanın yeraltındaki düdenleri başarılı şekilde tespit ettiği görülmüştür. Yeraltındaki boşluklar hava, su veya su sızıntısı ile taşınan diğer sedimanlarla dolu olabilirler. Bu boşluklar hava ile dolu olduğunda yüksek rezistivite değerleri su ve diğer malzemelerle dolu olduğunda ise daha düşük rezistivite değerlerine sahip anomaliler oluşturmaktadırlar. A-A' ve B-B' profillerinde bilinen düden görünmekte fakat C-C'kesitinde boşluğun çeşitli malzemelerle dolu olmasından veya düdenin sonlanmasından dolayı görülmemiştir (Şekil 3.14).



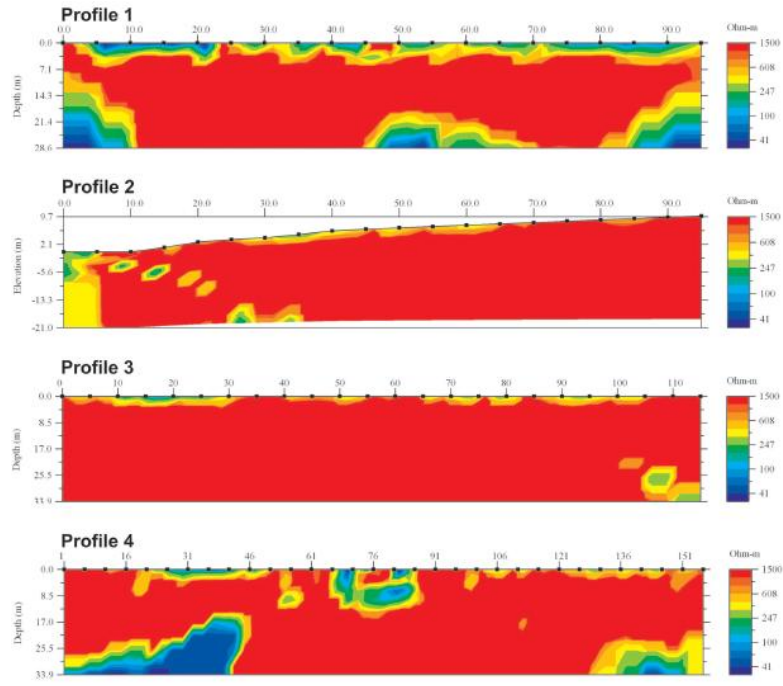
Şekil 3.14 Dipole-Dipole dizilimi kullanılarak 1m elektrot aralığı ile toplanan ERT verisi: (a) Profil A-A', (b) Profil B-B', (c) Profil C-C' (Youssef, El-Kaliouby, ve Zabramawi, 2012).

Jeofizik araştırma teknikleri karstik arazilerdeki mağaraların tespiti için birçok çalışmada başarıyla uygulanmaktadır. Ayvacık düdeninin karstik yapısını resmetmek amacıyla manyetik ve öz direnç yöntemleri uygulanmıştır. Manyetik toplam alan anomalisi çalışma alanı içerisindeki metamorfik ve tortul birimlerin ortaya çıkarılmasını sağlamıştır. Hesaplanan yapma gravite anomalisine dayanan toplam yatay gradyent haritası kireçtaşı birimi ve mağara sistemi arasındaki ilişkiyi başarıyla belirlemiştir (Şekil 3.15). Daha sonra, elde edilen sonuçlara göre düşey elektrik sondaj uygulanacak noktalar konumlandırılmıştır.



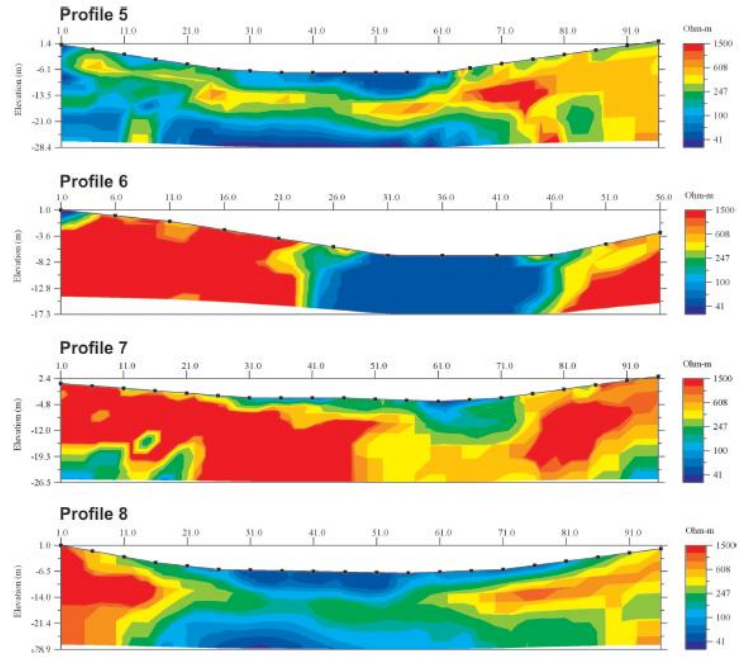
Şekil 3.15 (a) Toplam alan manyetik anomali haritası, (b) Kutba indirgeme uygulanan anomali haritası, (c) yapma gravite anomali haritası ve (d) yapma gravite anomalisinin toplam yatay gradyenti (Balkaya ve diğer., 2012’den düzenlenmiştir).

Karstik yeraltı yapılarının belirlenmesinde ERT yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirilmek için Slovenya’da karstik platonun güneydoğu kesimindeki Divaska Jama mağarası üzerinde ve mağaranın çökelti dolu yüzeydeki açık uzantısında jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kireçtaşı anakaya öz direncinin içi malzeme dolu mağara boşluklarında olduğu gibi yüksek öz dirence sahip olması, Divaska Jama boyunca gerçekleştirilen ERT çalışmasındaki 1, 2, ve 3 ile numaralandırılmış profillerde tekdüze yeraltı yapısı sergilenmesine neden olmuştur (Şekil 3.16). Mağaranın devamının olduğu yer olarak düşünülen bölge boyunca uzanan Profil 4’te öz direnç değerlerinde bazı farklılıklar gözükmemektedir. Bu farklılıkları mağara kanallarına dolan daha düşük öz dirençli killi malzemelerin yaratabileceği düşünülmüştür.



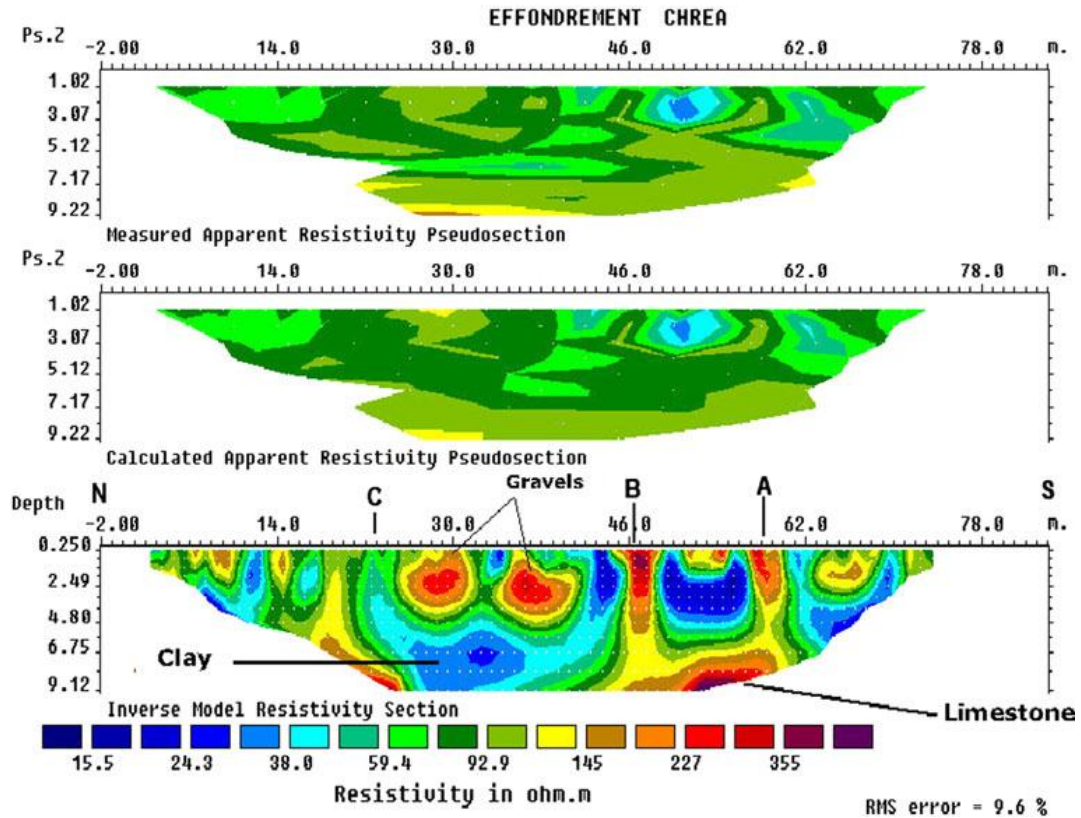
Şekil 3.16 1-4 profillerine ait iki boyutlu öz direnç modelleri (Andrej ve Uros, 2012).

5, 6, 7 ve 8 ile numaralandırılmış ERT profillerinin killi malzeme ve akmatası ile tamamen dolu üstü açık mağara uzantısına karşılık geldiği tahmin edilmiştir (Şekil 3.17).



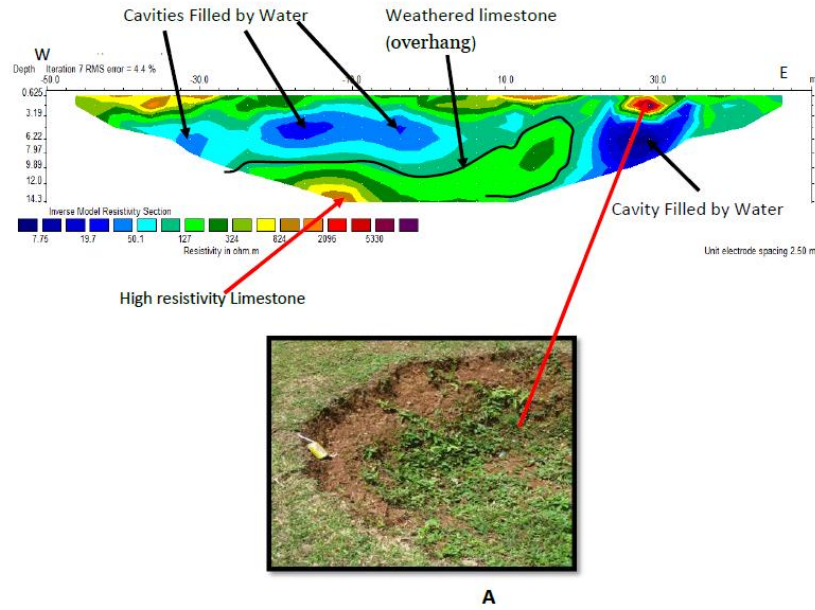
Şekil 3.17 5-8 profillerine ait iki boyutlu öz direnç modelleri (Andrej ve Uros, 2012).

Cezayir'in kuzeydoğusundaki Cheria havzasındaki düdenleri ve yeraltı boşluklarını görüntülemek amacıyla GPR ve ERT yöntemleri uygulanmıştır. Cheria ve çevresinde kireçtaşı dağılması sonucu oluşmuş çöküntüler meydana gelmektedir. Bu yüzden bölge ciddi karstik tehlike altındadır. Çalışma alanı etkileyen düden yapıları, Şekil 3.18'de açıkça haritalanmıştır. Boşlukların sınırları, havza içi bölgede üç yerel direnç bölgesi A, B, C (konumları sırasıyla 56, 46, ve 22 m) olarak belirlenmiştir. Özellikle birinci ve ikinci (A, B) bölgeler yüksek öz direnç değeri ile nitelendirilmiş ve hava dolu boşluk anomalisi olabilecekleri düşünülmüştür. Sol kenardaki oldukça yüksek öz direnç değerlerine sahip bölgenin, derin olmayan bir boşluğun yarattığı görüntü olduğu ve muhtemelen kil ile dolu olduğu tahmin edilmiştir.



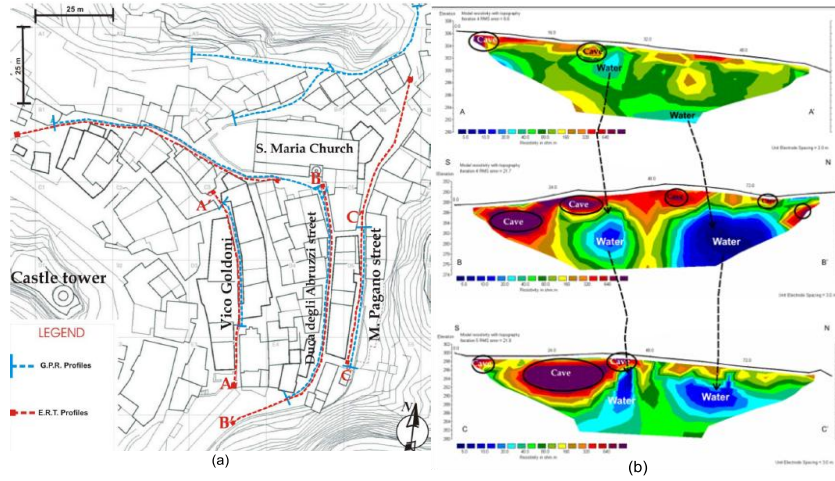
Şekil 3.18 Cheria havzasında Wenner dizilimi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaya ait verinin iki boyutlu ters çözüm sonucu (Nouioua ve diğ., 2013).

Malezya'nın Perak eyaletinin başkenti olan Ipah şehrinde yapılan çalışmada düdenleri belirlemek ve alandaki dağılımları ile ilgili veri tabanı oluşturmak için ERT yöntemi kullanılarak karstik oluşumları belirlemeye yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki kireçtaşının çözünmesi çöküntü, düden, mağara ve oyuk gibi karstik özellikleri oluşturmuştur. Ters çözüm sonucu elde edilen model kesitinin sol tarafında 3m ve 6.4m arasında su dolu boşluklar ve gelişmekte olan olası düden ile bağlantılı olabileceği düşünülen düşük öz dirence sahip anomaliler (mavi renkli) görülmektedir. Kesitin sağ tarafında su dolu kireçtaşı mağara veya olası düden olarak yorumlanabilir düşük öz dirençli yuvarlak şekilli anomali (mavi renkli) görülmektedir. Bu anomali resimde A ile gösterilen çöküntü ile ilişkili bir düden olarak da yorumlanabilir. Bu anomalinin hemen üstünde A ile gösterilen hava dolu çöküntü ile bağlantılı olabilecek yüksek öz direnç değerine sahip yuvarlak şekilli küçük bir anomali (kırmızı ve koyukahve renkli) mevcuttur. Ayrıca kesitin orta kesimlerinde ve 12m derinlikteki yüksek öz direnç değeri kireçtaşı anakaya ile ilişkilidir. Anakayadan hemen sonra gelen kireçtaşına göre düşük öz dirençli anomali (yeşil renkli) bozunmuş kireçtaşını temsil etmektedir (Şekil 3.19). Uygulama sonucunda ERT yönteminin karstik özellikleri tespit ve resmetmedeki yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

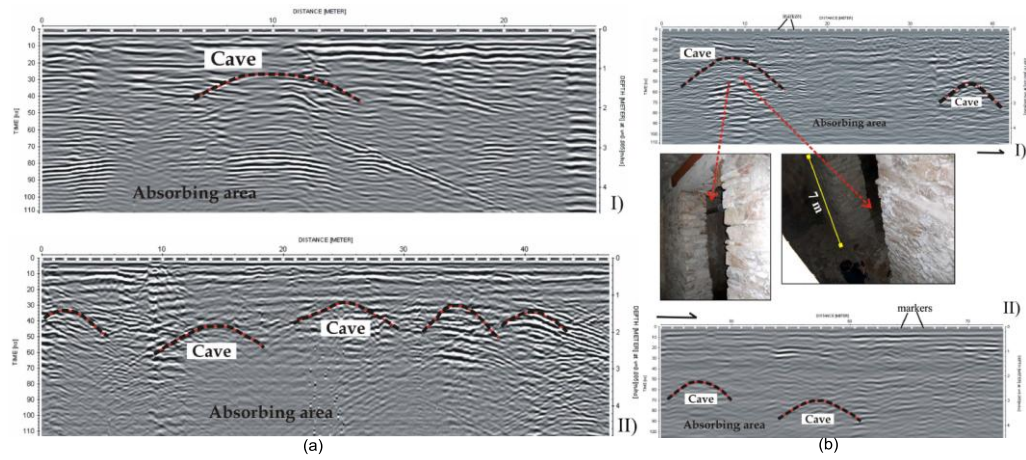


Şekil 3.19 ERT verisinin ters çözümü sonucu elde oluşturulan ve alanındaki birçok karstik özelliği resmeden model kesiti (Makeen ve Shariah, 2013'den düzenlenmiştir).

İtalya'nın güneyinde bulunan Basilicata bölgesindeki tarihi Rabatana kasabasında risk planlama ve değerlendirilmesi için mağara dağılım haritaları yapılması gerekli görülmüştür. Halk, geçmişte yoğun yağışların neden olduğu heyelan sebebiyle yeni kentsel alana yerleşmiştir. Mağaraların konum ve geometrilerinin belirlenmesi için jeomorfolojik analiz ve entegre jeofizik çalışmalar (ERT ve GPR) gerçekleştirilmiştir. Tomografi profillerinde gözlenen düşük rezistivite değerleri yüksek su içeriği ile yüksek değerler ise ilk tabakada yer alan mağaraların varlığı ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 3.20). Radargram kesitleri incelendiğinde ise; hiperbolik anomaliler mağara varlığı ile soğurulmuş zonlar ise elektrik kesitlerindeki iletken bölgeler ile açıklanmıştır (Şekil 3.21).

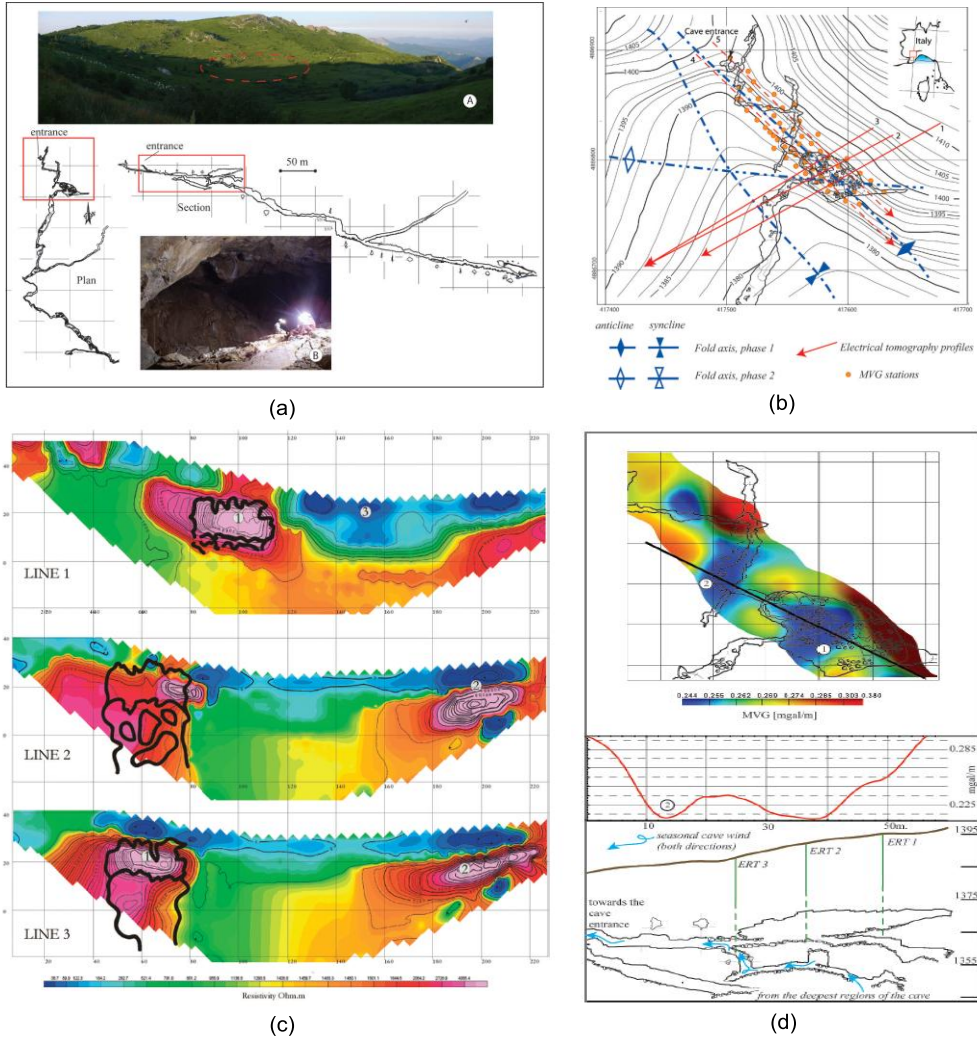


Şekil 3.20 (a) Jeofizik araştırma profilleri haritası (b) Vico Goldoni (A-A'), Duca degli Abruzzi (B-B') ve M. Pagano (C-C') caddeleri boyunca gerçekleştirilen üç ERT kesiti.



Şekil 3.21 GPR incelemelerine ait radargramlar (a) Vico Goldoni ve M. Pagano caddeleri, (b) Duca degli Abruzzi caddesi (Lazzari, Loperte, ve Perrone, 2010'dan düzenlenmiştir).

Düşey gradient mikrogravite ve elektrik rezistivite tomografi jeofizik araştırmaları İtalya Armetta dağında, Liguria-Peredment havzasına yakın karstik arazide bulunan sığ bir mağara üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı bilinen sığ bir mağaranın jeofizik yanıtını sınamaktır. Mağaranın en sığ kısmında dar geçitler bulunmaktadır. İki odayı birbirine bağlayan, girişin yaklaşık 30m altındaki fosil menderes jeofizik araştırmanın hedefidir. Geniş mağara pasajları üzerinde yüksek öz direnç ve negatif gravite anomalileri gözlenmiştir. Çalışmaya ait kesit, grafik ve haritalar Şekil 3.22’de verilmiştir. Bu çalışmadaki gibi karmaşık ortamlarda bile boşluk lokasyonlarının doğru tespiti ile jeofizik yöntemlerin yeteneğini doğrulanmıştır.



Şekil 3.22 (a) Çalışma alanı, (b) mağara hatları ve yapısal özelliklerin gösterildiği topoğrafya haritası, (c) üç hatta ait ERT kesitleri, (d) mikrogravite incelemesi sonuçları (Gambetta, 2011’den düzenlenmiştir).

BÖLÜM DÖRT

UYGULAMA BÖLGELERİ

4.1 Isparta İli Uygulama Bölgesi

4.1.1 Isparta'daki Çalışma Alanlarının Genel Jeolojisi

Su çıkışı gözlenen Pınargözü Mağarası ve kaynağı (Şekil 4.1) Isparta'nın Yenişarbademli İlçesi'nin yaklaşık 10km batısında Dedegöl Dağı'nın kuzey yamacında bulunur. Pınargözü kaynağının çevresinde Prekambriyen-Kambriyen, Karbonifer ve Triyas yaşlı kaya birimleri yüzlek vermektedir. Orta toroslarda bulunan bu bölge Şenel ve diğer. (1996) tarafından Dedegöl bloğu olarak adlandırılmıştır ve torosların tektonik sınıflamasında bağıl otokton konumunda bulunan Geyik Dağı birliğine dahil edilmiştir (Özgül, 1976). Araştırma bölgesini de içine alan MTA tarafından 1997'de hazırlanmış Isparta iline ait 1/250.000 ölçekli Jeoloji haritası EK-1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Pınargözü mağarası ve kaynağı.

Dedegöl bloğunda Prekambriyen yaşlı Bozburun şistleri, olası Turnasiyen yaşlı Orbucak formasyonu, Viziyen, Gökdağ kireçtaşı ve Namuriyen-Başkırıyen, Karlık formasyonu, üst Anisiyen yaşlı Muslu kireçtaşı Ladiniyen yaşlı Karagöl formasyonu, Ladiniyen-Alt Karniyen yaşlı Dipoyraz formasyonu, üst Aniziyen-Noriyen yaşlı kasımlar formasyonu, üst Noriyen-Resiyen yaşlı Menteşe dolomiti yüzlek vermektedir (Şenel ve diğ., 1996).

4.1.1.1 Bozburun şistleri

Dedegöl bloğunun stratigrafik olarak en alt birimini oluşturmaktadır. Diyabazik ve andezitik dayk ve silleri içeren düşük dereceli metapsammit ve metapelitlerden meydana gelir (Dumont ve Kerey, 1975). Yeşil, yeşilimsi, gri, koyu gri, kurşuni, yersel mor, pembe, kirli sarı, açık kahve renkli şist, fillit, metasubarkoz, altere diyabaz, andezit vb. kaya türlerini kapsar (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Bozburun şistleri'nin arazi görüntüsü (Muslu Yayla).

Bazı düzeylerde mikrokonglemera ve daha sık olarak da kumlu seviyeler içerir. Yer yer ince, siyah, siyahımsı gri renkli tabakalı çört ile petrol kokulu, siyah, olası bol organik kalıntılı zonlar oluşturan killi şistler içerir. Mikrokonglomera ve kumlu düzeyler, orta-kötü boylanmalı, yuvarlak, yassı, köşeli ve levhamsı şist, kuvars,

kuvarsit tanelidir. Dayanımlı kuvarsitik kumtaşı düzeyleri de kapsayan birimde, yer yer yoğun alterasyon zonları, bu alterasyon zonlarında da beyaz, kirli beyaz kalsit kuvars damarları gelişmiştir.

Alt dokanağı Dedegöl bloğunda üst dokanağı gözlenemeyen Bozburun şistleri Turneziyen yaşlı Orbucak formasyonu tarafından açısız uyumsuz dokanakla örtülür. Orbucak formasyonu'nun kalınlığı 1500 metreye ulaşır ve birimde yanal yönde litoloji değişimi gözlenemez. Fosil içermeyen Bozburun şistleri, bölgede yüzeyleyen Kambriyen ve İnfrakambriyen yaşlı birimlerden oldukça farklı kaya türleri kapsar. Kröner ve Şengör (1990) Bozburun şistleri zirkon tanelerinden 2522 ± 3 ile 657 ± 5 milyon yıl arasında yaşlar elde etmişlerdir. Bu bilgiler ve bölgesel korelasyona dayanarak birim Kambriyen öncesi yaştadır (Şenel ve diğ.,1992).

4.1.1.2 Gökdağ kireçtaşı

Biyoklastik kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan birim Dumont ve Lys (1973) tarafından adlanmıştır. Orta-kalın, yersel ince tabakalı, gri, siyahımsı gri ve siyah biyoklastik kireçtaşı, mercanlı kireçtaşı, kristalize kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşları ile temsil edilir. Yer yer bol brachiopod, mercan, krinoid ve bryozoa izleri taşır. Bazı düzeyler pelletikoolitik ve ince killi kireçtaşı ve kiltası şeklindedir. Birim üstte Karlık formasyonu'na dereceli geçer ve yaklaşık 140 metre kalınlıktadır. Sığ şelf ortamında çökelmiş olan Gökdağ kireçtaşı zengindir. Michelina, Syringopora, Productus, Spirifer ve Fenestella tanınan organik kalıntılardır; birimin fosil içeriği, Viziyen yaşta olduğunu göstermiştir (Dumont ve Lys, 1973).

4.1.1.3 Kasımlar formasyonu

Kumtaşı ve şeylerle temsil edilen birim Dumont ve Kerey (1975) tarafından adlanmıştır. İnce-orta-kalın tabakalı, gri, yeşilimsi gri, koyu gri, siyah, sarımsı kahve, yersel kızıl kahve renklerde, yer yer bitümlü kireçtaşı mercikleri (Şekil 4.3) , silttaşı ve kumtaşlarından oluşur (Şekil 4.4). Silt ve kilttaşları yapraklanma nedeniyle yer

yer şeyl karakteri kazanmıştır. Kumtaşları genelde orta-kalın tabakalı ve yersel bitki kırılılıdır ve tabanında seyrek de olsa akıntı yapıları bulunur.



Şekil 4.3 Kasımlar formasyonu'nun ince katmanlı iç yapısını gösteren fotoğraf.



Şekil 4.4 Kasımlar formasyonu içinde bulunan kireçtaşı ve mercikleri (Melikler Yaylası).

Ayrıca, kumtaşları yer yer silisifye tüpler (*Torlessia mackesi* Bather) kapsar. Eldere bloğunda, İncedere bloğundaki Köseköy konglomasına karşılık gelen ancak ayırtılmayan çoğu mikrokongloma özelliğine sahip litolojiler bulunur, Kasımlar formasyonu'nun alt kesiminde belirgin bir killi kireçtaşı, marn seviyesi görülür. Killi

kireçtaşı üyesi olarak ayırtılan bu birim, ince-orta tabakalı kırılma yüzeyi siyah, siyahımsı gri ve gri, aşınma yüzeyi sarımsı kahve renklerde killi kireçtaşı, marn az oranda da kiltası ve kireçtaşından oluşur. Kalınlığı 10-100m arasında değişir. Formasyonun üst düzeylerinde belirgin bir klavuz seviye oluşturan resifal kireçtaşı blok ve mercekleri bulunur. Bunlar, genelde bol fosilli ve gri, koyu gri renklidir. Değişik boyutta olan bu biyoherm kireçtaşları, yan kayaçla eş yaşlıdır ve bazen büyük kütleler oluşturur ve İncedere bloğunda Bucakdere, Eldere bloğunda Topuk ve Kuzukulağı üyesi olarak ayrılmıştır.

4.1.2 Çalışma Alanlarında Yapılan Jeofizik Uygulamalar

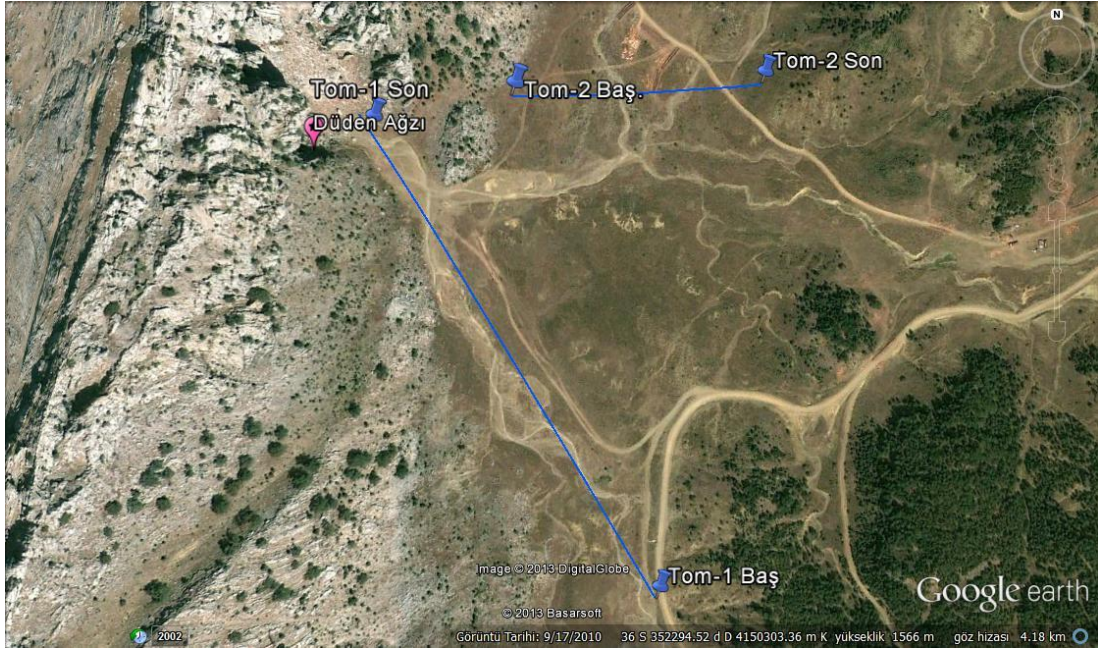
4.1.2.1 Düdenyayla Araştırma Alanı

Dedegöl Masifi üzerindeki Pınargözü Mağarası'nın su kaynaklarını oluşturabilecek karstik kaynakların tespiti için Düdenyayla mevkisinde bulunan düden havzasında Özdirenç tomografi, VLF-EM ve Manyetik yöntemleri uygulanarak ölçümler alınmıştır. Düdenyayla'nın genel görünümü Şekil 4.5a'da ve düden ağzı fotoğrafı Şekil 4.5b'de verilmiştir.



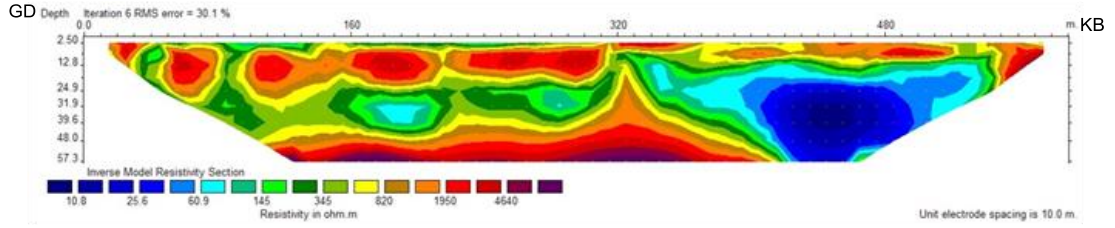
Şekil 4.5 Düdenyaylası mevkisine ait; (a) genel görüntü ve (b) düden ağzı fotoğrafı.

4.1.2.1.1 Özdirenç Tomografi Yöntemi. Çalışma alanında; Jeofizik Doğru Akım Özdirenç çalışmaları kapsamında, 1 adet elektrot aralığı 10m olan 600m'lik profilde Özdirenç Tomografi, 1 adet elektrot aralığı 10m olan 300m'lik profilde Özdirenç Tomografi olmak üzere toplam 900 m'lik ölçümler alınmıştır (Şekil 4.6). Yanal ve düşey değişimlere duyarlılığının yüksek olması nedeniyle alanda yapılan ölçümlerde Wenner-Schlumberger dizilim sistemi tercih edilmiştir.

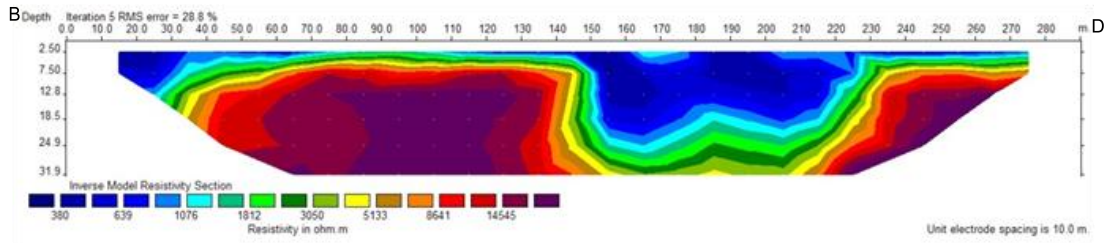


Şekil 4.6 Düdenyayla Tomografi profilleri uydu görüntüsü.

Şekil 4.6'da gösterilen çalışma alanında Tom-1 ve Tom-2 olarak adlandırılmış özdirenç tomografi ölçümlerinin değerlendirme aşamasında Res2Dinv bilgisayar programı kullanarak iki boyutlu modelleme yapılmıştır. Tom-1 profiline ait ters çözüm kesiti Şekil 4.7'de ve Tom-2 profiline ait ters çözüm kesiti Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Tom-1 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.



Şekil 4.8 Tom-2 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.

Dünyenayla'da gerçekleştirilen özdirenç tomografi ölçümlerine ait Tom-1 kesiti incelendiğinde ~60m derinliğe kadar özdirenç bilgisi elde edilebilmektedir. Yamaçtan vadiye yüzey aşındırmaları sonucu geldikleri düşünülen yüksek özdirençli şist ve kireçtaşı birimleri profil boyunca yer yer ~20m'ye varan derinlikte görülmektedir. 20-45m derinlik değerleri arasında düşük özdirençli tortul birimler yer almaktadır. Yöredeki hakim birim olan Bozburun şistleri ve Gökdağ kireçtaşı ~1900-4600 Ohm.m aralığındaki yüksek özdirenç değerleri ile 45m'den sonra tabanda gözlenmektedir. 380m'den sonra yer alan düşük özdirençli birim tahminen düdene mevsimsel su taşıyan aktif suyun yatağının alüvyal birikinti alanıdır (Şekil 4.7). Tom-2 kesitinde ise, ~35m derinliğe kadar özdirenç değişimi görülebilmektedir. Kesitte 8600-14500 Ohm.m aralığında olan bölgedeki yüksek özdirençli birim 32-145m ve 215m'den profil sonuna kadar izlenmektedir. Alandaki düdene su taşıyan akarsu yatağının birikim alanı 145-225m arasında derinliği 25m'yi bulan düşük özdirençli bölgedir (Şekil 4.8).

4.1.2.1.2 VLF-EM Yöntemi. VLF-EM yöntemi arazi çalışmaları kapsamında Scintrex firmasına ait ENVI-VLF cihazı kullanılarak 5m örnekleme aralıklı ve profiller arası 50m olmak üzere 3 ayrı frekansta (23,4kHz, 25kHz ve 26,7kHz olmak üzere; 5 adet birbirine paralel 270m'lik, 1 adet Düdenyayla havzasını uzunlamasına kesen 400m'lik ve 1 adet Düdenyayla havzasını dik kesen 220m'lik ölçümler alınmıştır (Şekil 4.9).

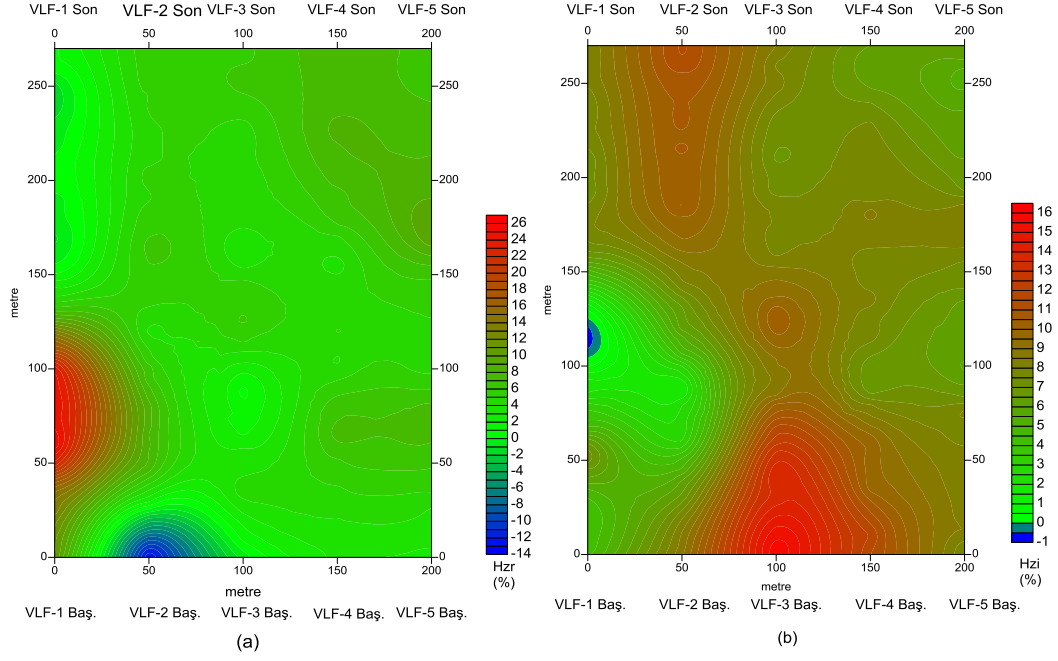


Şekil 4.9 Düdenyayla jeofizik VLF-EM yöntemi profilleri uydü görüntüsü.

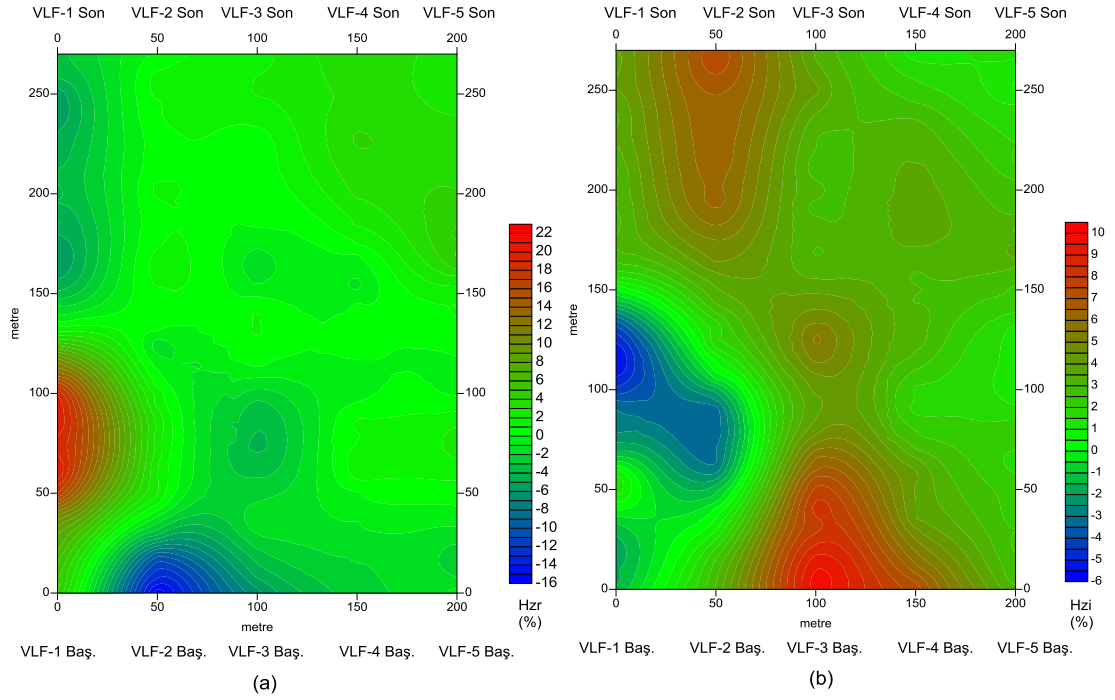
Alansal bilgi amaçlı Şekil 4.9'da verilen profil aralıkları 50m ve örnekleme aralıkları 5m olan 5 profilin üç frekansa göre sonuçları incelenmiştir.

Frekansların sinyal/gürültü oranının fazla olup olmadığını tespit etmek için toplam alan değişimleri izlenmiş ve 23,4kHz frekansının 27-45 mA/m, 25kHz'in 23-41 mA/m ve 26,7kHz'in 18-36 mA/m aralığındaki bant aralıklarında değiştiği gözlenmiştir.

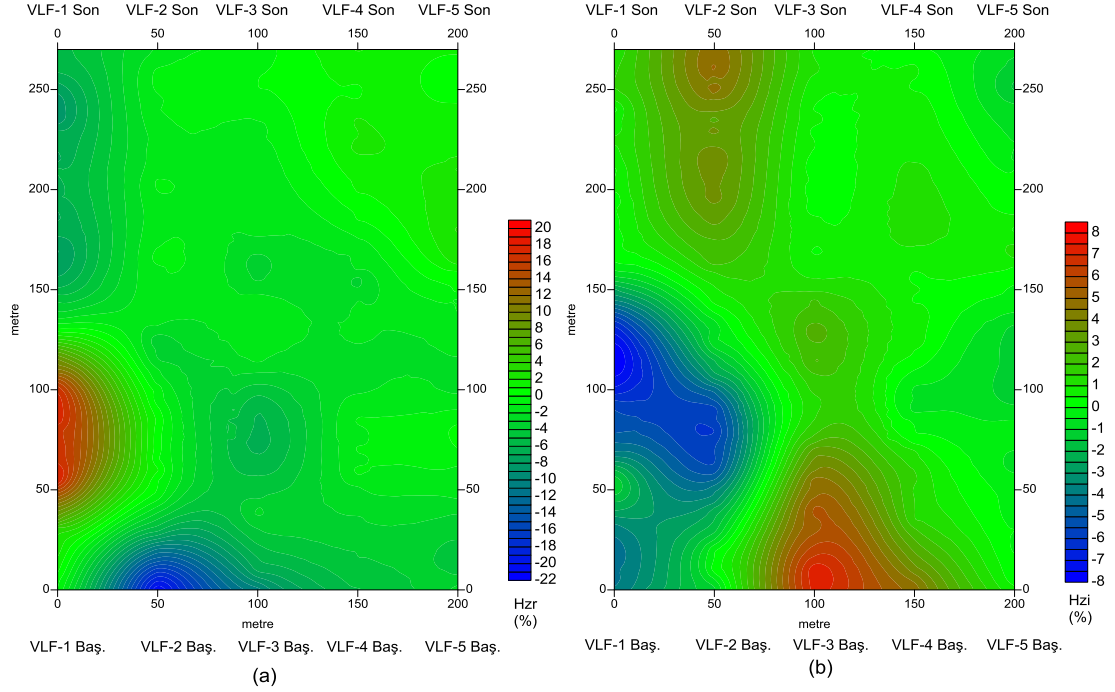
Alansal verilerin 23,4kHz, 25kHz ve 26,7kHz frekansları için gerçel ve sanal alan bileşenlerinin iki boyutlu görüntüleri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.10 23,4kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

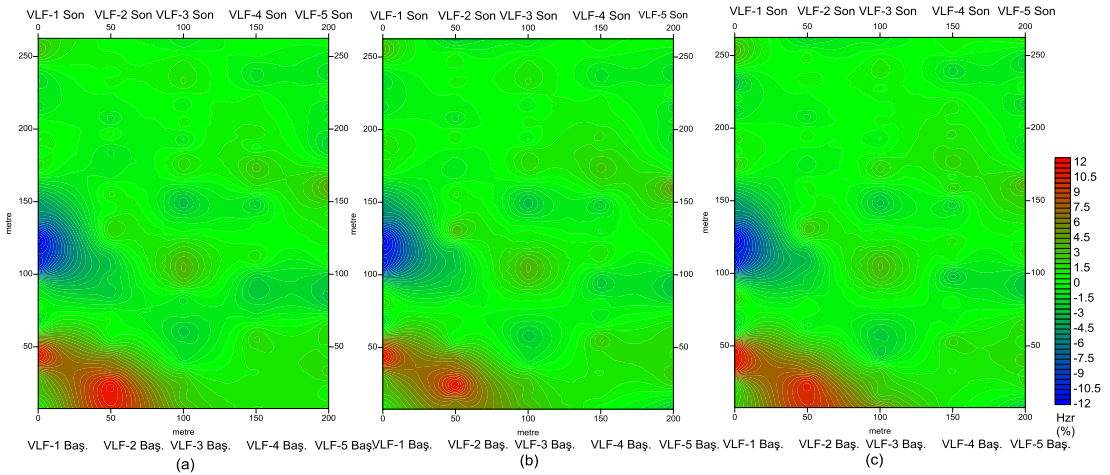


Şekil 4.11 25kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.



Şekil 4.12 26,7kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

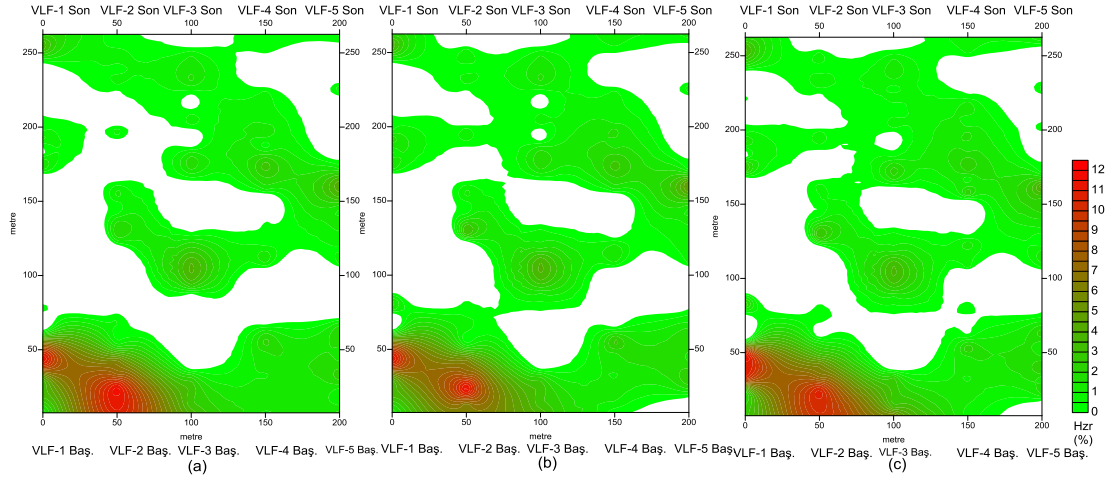
Veri işlem amacı ile gerçel alan bileşenlerine Fraser ve Karous-Hjelt süzgeçleri uygulanmıştır. Kullanılan üç frekansa ait fraser süzgeç çıktıları Şekil 4.13'deki gibidir.



Şekil 4.13 Frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.

Fraser süzgeci kontur haritalarında yalnızca pozitif değerler göz önüne alınır ve kullanılır. Bu değerlere karşılık gelen bölgelerin ortama göre daha düşük öz dirençli

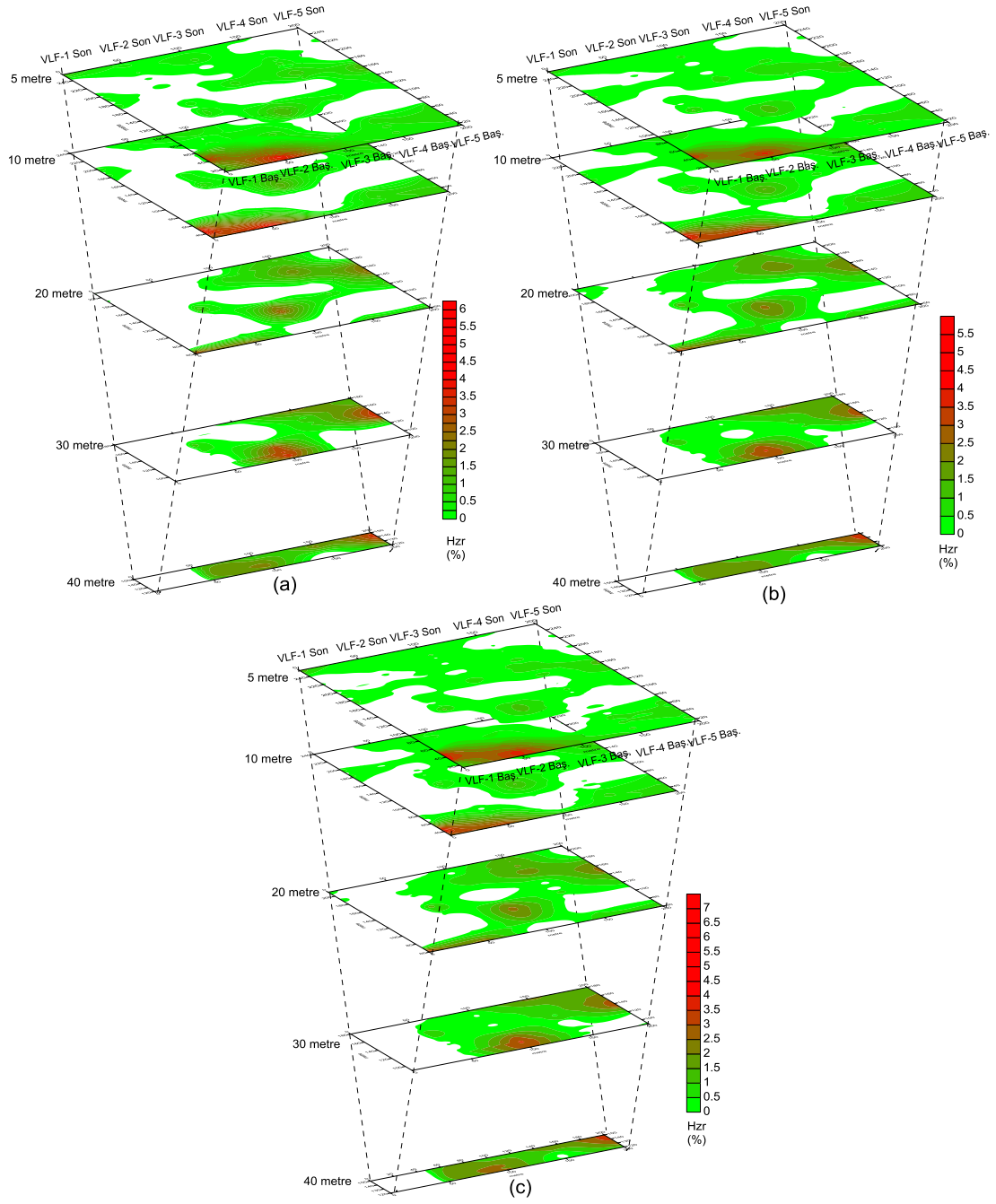
yüksek su içerikli iletkenliği yüksek beslenme alanları olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 23,4kHz (b) 25kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.

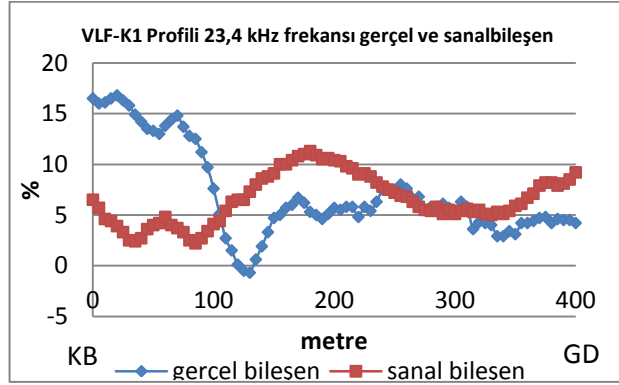
Etki derinliği ortamın öz direncine ve kullanılan frekansa göre değişir. Etki derinliği bu parametrelere bağlı olarak $\sigma = 503,2 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$ matematiksel bağıntısına göre hesaplanabilir. Çalışma ortamının öz direncine ve kullanılan frekansa göre etki derinliği yaklaşık olarak 40m bulunmuştur ve 5m, 10m, 20m, 30m, 40m derinlik değerleri için iletkenlik değişimi Karaous-Hjelt süzgeci ile gözlenmeye çalışılmıştır.

Karaous-Hjelt süzgeci kontur haritalarında da Fraser süzgecinde olduğu gibi pozitif değerler göz önüne alınır ve kullanılır. Pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler ortama göre daha düşük öz dirençli iletken alanlardır (Şekil 4.15).

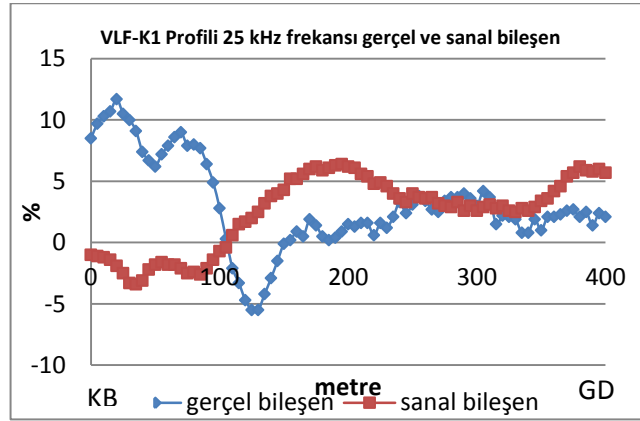


Şekil 4.15 VLF-EM frekanslarına ait; (a) 23,4 kHz, (b) 25 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10- 20-30-40m eş-seviye derinlik haritaları.

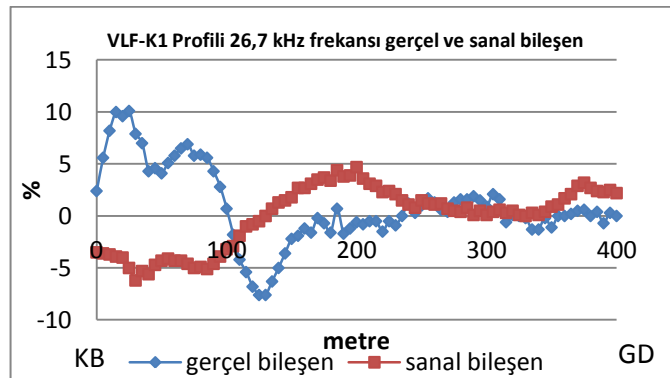
Profil bazında gerçekleşen VLF-EM ölçümlerine ait profilleri K1 ve K2 dir. K1 ve K2 profillerinde frekanslara göre gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'deki gibidir.



(a)

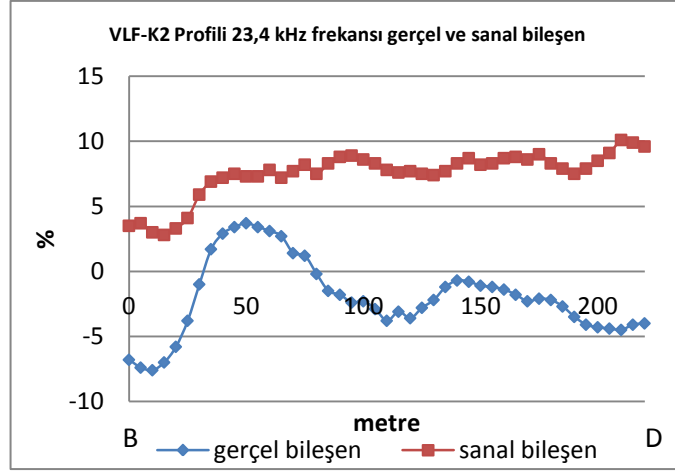


(b)

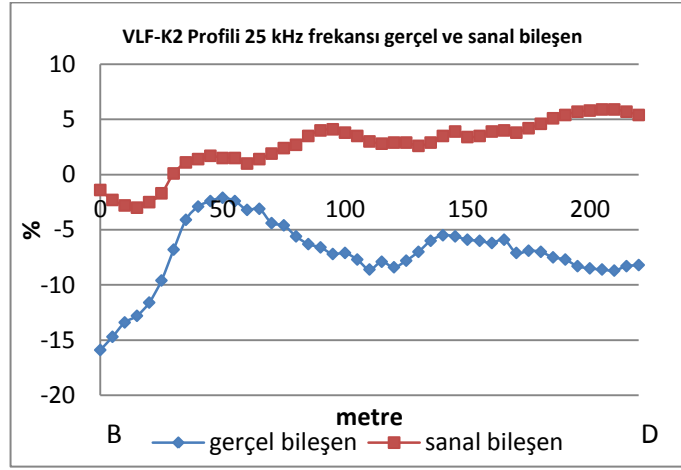


(c)

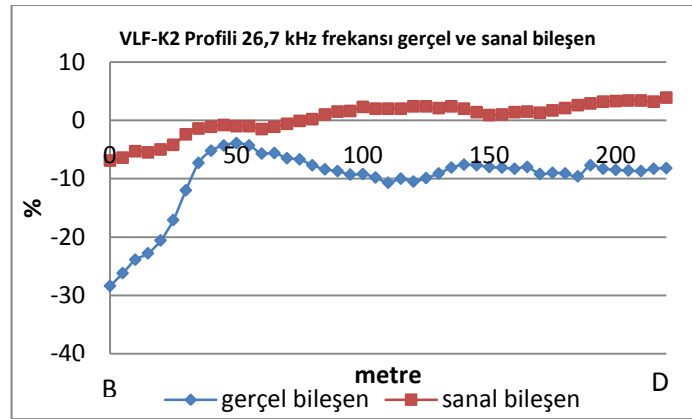
Şekil 4.16 K1 profilinde frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri.



(a)



(b)

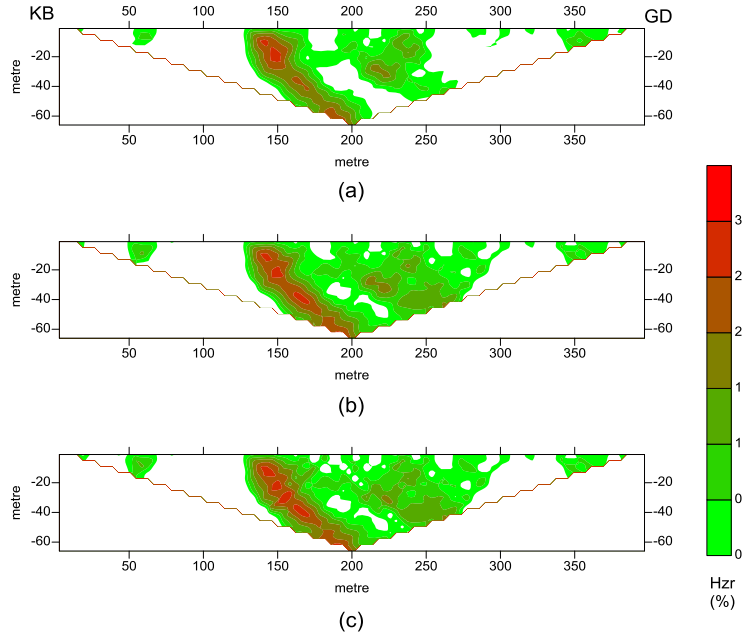


(c)

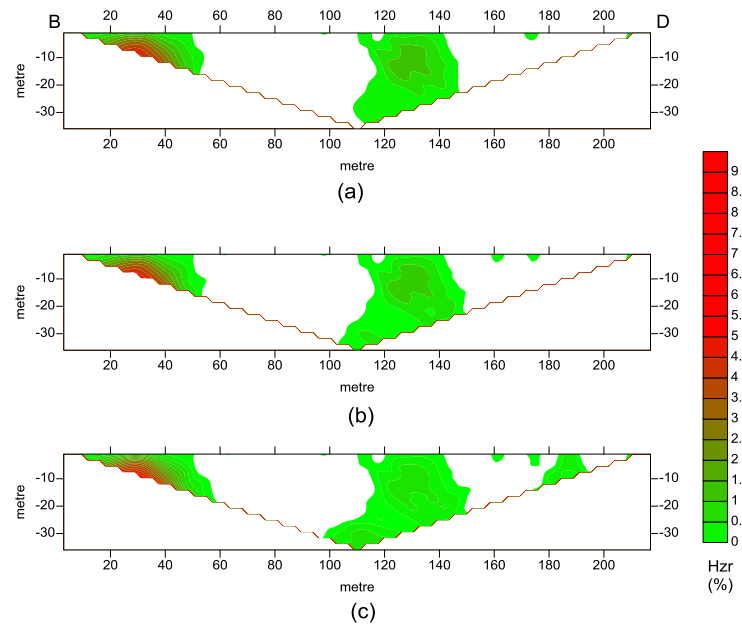
Şekil 4.17 K2 profilinde frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri.

K1 ve K2 profillerine ait verilere veri işlem aşamasında Karous-Hjelt süzgeci uygulanmıştır. Su taşıyıcı yüksek öz dirençli karstik birim ve derenin taşıyıcı etkisi ile

oluşan düşük öz dirençli tortullaşma gözlenmeye çalışılmıştır. (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19).



Şekil 4.18 Frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz K1 Profilinin Karous-Hjelt süzgeci sonucu elde edilmiş düşey kesitler.



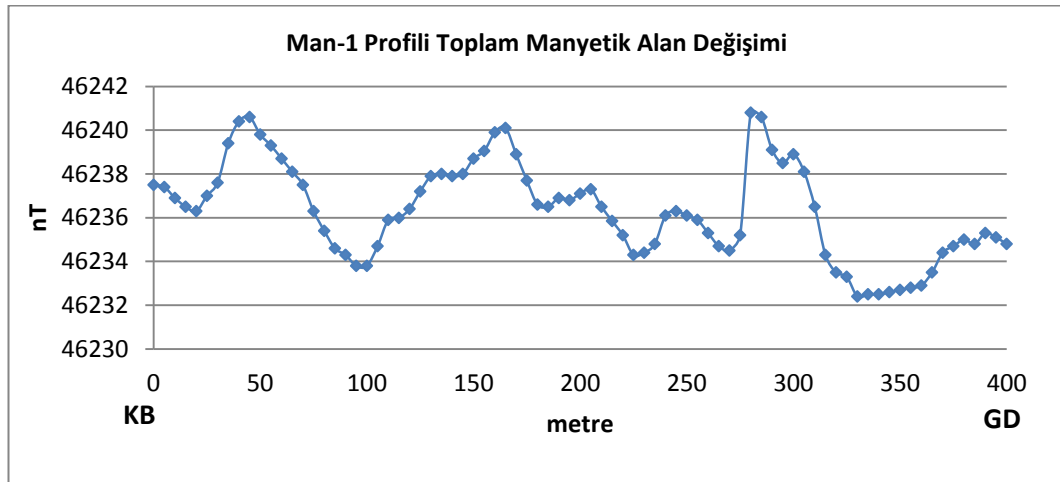
Şekil 4.19 Frekanslara göre (a) 23,4kHz, (b) 25kHz, (c) 26,7kHz K2 Profilinin Karous-Hjelt süzgeci sonucu elde edilmiş düşey kesitler.

4.1.2.1.3 *Manyetik Yöntem.* Manyetik yöntemi çalışmaları kapsamında, 5m örnekleme aralıklı 1 adet Düdenyayla havzasını uzunlamasına kesen 400m'lik ve 1 adet Düdenyayla havzasını dik kesen 220m'lik manyetik ölçüm yapılmıştır (Şekil 4.20).

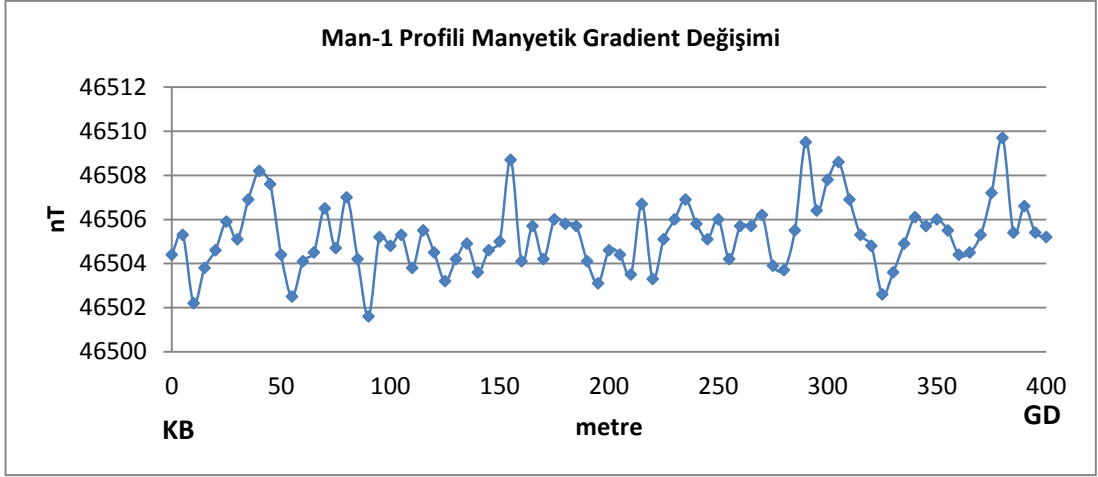


Şekil 4.20 Düdenyayla jeofizik manyetik yöntem profilleri uydu görüntüsü.

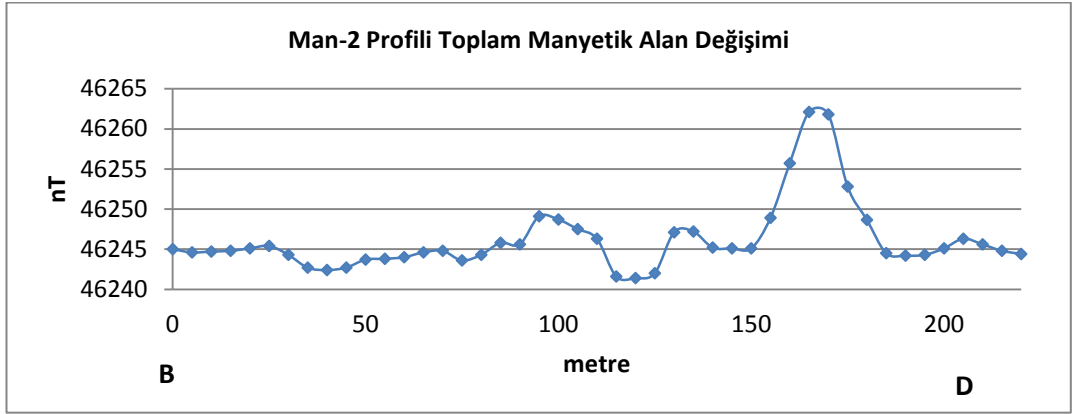
Man-1 (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22) ve Man-2 (Şekil 4.23) profillerine ait toplam manyetik alan ve manyetik gradient değişimleri aşağıdaki gibidir.



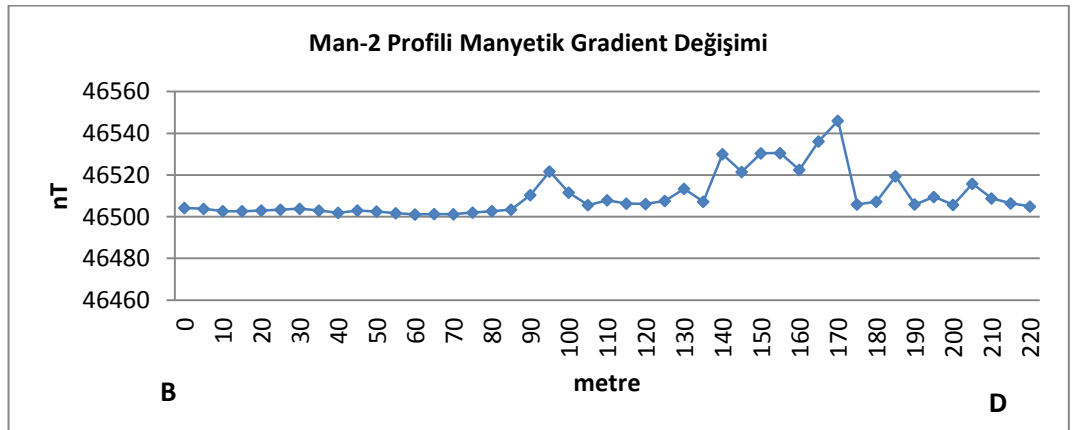
Şekil 4.21 Man-1 profiline ait toplam manyetik alan değişimi.



Şekil 4.22 Man-1 profiline ait manyetik gradient değişimi.



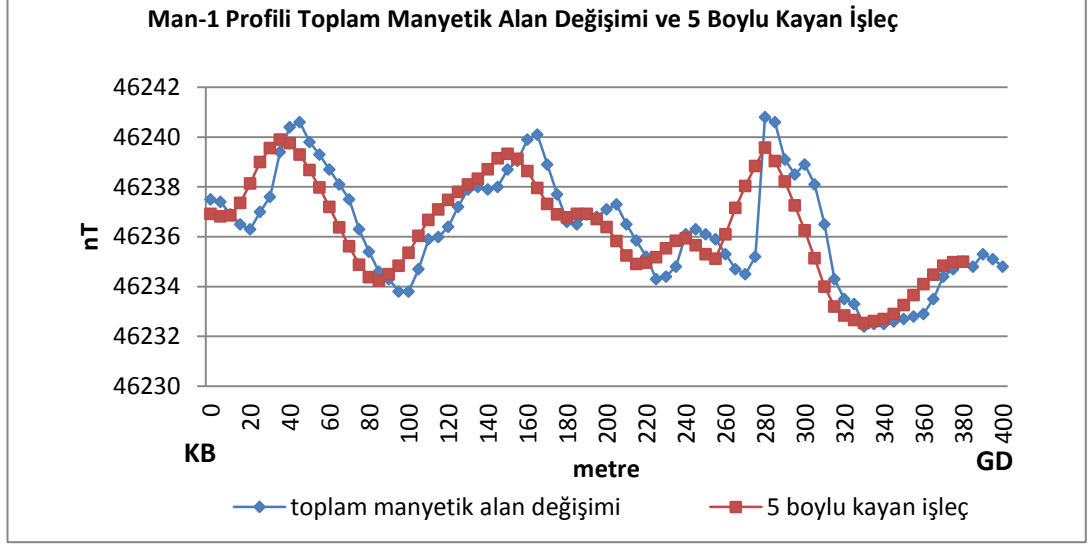
(a)



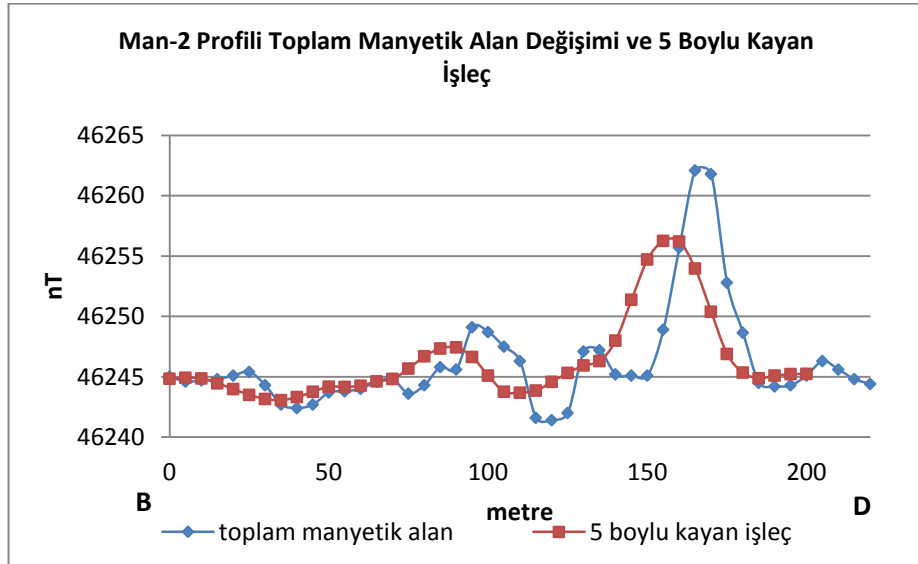
(b)

Şekil 4.23 Man-2 profiline ait (a) toplam manyetik alan ve (b) manyetik gradient değişimleri.

Toplam manyetik alan verilerinin içerdiği gürültüler beş boylu üçgen kayan ortalama işlemi ile giderildikten sonra değerlendirmeye alınmıştır. (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25). Daha sonra her iki profile ait veriler Cooper (2004) tarafından geliştirilen Geomodel bilgisayar programı ile modellenmiştir.



Şekil 4.24 Man-1 profili için beş boylu kayan ortalama işlemi sonucu.



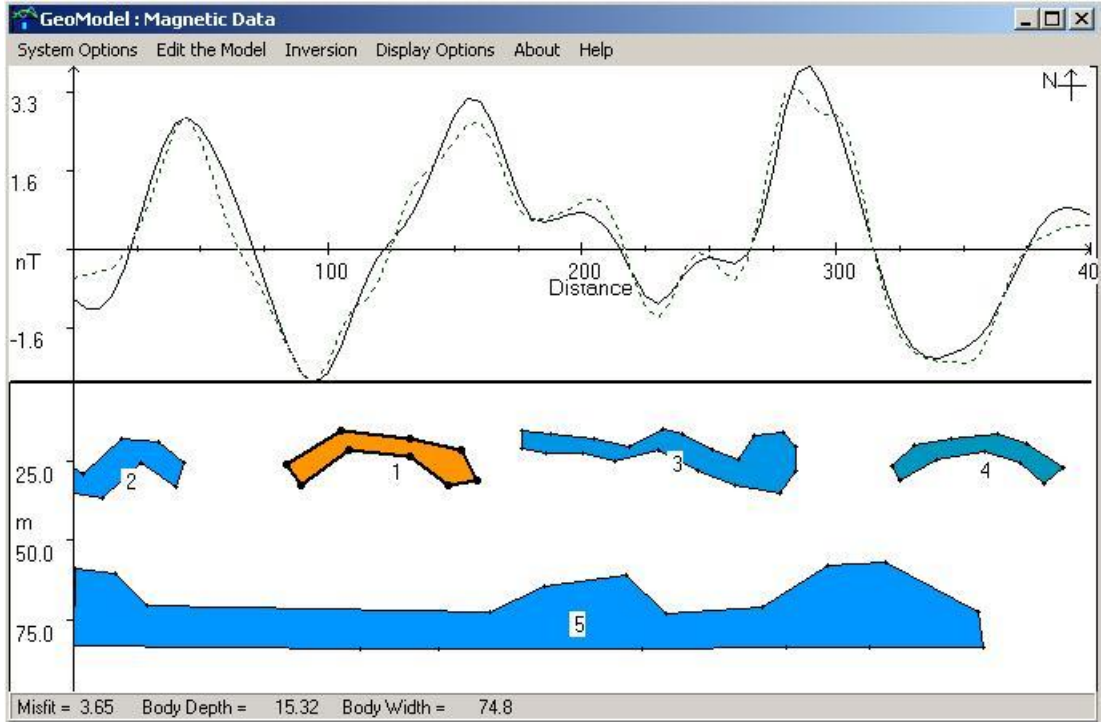
Şekil 4.25 Man-2 profili için beş boylu kayan ortalama işlemi sonucu.

Ölçüm yapılan saha yayla alanı olduğundan yaylacılar tarafından kullanılmaktadır. Yaylacıların bıraktığı atık metal parçaları veya kalıntıları bulunan taş ocak ve yanmış toprak kalıntıları ölçüm yapılan profiller üzerinde gürültü olarak

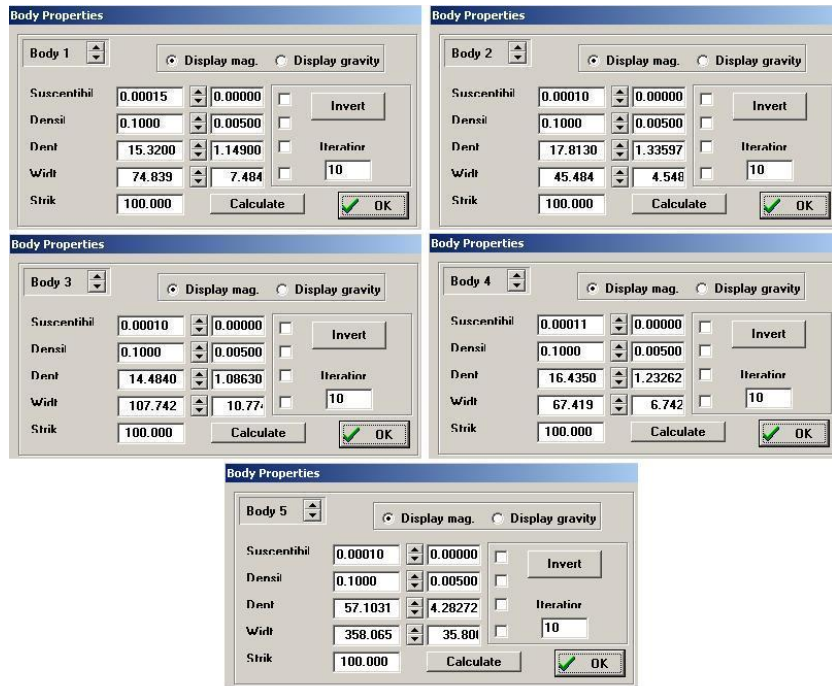
adlandırılan etkiler yaratmaktadır. Bu yüzden Man-1 ve Man-2 profillerindeki olası gürültüleri gidermek amacıyla süzgeçleme yapılmıştır (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25). Man-1 profiline ait toplam manyetik alan değerlerinin ortalaması alınmış, 46236 nT baz değeri olarak atanarak modellemede kullanılacak Geomodel programı için veri elde edilmiştir. Man-2 profilinde ise 46245 nT değeri baz alınmıştır.

Man-1 profili toplam manyetik alan değişimi (Şekil 4.21) ve süzgeçleme işlemi sonucu elde edilen grafiklerde (Şekil 4.24) görüldüğü gibi ortamda çok az süseptibilite değişimi mevcuttur. Bu da ortamın genel olarak tekdüze olduğunu ve anomalinin alüvyon ortamda yayılış gösteren masif bloklardan kaynaklandığını göstermiştir. Değerlendirme aşamasında Geomodel programı kullanılarak en iyi uyumun sağlandığı ve hata oranı 3.65 olan olası model oluşturulmuş ve parametreleri verilmiştir (Şekil 4.26). Modelleme sırasında Man-1 profili boyunca alüvyon içerisinde dağılmış olası kireçtaşı ve/veya şist blokları tabanda yayılan birim olarak düşünülmektedir.

Man-2 profiline ait toplam manyetik alan grafiği incelendiğinde (Şekil 4.23) , 30nT'lık dar bant aralığında değişim gözlenmiştir. Man-2 profiline ait veri modellenirken ortamdaki akarsu yatağının oluşturduğu birikim havzasının düşey sınırı elde edilmeye çalışılmıştır. Hata oranı 3.73 olan Şekil 27'de verilen kesitin en iyi uyum sağladığı öngörülmüştür.

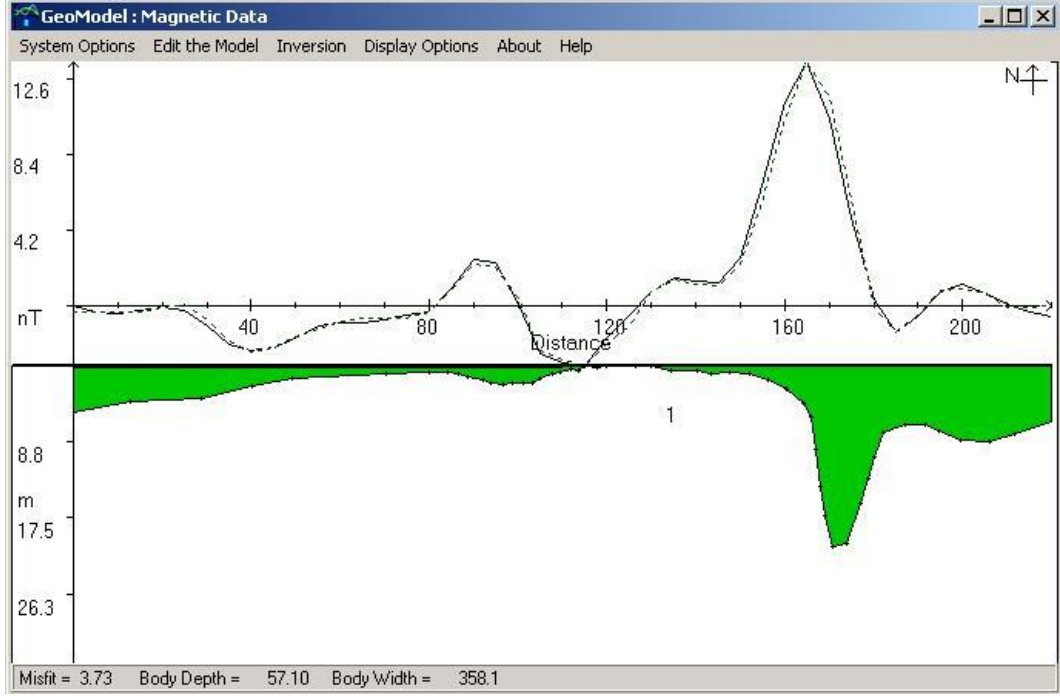


(a)



(b)

Şekil 4.26 Man-1 profiline ait (a) olası model ve (b) parametreleri.



(a)

(b)

Şekil 4.27 Man-2 profiline ait (a) olası model ve (b) parametreleri.

4.1.2.2 Düden Alanı Çalışma Alanı

Kurucuova yöresi Düden Alanı'nda Özdirenç tomografi ve VLF-EM yöntemleri kullanarak jeofizik ölçüm alınmıştır. Jeofizik çalışmaların gerçekleştiği bölgeye ait genel görüntü Şekil 4.28a'da ve Düden Alanı'ndaki su kaçışının gözlemlendiği düden ağzının yakın görüntüsü Şekil 4.28b'de verilmiştir.

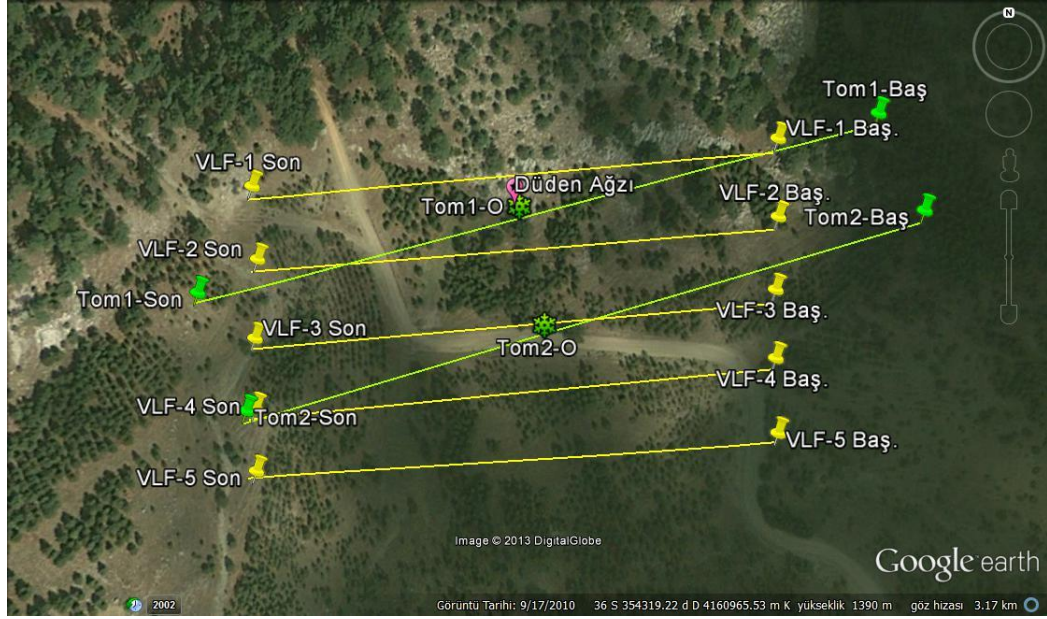


(a)

(b)

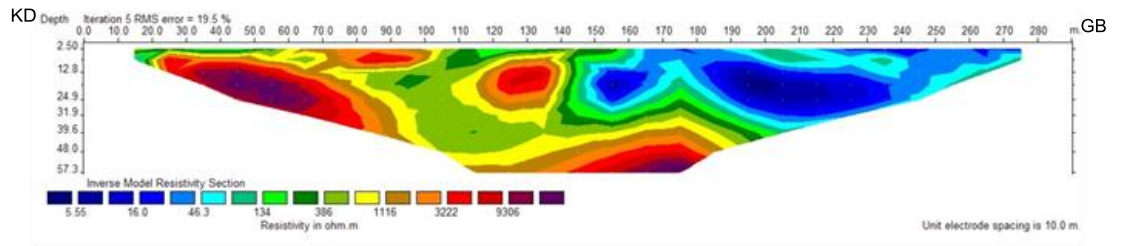
Şekil 4.28 Kurucuova yöresi Düden Alanına ait; (a) genel görüntü, (b) Düden ağzının yakın görüntüsü.

Özdirenç Tomografi ve VLF-EM profillerinin doğrultularını, başlangıç ve bitiş noktalarını gösteren uydu görüntüsü Şekil 4.29’da toplu olarak verilmiştir.

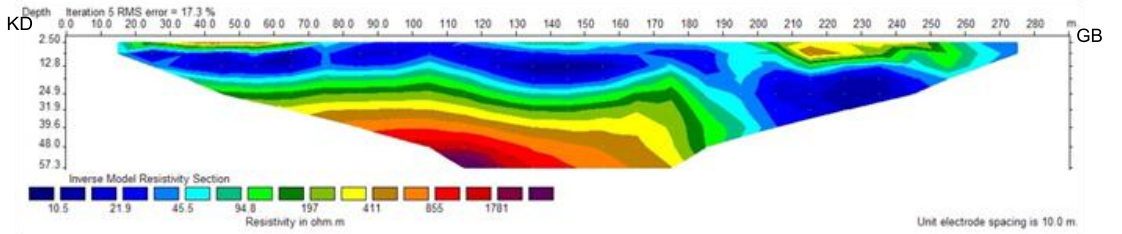


Şekil 4.29 Kurucuova yöresi Düden Alanı’nda uygulanan jeofizik yöntemlere ait ölçüm profillerinin uydu görüntüsü.

4.1.2.2.1 *Özdirenç Tomografi Yöntemi.* Kurucuova yöresi Düden Alanında gerçekleşen Özdirenç Tomografi çalışmaları kapsamında; 2 adet birbirine paralel 50m aralıklı ve elektrot aralığı 10m olan 300m'lik profillerde Özdirenç Tomografi ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.29'da gösterilen çalışma alanında Tom-1 ve Tom-2 olarak adlandırılmış tomografi ölçümlerinin değerlendirme aşamasında Loke (2012) tarafından geliştirilen Res2Dinv bilgisayar programı kullanarak iki boyutlu modelleme yapılmıştır. Tom-1 profiline ait ters çözüm kesiti Şekil 4.30'da ve Tom-2 profiline ait ters çözüm kesiti Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.30 Tom-1 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.



Şekil 4.31 Tom-2 profiline ait ERT ölçümünün Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan ters çözüm kesiti.

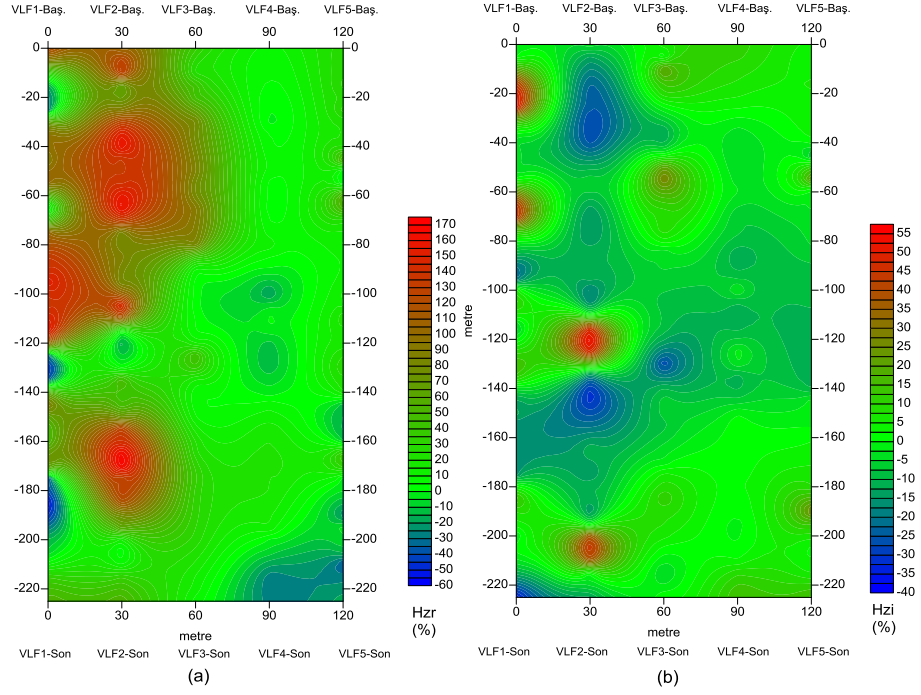
KD-GB yönelimli Tom-1 kesiti incelendiğinde (Şekil 4.30), tabanı oluşturan ~3200-9300 Ohm.m aralığında değişen yüksek özdirençli kireçtaşının 20-90m arasında yüzeye yakın olduğu, 110-185m arasında ise 40m'den itibaren daha derine devam etmektedir. Tom-1 kesitinin başlangıcından 140m'ye kadar olan kısımda yer alan düşük özdirençli tortul tabakaların içerisinde tabandaki kireçtaşı birimi ile ilişkilendirilmesi mümkün bloklar görülmektedir. 150m'den sonra gözlenen düşük özdirençli sahip değerlerin ~30m kalınlığındaki su içeriği yüksek olan tortul katmana ait olduğu düşünülmektedir.

Tom-2 kesitinde (Şekil 4.31) 175m'ye kadar ~20m kalınlığında, 175m'den sonra kalınlığı artan düşük öz dirence sahip tortul katmanı görülmektedir. Yaklaşık 40-190m arasında takip edilebilen ve 40m derinlik değerinde 110-140m arasında 850-1780 Ohm.m aralığında yüksek öz direnç değerine sahip taban formasyonu tortul katmanın altında yer almaktadır. 20-60m ve 200-260m'ler arasında yüzey tortul katman içinde yüksek öz dirençli birimler mevcuttur.

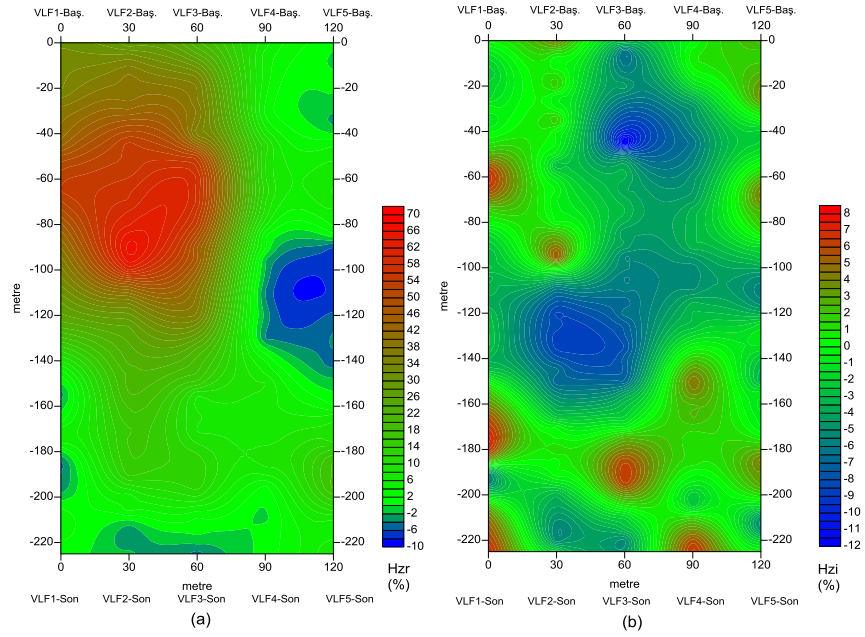
4.1.2.2.2 VLF-EM Yöntemi. VLF-EM yöntemi arazi çalışmaları kapsamında; 5 adet 30m aralıklı birbirine paralel 225m boylu profillerde üç frekansta (18.1kHz, 22.1kHz, 23.4kHz) toplamda 1125m'lik VLF-EM ölçümleri alınmıştır. Alansal inceleme amaçlı Şekil 4.29'da verilen profil aralıkları 30m ve örnekleme aralıkları 5m olan 5 profilin ölçüm alınan üç frekansa için sonuçları irdelenmiştir.

Toplanan verilerin gürültü oranının fazla olup olmadığını tespit etmek için toplam alan değişimleri incelenmiş ve 18,1kHz frekansının 0-52 mA/m, 22,1kHz'in 5-10,6 mA/m ve 23,4kHz'in 1-23 mA/m aralığındaki bant aralıklarında değiştiği gözlenmiştir.

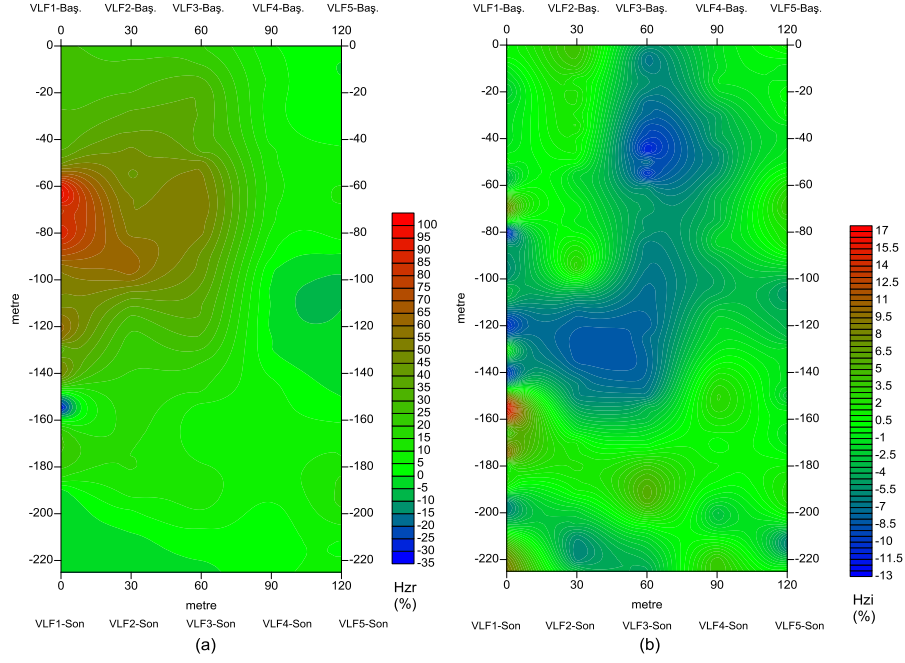
Alansal bazda ölçüm yapılan profillerde 18,1kHz, 22,1kHz ve 23,4kHz frekansları için gerçel ve sanal alan bileşen değişimleri haritalanmıştır (Şekil 4.32, 4.33 ve 4.34).



Şekil 4.32 18,1kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

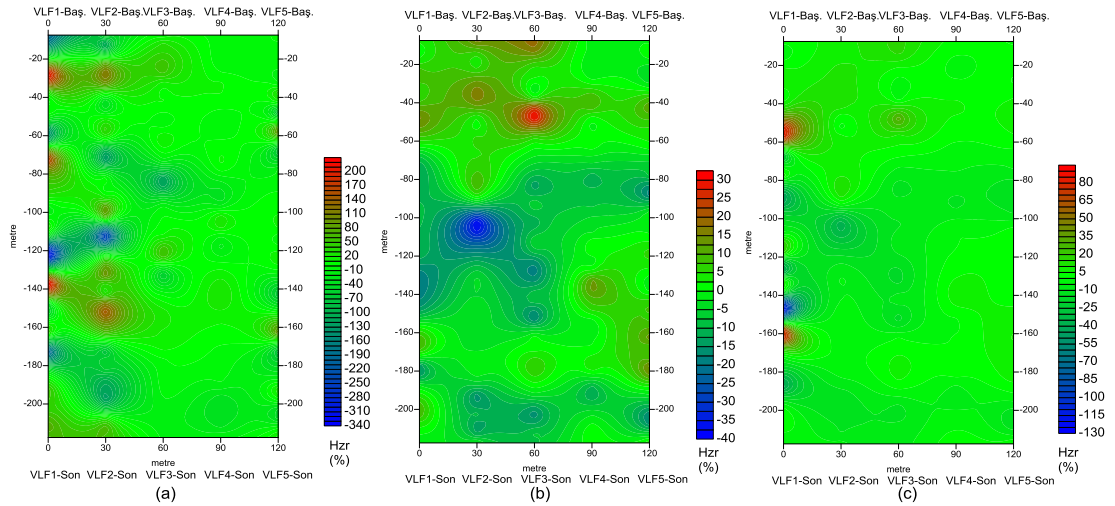


Şekil 4.33 22,1kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

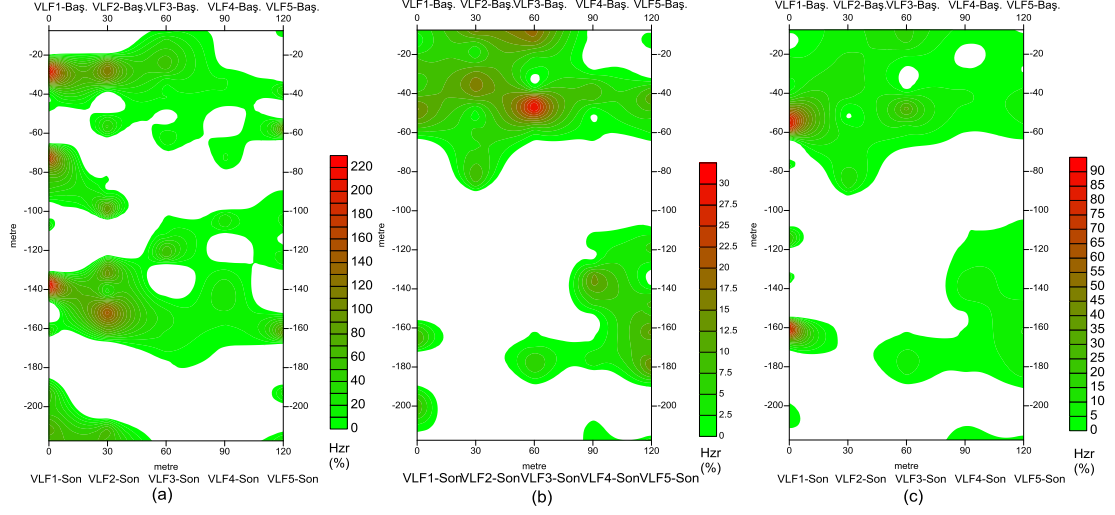


Şekil 4.34 23,4kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

Veri işlem amacı ile gerçel alan bileşenlerine Fraser ve Karous-Hjelt süzgeçleri uygulanmıştır. Kullanılan üç frekansa ait Fraser süzgeç çıktıları Şekil 4.35 ve Fraser süzgeci kontur haritalarında pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler Şekil 4.36'daki gibidir.

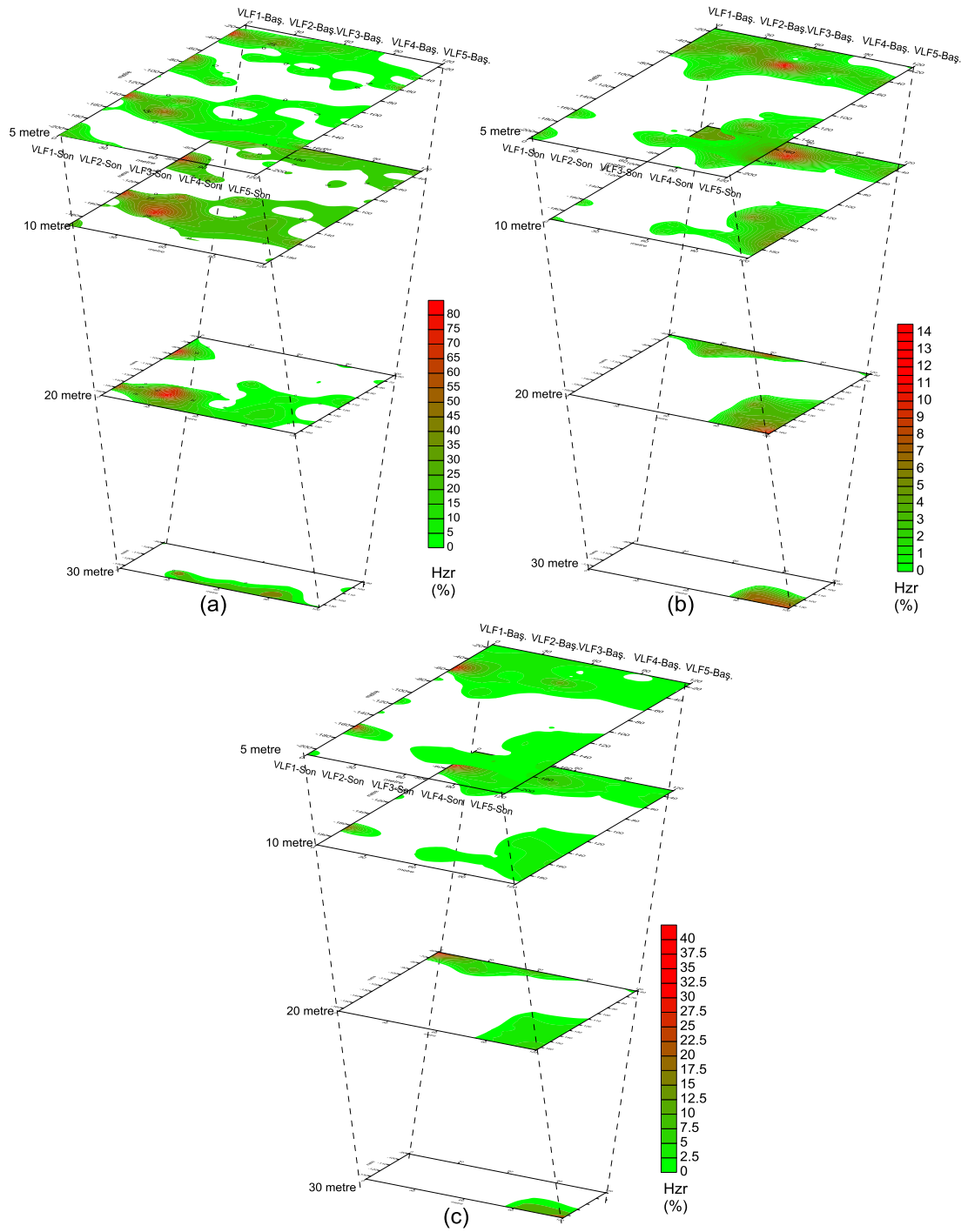


Şekil 4.35 Frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,1kHz, (c) 23,4kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.



Şekil 4.36 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,1kHz, (c) 23,4kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.

Çalışma ortamının öz direncine ve kullanılan frekansa göre etki derinliği yaklaşık olarak 30m bulunmuştur ve 5m, 10m, 20m, 30m, derinlik değerleri için iletkenlik değişimi Karaous-Hjelt süzgeci ile gözlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.36).



Şekil 4.37 VLF-EM frekanslarına ait; (a) 18,1 kHz, (b) 22,1 kHz ve (c) 23,4 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları.

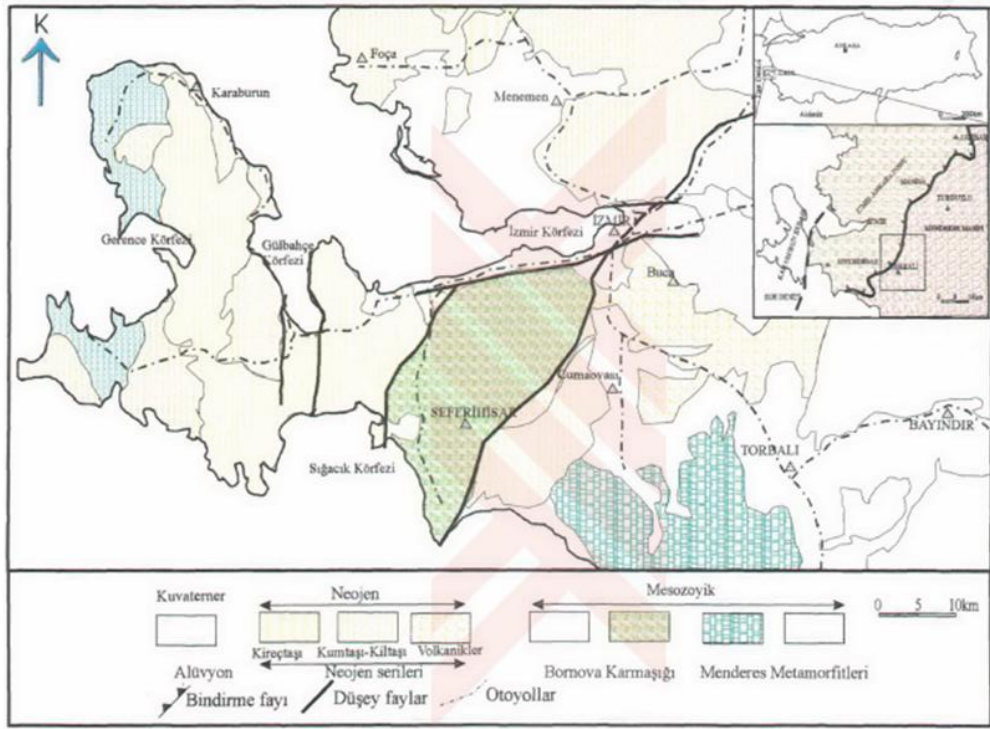
4.2 İzmir İli Uygulama Bölgesi

4.2.1 İzmir'deki Çalışma Alanlarının Genel Jeolojisi

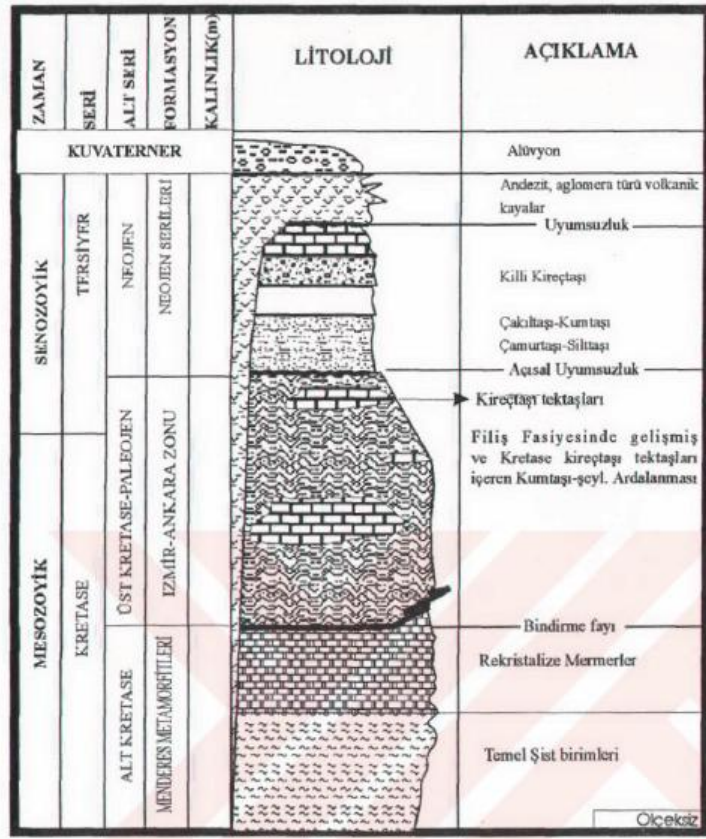
Büyük Menderes Havzasının kuzey kesimlerini oluşturan Torbalı ovası geniş bir alüvyonel alan içerisinde kalmaktadır. Ovanın doğu ve batısını oluşturan yüksek kesimlerinde Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar yer almaktadır (Özer, 1992). Metamorfik birimler orta sıcaklık ve düşük basınç metamorfizması sonucu oluşmuş ve genişleme tektoniği sonucu yükselmişlerdir (Akartuna, 1962). Masifin kalınlığı Ege Bölgesi'nde yapılan çalışmalarda 1-5 km arasında değişmektedir (Kaya, 1999).

Sıkışma tektoniğiyle Menderes masifini oluşturan Metamorfik kayalar üzerine İzmir-Ankara Zonu'nda yer alan, filiz fasiyesinde gelişmiş tortul kayalar (Bornova Karmaşığı) bindirme fayı ile yerleşmişlerdir (Erdoğan, 1990). Kretase sonunda bölgede grabenleşme tektoniği hakim olmuş ve birimler yükselmişlerdir (Şekil 4.38). Tüm bu birimlerin üzerinde gösel ortamda oluşmuş Neojen (Miyosen-Pliyosen) tortul serileri uyumsuzlukla gelmektedir (Şekil 4.39). Neojen tortul seriler ise, çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı kiltaşları ve üst seviyelerde killi kireçtaşlarından oluşmaktadır (Koca, 1995).

Pliyosen öncesi Menderes Masifinde sıkışma tektoniği etkin olmuş ve bunun sonucu olarak ters kıvrılmalar ve sünümler olmuştur (Kaya, 1999). Bölgedeki kayalar Alpin ve Hersiniyen orojenezinden etkilenerek kıvrılmış ve kırılmışlardır (Akartuna, 1962). Bölgede oluşan özellikle Üst Pliyosen'de başlayan domsal yükselimler D-B yönlü graben çöküntü ortamlarının gelişmesine neden olmuştur. Üst Pliyosen'de oluşan çöküntü alanları önceden oluşmuş kayaların (Menderes Masifi ve Bornova Karmaşığı'na ait tortullar) ayrılan-aşınan-taşınan malzemeleriyle dolmaya başlamıştır. Havzaya gelen tortullar, havza kenarında çakıltası-kumtaşı gibi kaba tanelilerden, havza ortasına doğru nispeten daha ince taneli, siltli ve killi sedimanlardan oluşmaktadır. Neojen öncesinde ve sonrasında oluşmuş tüm kayaların aşınıp taşınması ve taşınan malzemelerin biriktirilmesi ile de bölgedeki alüvyonlar oluşmuştur.



Şekil 4.38 İzmir ve çevresinin jeoloji haritası (Baba ve diğer., 2001'den değiştirilerek).



Şekil 4.39 İzmir çevresinin geliştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Koca,1995'ten değiştirilerek).

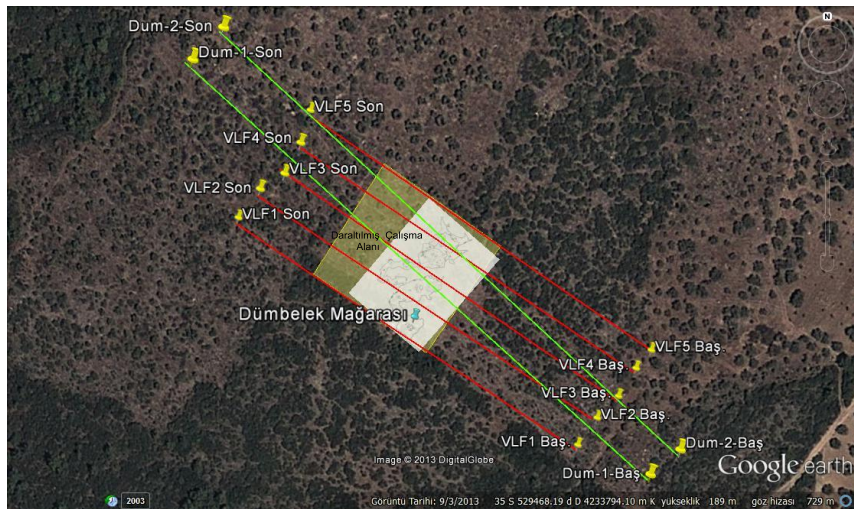
4.2.2 Çalışma Alanlarında Yapılan Jeofizik Uygulamalar

4.2.2.1 Dümbelek Mağarası Çalışma Alanı

Torbalı ilçesi İstiklal (Yazıbaşı) mevkiisi Dümbelek Mağarasının bulunduğu çalışma alanında karstik boşluk yapısının jeofizik yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. Özdirenç Tomografi (ERT) ve VLF-EM yöntemleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Çalışma alanının genel görünümü Şekil 4.40a'da ve mağara giriş ağzı Şekil 4.40b'de verilmektedir. Özdirenç Tomografi, ve VLF-EM profillerinin doğrultularını, başlangıç ve bitiş noktalarını gösteren uydu görüntüsü Şekil 4.41'de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4.40 Dümbelek mağarası; (a) çalışma alanı genel görünüm, (b) giriş ağzı.



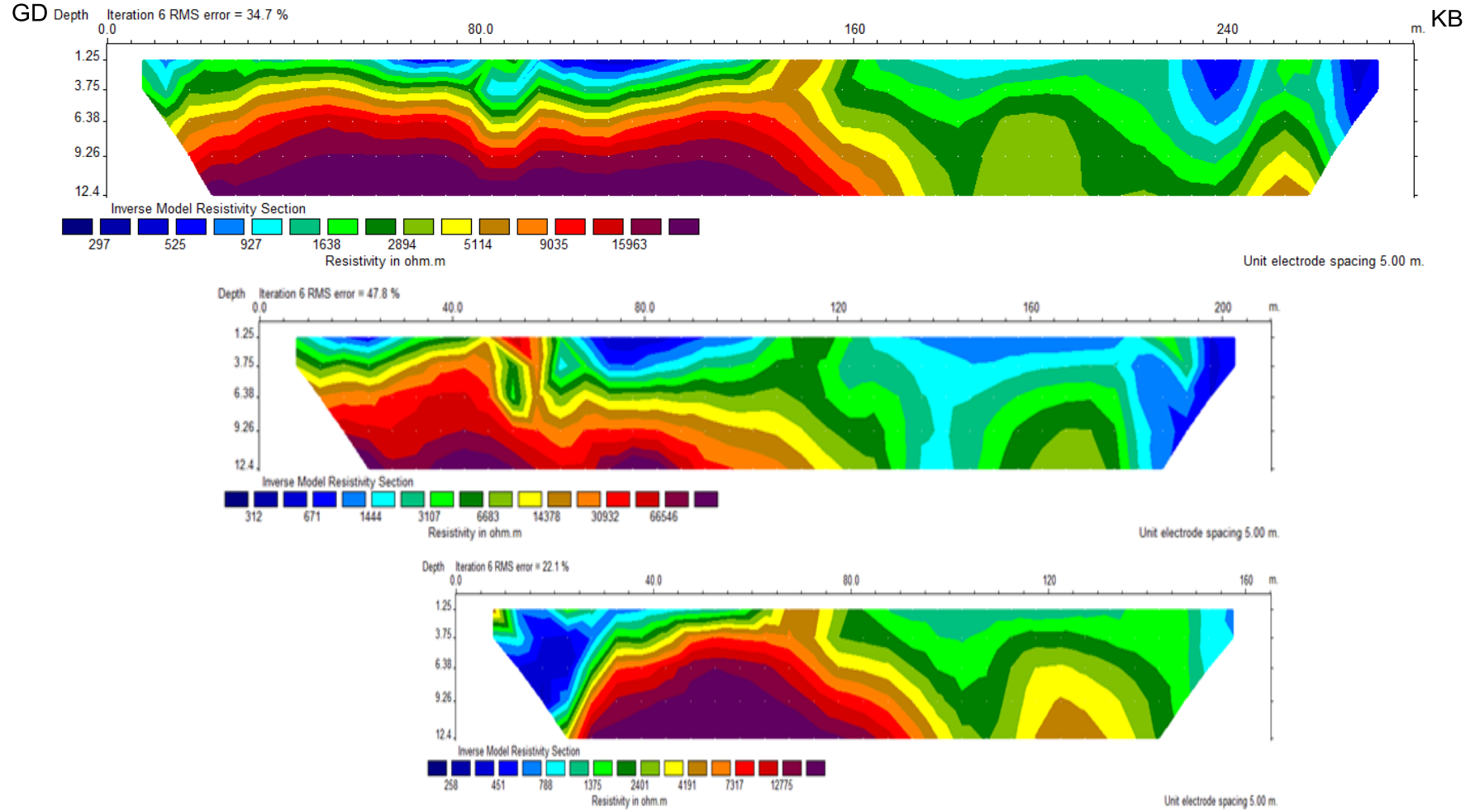
Şekil 4.41 Jeofizik ölçüm profilleri uydu görüntüsü.



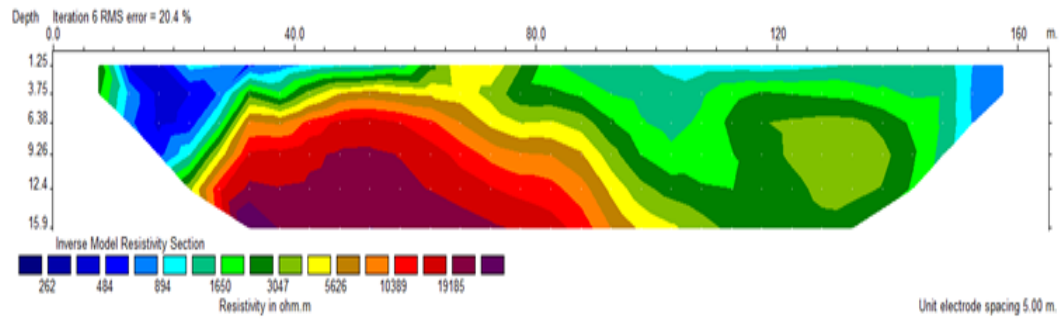
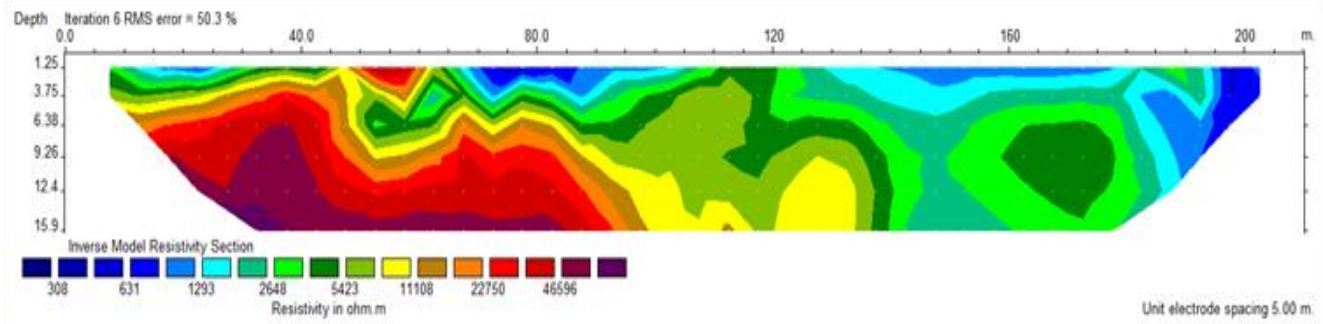
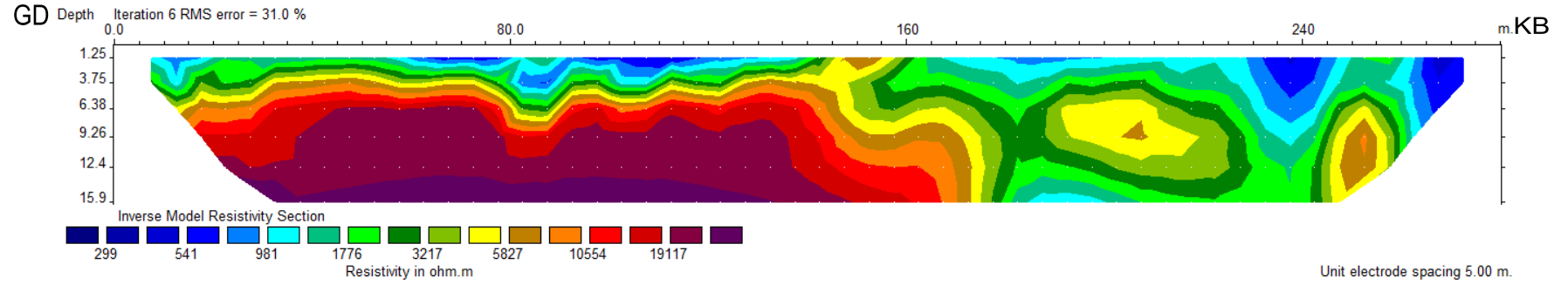
Şekil 4.42 Dümbelek Mağarası çalışma alanında gerçekleştirilen jeofizik uygulamalardan görüntüler.

4.2.2.1.1.Özdirenç Tomografi Yöntemi. Dümbelek mağarası; giriş ağzından itibaren K, KD yönünde gelişen ~5-6m derinliğe ulaşan ana galeriye bağlı gelişen dar geçişli ~10-13m derinliğe kadar oluşmuş nispeten yatay ve D istikametinde gelişen bir mağaradır.

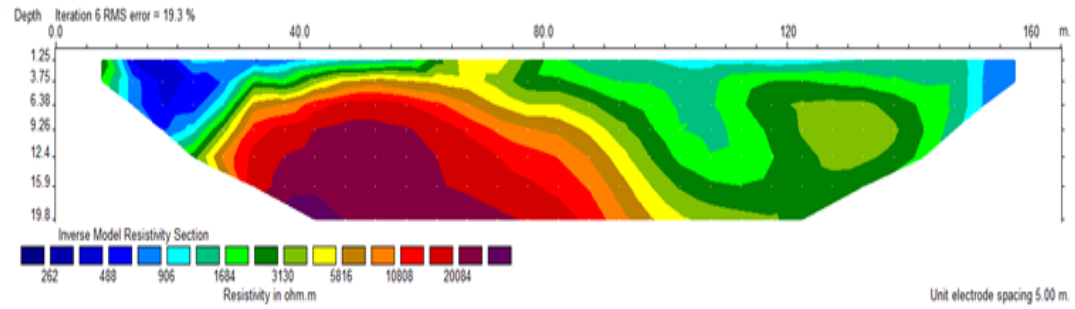
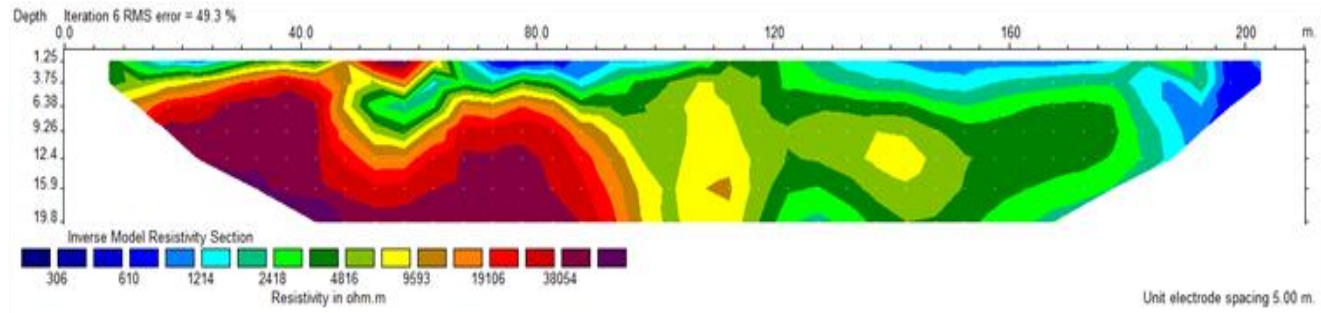
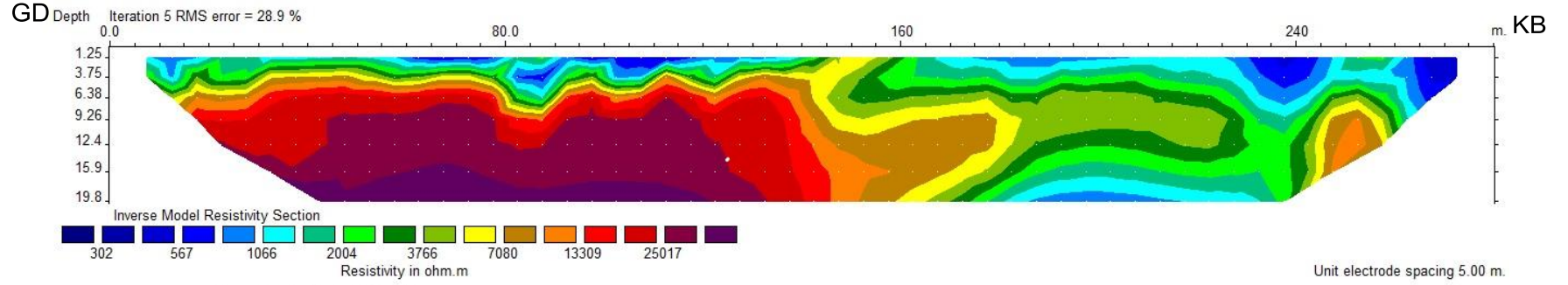
Torbalı ilçesi İstiklal (Yazıbaşı) mevkiisi Dümbelek Mağarasının bulunduğu çalışma alanında; 2 adet birbirine paralel 20m aralıklı ve elektrot aralığı 5m olan 280m'lik profillerde Özdirenç Tomografi ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.41'de gösterilen çalışma alanında Dum-1 ve Dum-2 olarak adlandırılmış tomografi ölçümlerinin Res2Dinv bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. Dum -1 profiline ait ters çözüm kesitleri Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45'de ve Dum -2 profiline ait ters çözüm kesitleri Şekil 4.46, 4.47, ve 4.48'de verilmiştir.



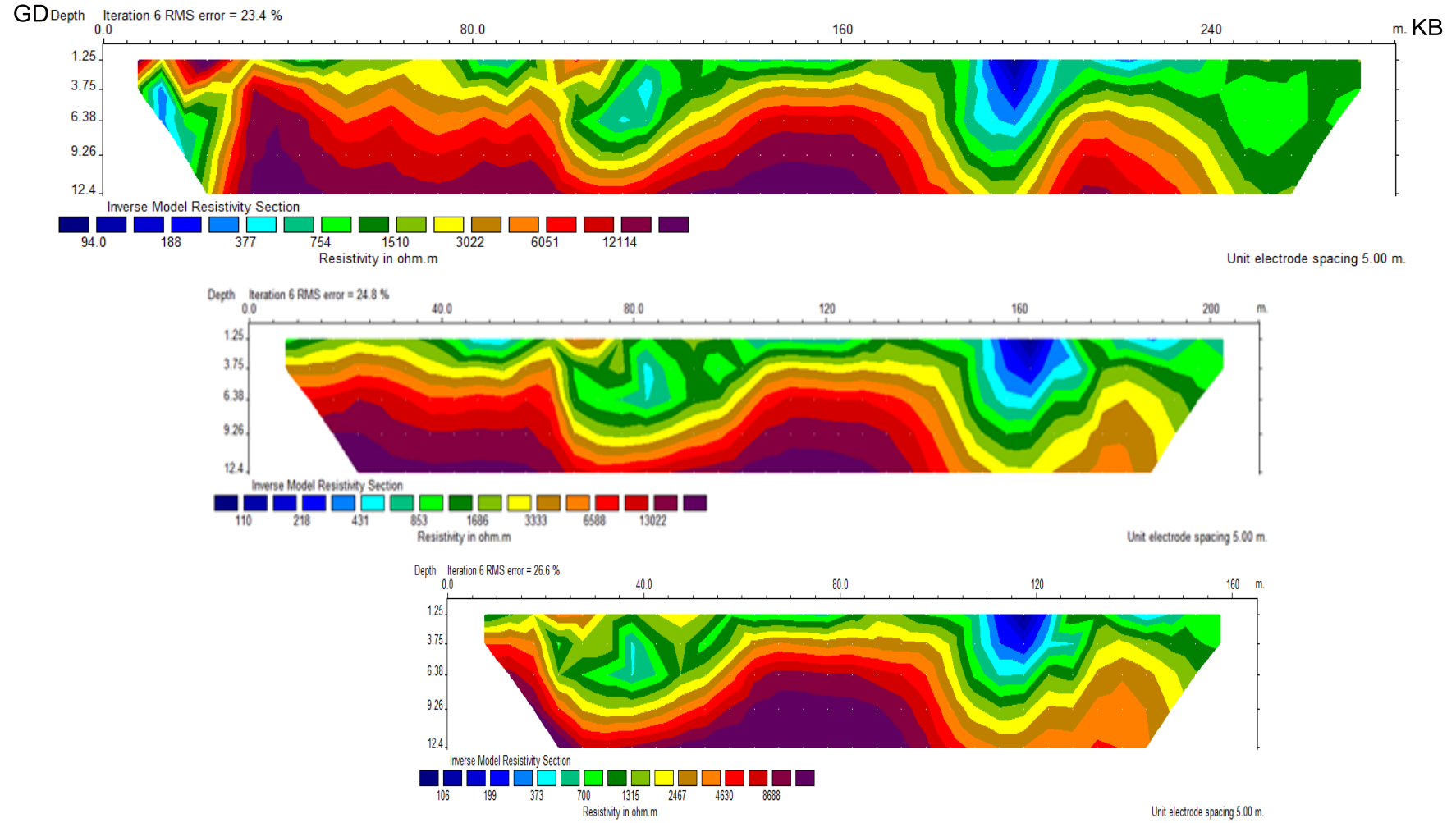
Şekil 4.43 Dum -1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.



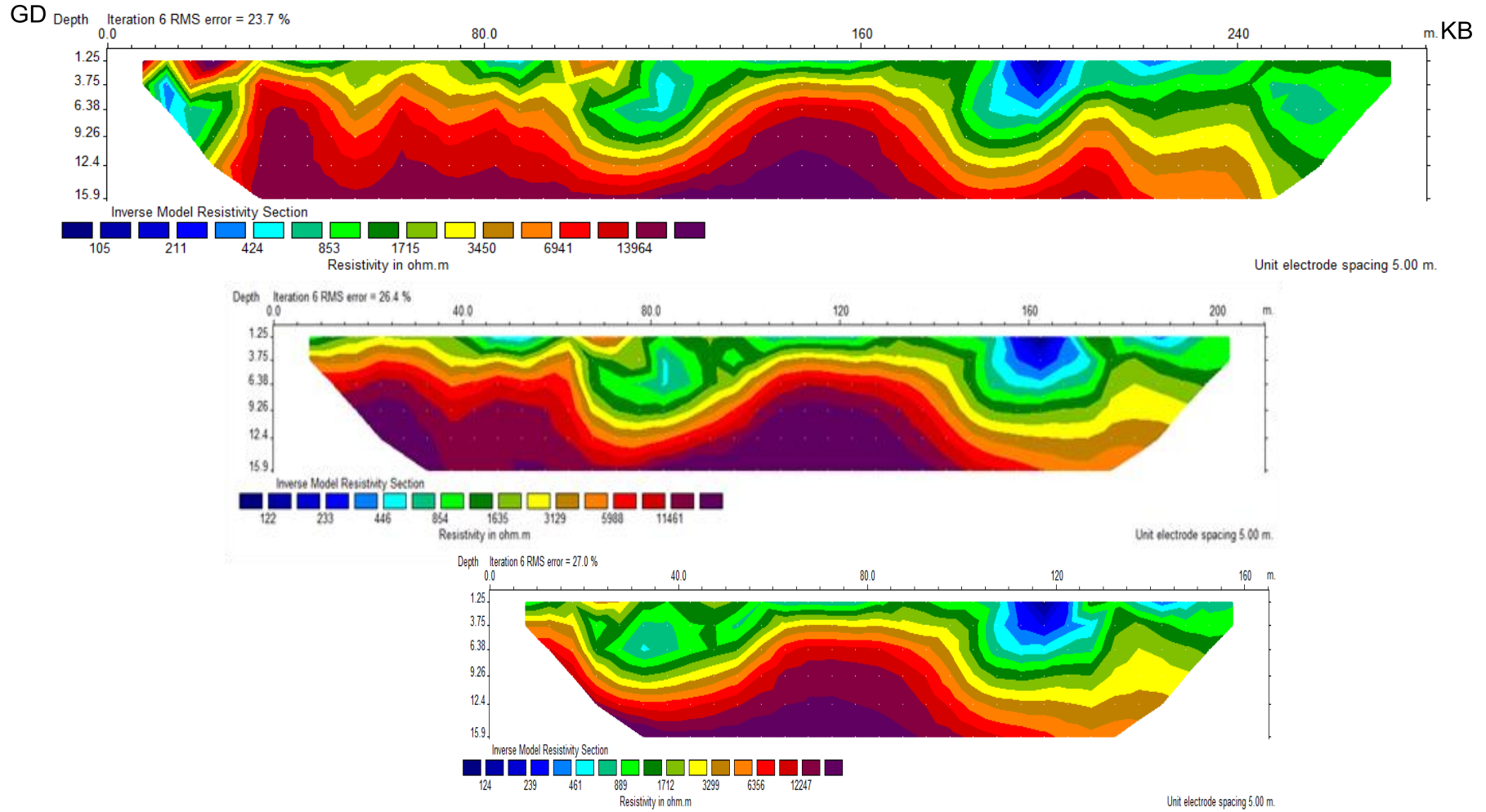
Şekil 4.44 Dum -1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 8 seviyeli ters çözüm kesiti.



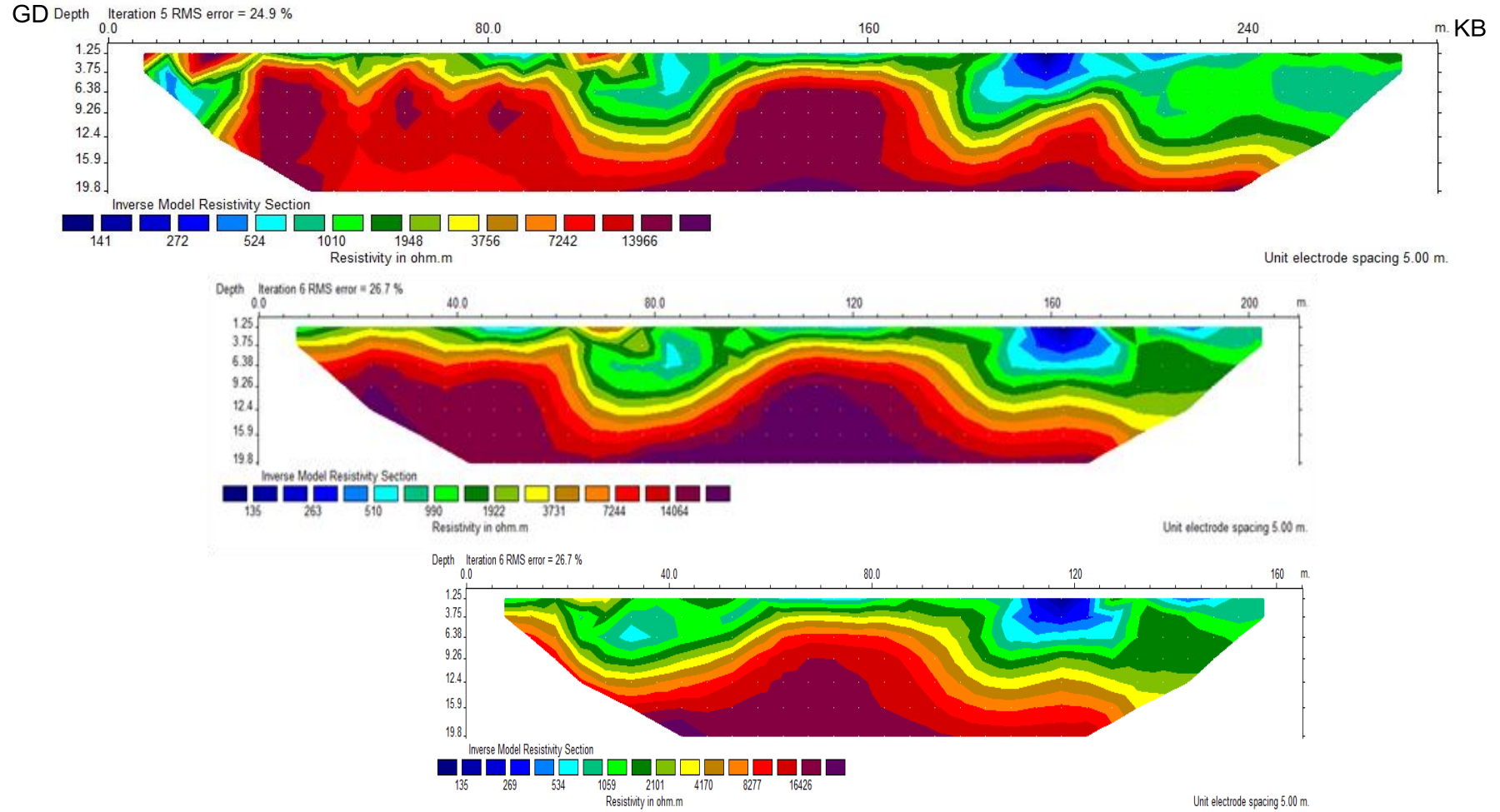
Şekil 4.45 Dum -1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.



Şekil 4.46 Dum -2 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.



Şekil 4.47 Dum -2 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 8 seviyeli ters çözüm kesiti.



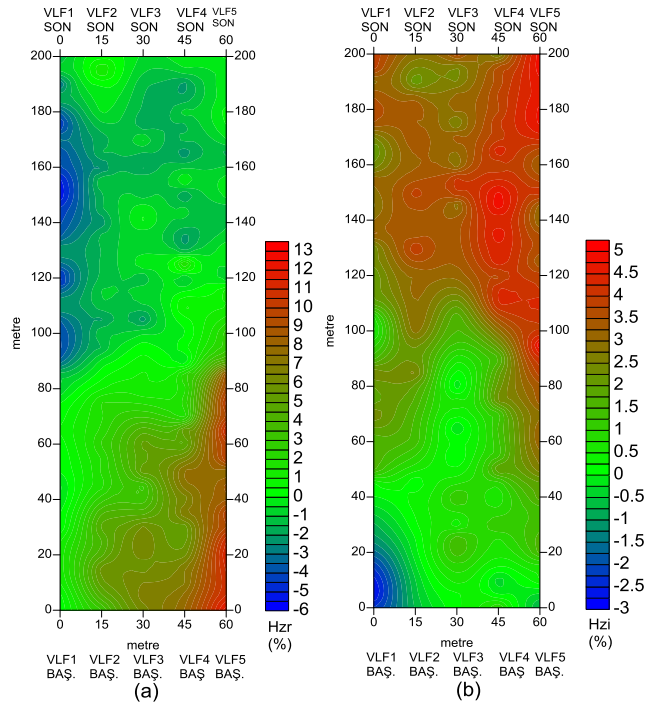
Şekil 4.48 Dum -2 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.

GD-KB yönelimli Dum-1 hattı incelendiğinde (Şekil 4.45) 140-165m'ler haricinde ~3m kalınlığında özdirenç değeri düşük örtü tabakası görülmektedir. Profilin başlangıcından 140m'ye kadar karstik yapının geliştiği yüksek özdirençli (13300-25000 Ohm.m) kireçtaşı yüksek yer almaktadır. 140m'den kesitin sonuna doğru uzanan kireçtaşına göre daha düşük özdirençli bölge, Dum-1 hattı ortasına denk gelen mağara giriş ağzının devamında yer alan ana galerinin boşluk etkisi ile ilişkilendirilebilir. Kesitin sonunda 245-260m'lerdeki yüksek özdirençli yapı gelişimi devam eden olası karstik yapı olarak yorumlanabilir. İnceleme alanı kesitlerinde karstik yapıyı tanımlayan belirtilerin daha iyi analiz edilmesi için veri seti daraltılarak detaylandırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda; öncelikle yüksek özdirençli değerlerin etkisinden kurtulmak için kesitlerin baş ve son 7 verisi ile bu veri setinin ilk 9 verisi çıkartılarak aynı hattın üç veri grubu oluşturularak 10, 8 ve 5 seviye analizleri yapılmıştır (Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45). Böylece ortamda bulunan mağaranın ana galerisini oluşturan karstik yapının boşluk uzanımı seviye kesitlerinde daha belirgin ortaya konulmuştur.

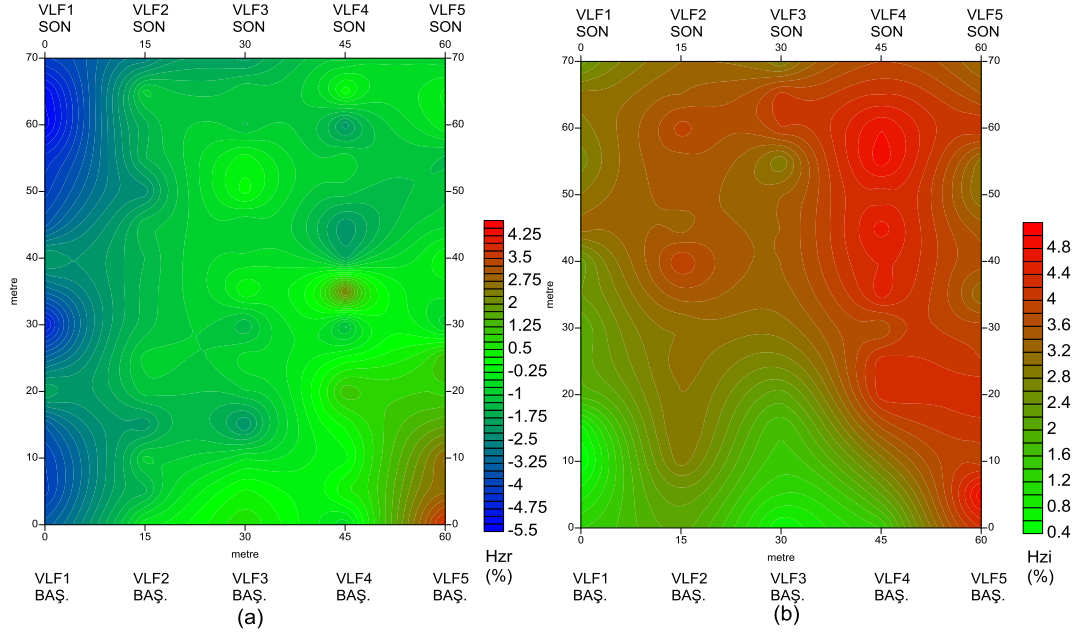
Dum-2 profiline ait özdirenç değeri yüksek olan birim; 30-95m arasında 4m'den daha derinden ilerleyerek 125-175m'lere doğru daha yüksek özdirenç değerleri sunarak tekrar yüzeye yaklaşmaktadır. Kesitin sonuna doğru tabanı oluşturan bu birimin derinliği artmaktadır. Bu birim içerisinde elde edilen çok yüksek özdirençli belirtiler bölgedeki karstik boşluk ve çatlak sistemleri olarak yorumlanabilir. Karstik boşluğa olası yüzey suyu girişini sağlayan holler 15-30m ve 95-110m'lerde yüzey belirtisi olarak görülmektedir (Şekil 4.48). 180-240m arasındaki su içeriği yüksek düşük özdirençli birimin devamında kesitin başlangıç bölümüne göre daha kalın tortul seviye bulunmaktadır. Tomografi kesitlerinde yer alan ikinci veri grubu için baş ve sondan 7, üçüncü veri grubu için ikinci kesitin sadece baş kısmından 9 veri çıkartılarak seviye analizi yapılmıştır (Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48).

4.2.2.1.2 VLF-EM Yöntemi. VLF-EM yöntemi arazi çalışmaları kapsamında, Torbalı ilçesi İstiklal (Yazıbaşı) mevkişi Dümbelek Mağarasının bulunduğu çalışma alanında 5m örnekleme aralıklı ve profiller arası 15m olmak üzere 3 farklı frekansta (20,3kHz, 22,6kHz ve 26,7kHz) 5 adet birbirine paralel 200m'lik ölçümler alınmıştır (Şekil 4.41). Öncelikle 60x200m'lik geniş ölçekli alana ait haritalar oluşturulmuştur. 60x70m'lik daraltılmış alan ile mağaranın konumlandığı bölgenin ölçüleri detaylı incelenmiştir. Frekansların sinyal/gürültü oranının fazla olup olmadığını tespit etmek için 60x200m'lik geniş ölçekli alanın toplam alan değişimleri izlenmiştir. 20,3kHz frekansının 13-17,4 mA/m, 22,6kHz'in 12-26 mA/m ve 26,7kHz'in 85,5-100,5 mA/m bant aralıklarında değiştiği gözlenmiştir.

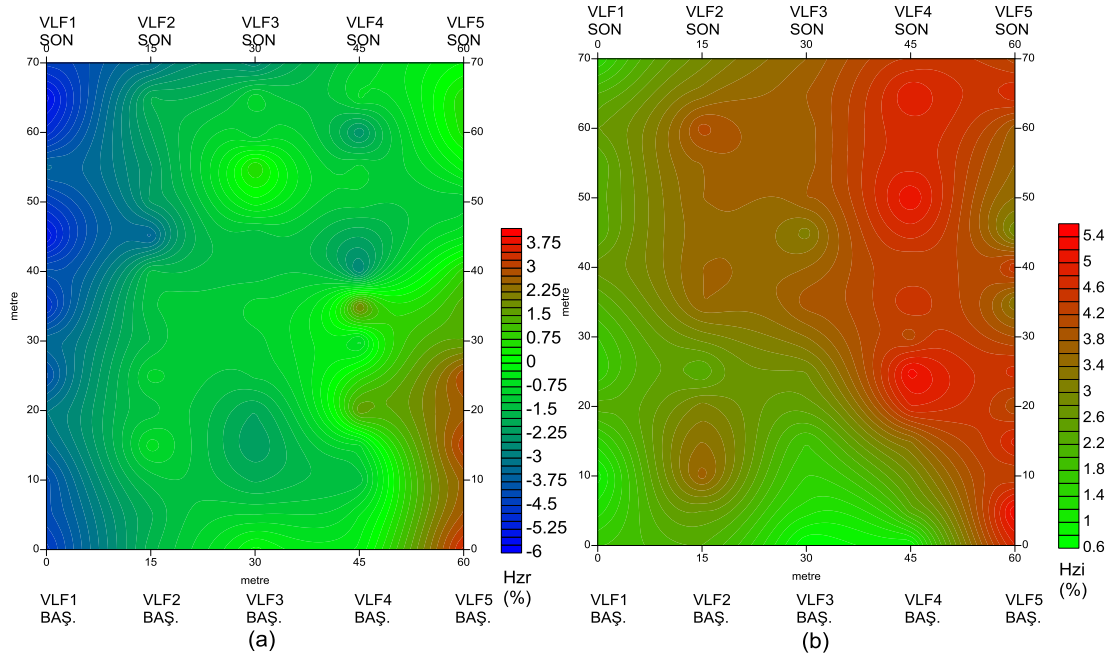
Mağaranın konumlandığı bölgeyi detaylandırma amaçlı profil başından 18 ve sonundan 8 ölçüm değeri çıkarılarak dar alan incelenmiştir (Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52). Alansal ölçüm profillerinin 60x200m'lik geniş alana ait 20,3kHz frekansı gerçel ve sanal alan bileşenleri Şekil 4.49'da ve 60x70m'lik daraltılmış alanda 20,3kHz, 22,6kHz ve 26,7kHz frekanslarına ait gerçel ve sanal alan bileşen görüntüleri Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52'de verilmiştir.



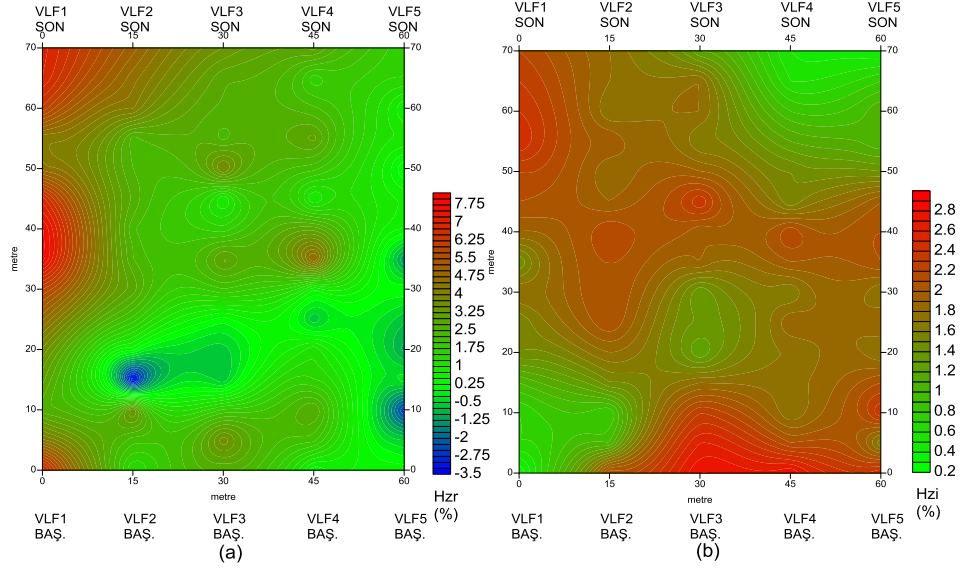
Şekil 4.49 Dümbelek Mağarası geniş alanda 20,3kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.



Şekil 4.50 20,3kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

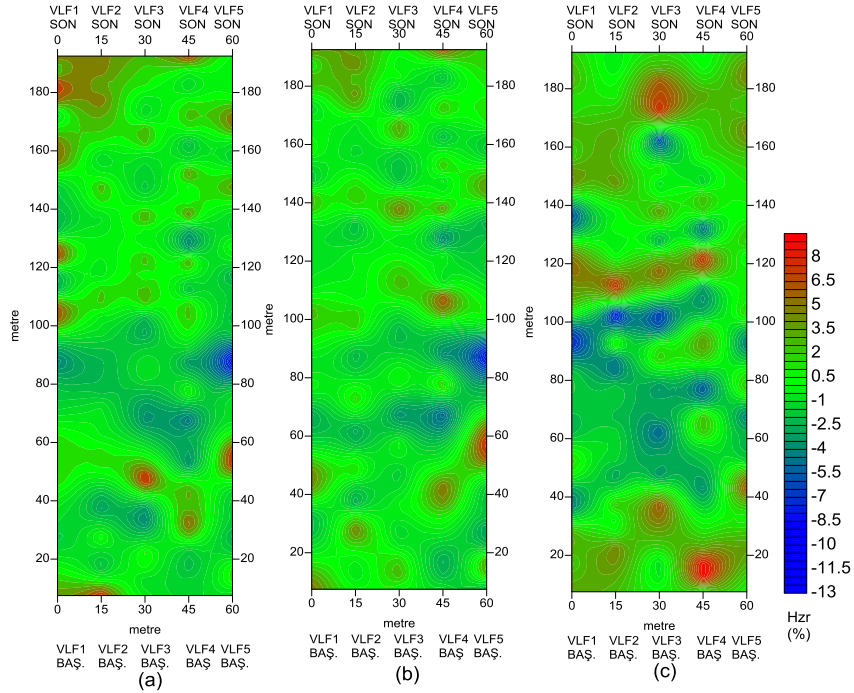


Şekil 4.51 22,6kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

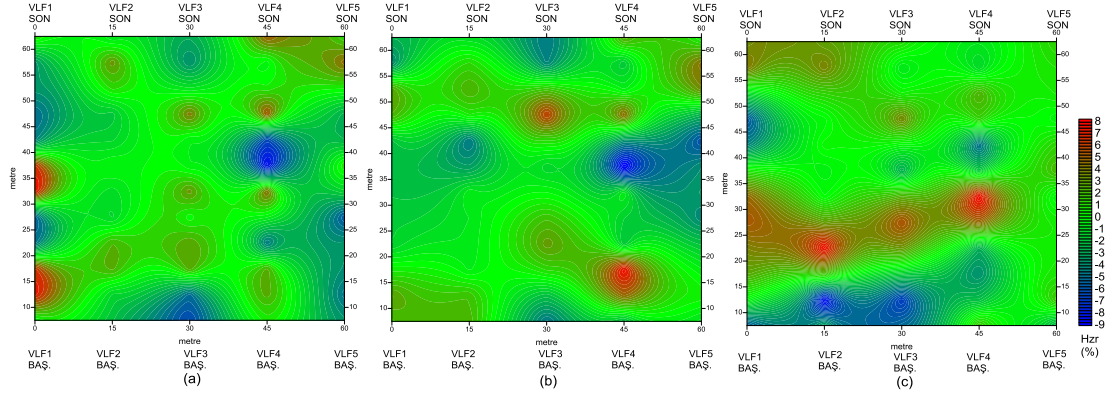


Şekil 4.52 26,7kHz frekansı için beş profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

Veri işlem amacı ile gerçel alan bileşenlerine Fraser ve Karous-Hjelt süzgeçleri uygulanmıştır. Üç frekansta ölçüm yapılan 60x200m’lik geniş ölçekli alana ve 60x70m’lik daraltılmış alana ait Fraser süzgeç çıktıları sırasıyla Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de verilmiştir.

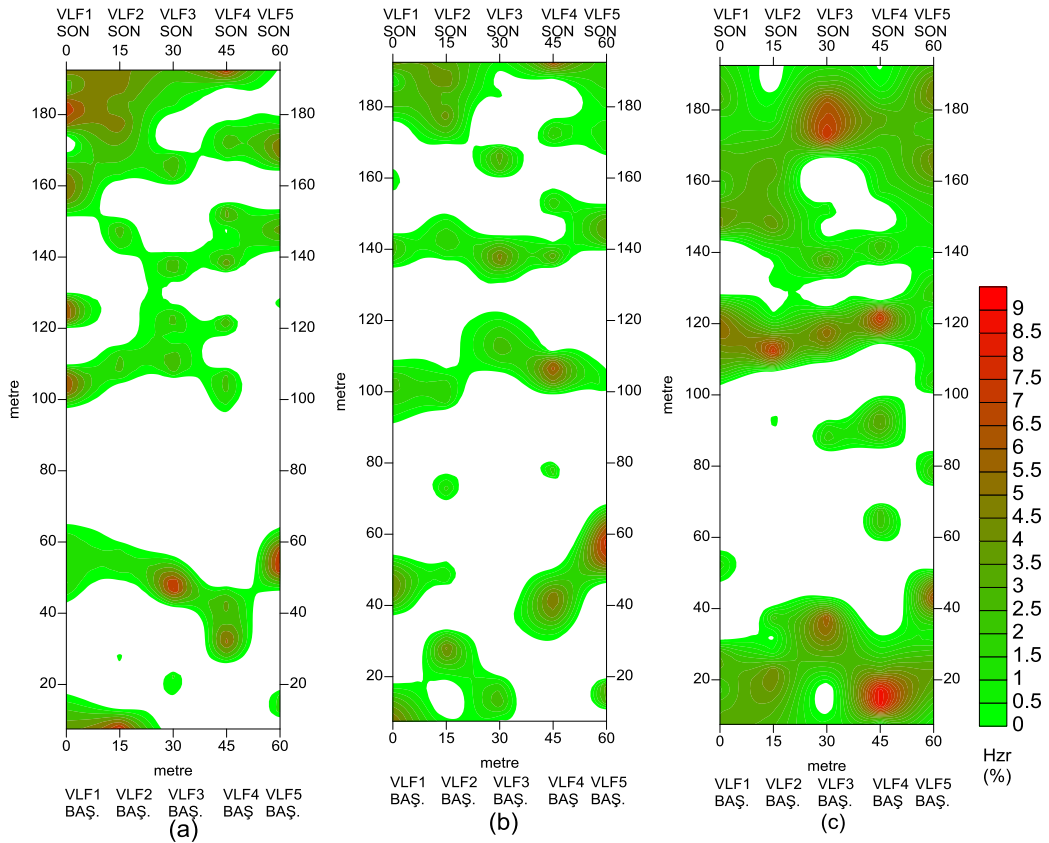


Şekil 4.53 Dümbelek Mağarası geniş alanda frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.

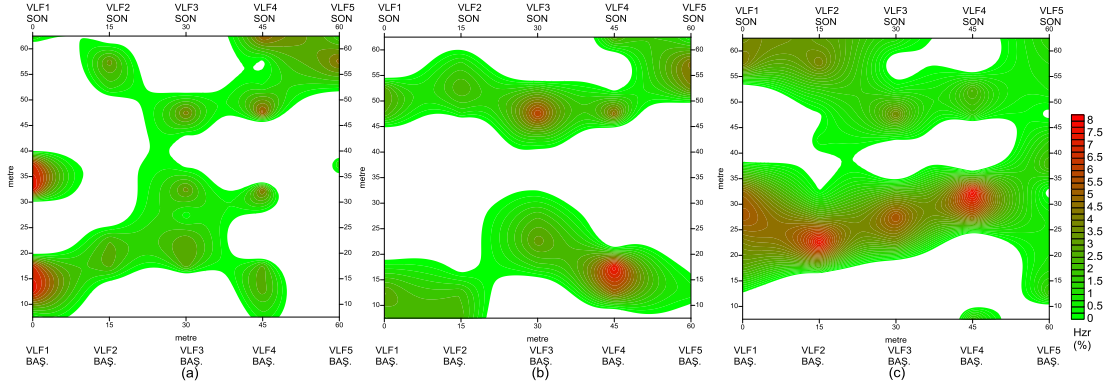


Şekil 4.54 Frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.

60x200m'lik geniş ölçekli alana ve 60x70m'lik daraltılmış alana ait Fraser süzgeci kontur haritalarında pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler sırasıyla Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da verilmektedir.

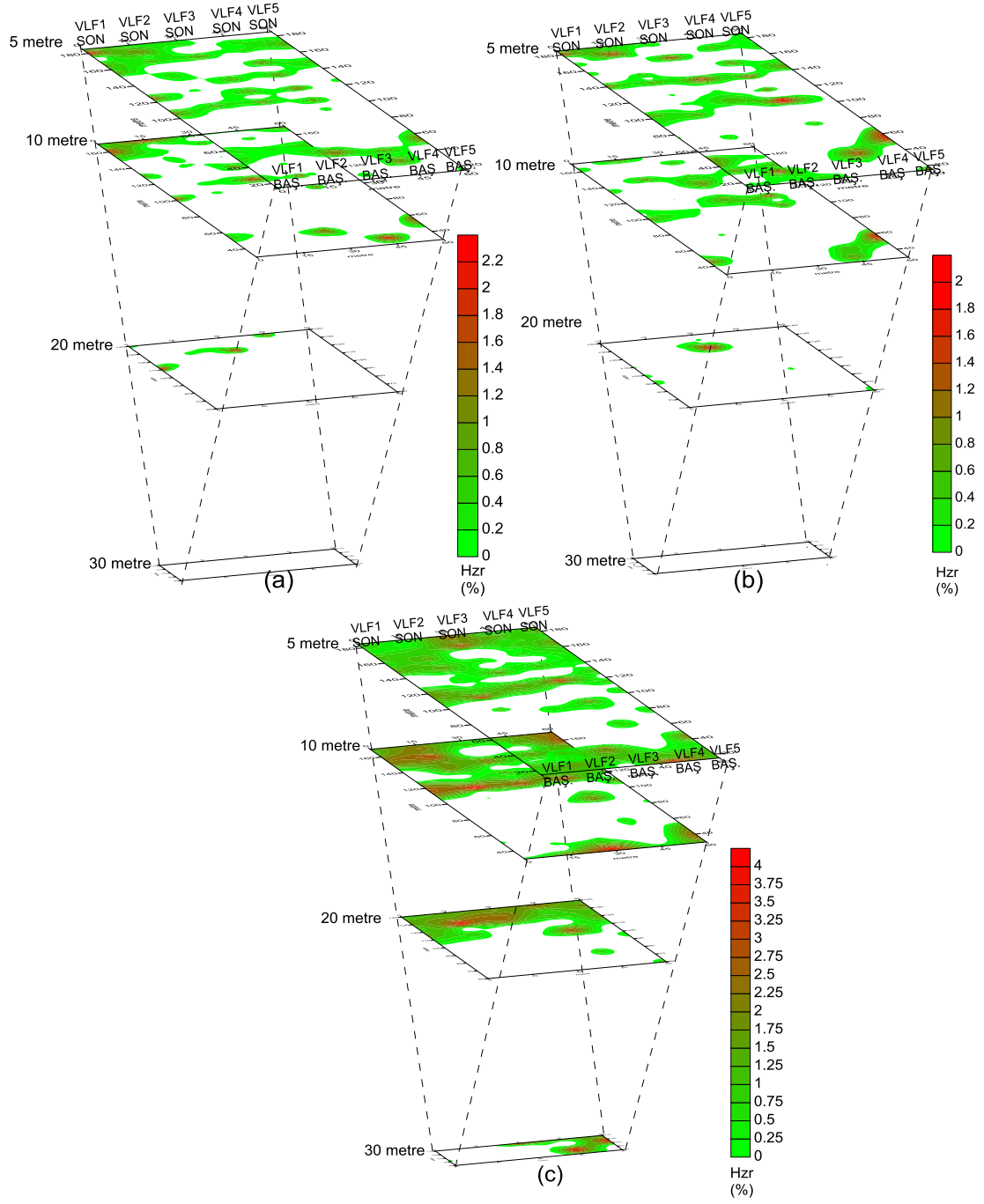


Şekil 4.55 Dümbelek mağarası geniş alanda Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.

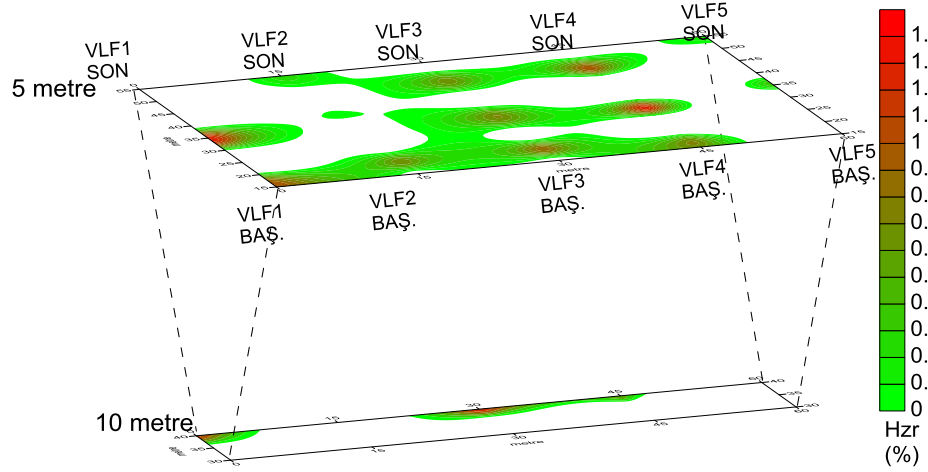


Şekil 4.56 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.

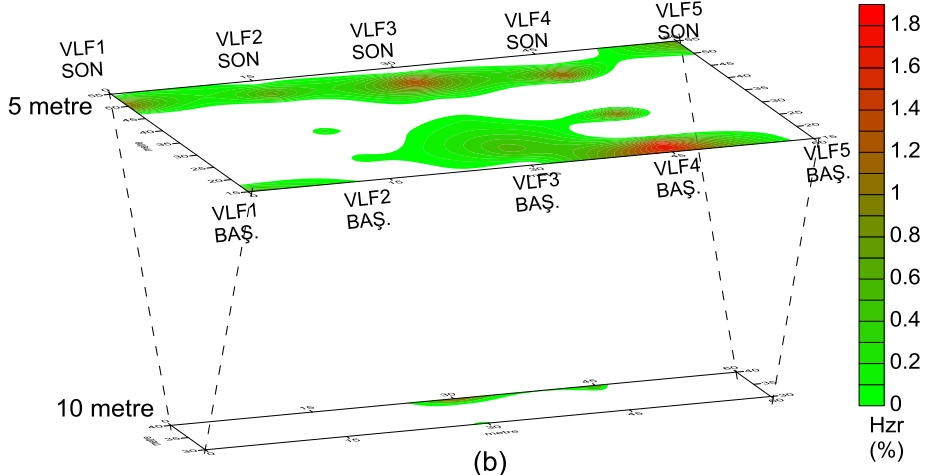
Çalışma ortamının öz direncine ve kullanılan frekansa göre 60x200m'lik geniş ölçekli alana ait etki derinliği yaklaşık 30m olarak bulunmuş ve 5m, 10m, 20m, 30m derinlik değerleri için iletkenlik değişimi Karaous-Hjelt süzgeci ile gözlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.57). 60x70m'lik daraltılmış alanın etki derinliği 10m olarak bulunmuş, 5m ve 10m derinlik değerleri için iletkenlik değişimi Karaous-Hjelt süzgeci ile gözlenmiştir (Şekil 4.58).



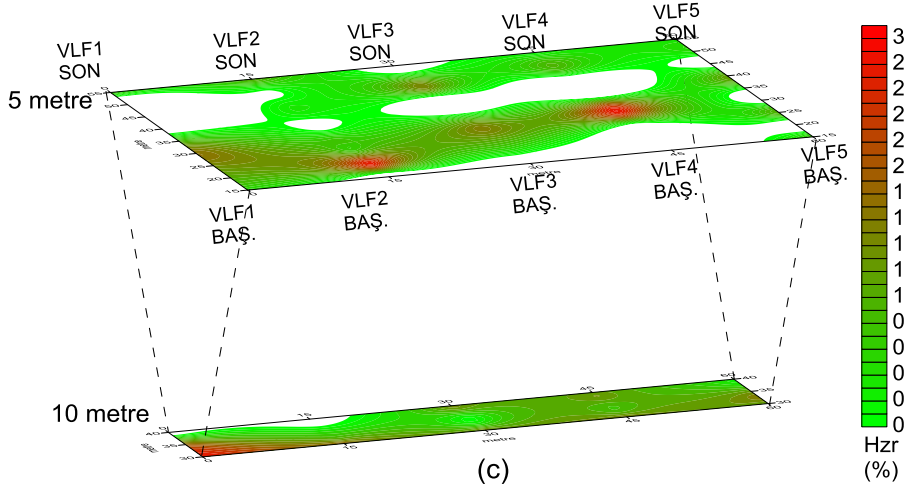
Şekil 4.57 Dümbelek Mağarası VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.58 Dümbelek Mağarası daraltılmış alan VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10m eş-seviye derinlik haritaları.

4.2.2.2 İncirli Mağarası Çalışma Alanı

Torbalı ilçesindeki ikinci çalışma alanını oluşturan, Kuşçuburun yöresi İncirli Mağarasının jeofizik yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. Özdirenç tomografi ve VLF-EM yöntemleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Çalışma alanının genel görünümü Şekil 4.59a'da ve mağara giriş ağzı Şekil 4.59b'de verilmektedir. Özdirenç Tomografi, ve VLF-EM profillerinin doğrultularını, başlangıç ve bitiş noktalarını gösteren uydu görüntüsü Şekil 4.60'da toplu olarak verilmiştir.



Şekil 59 İncirli mağarası; (a) çalışma alanı genel görünüm, (b) giriş ağzı.



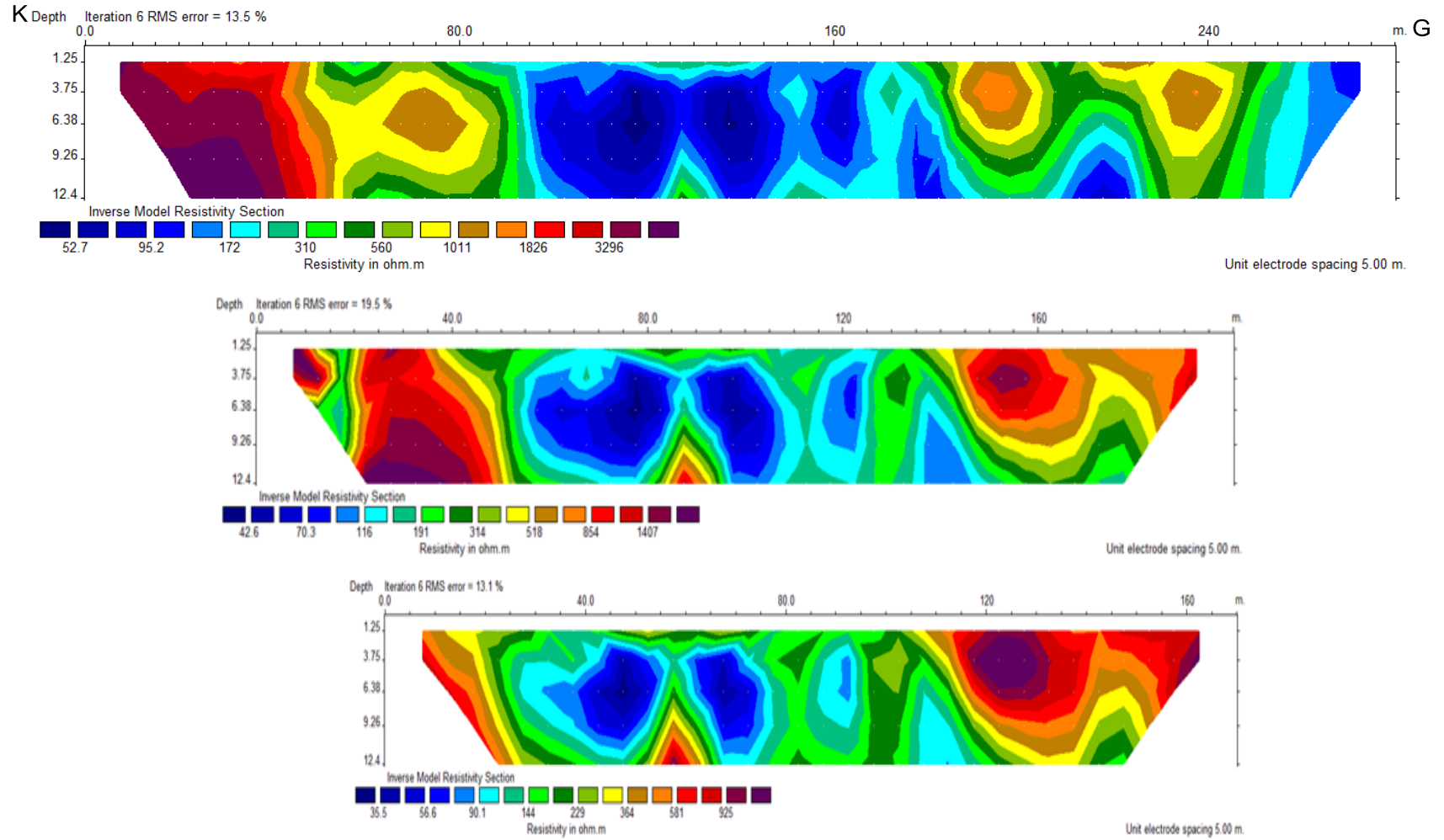
Şekil 4.60 Jeofizik ölçüm profilleri uydu görüntüsü.



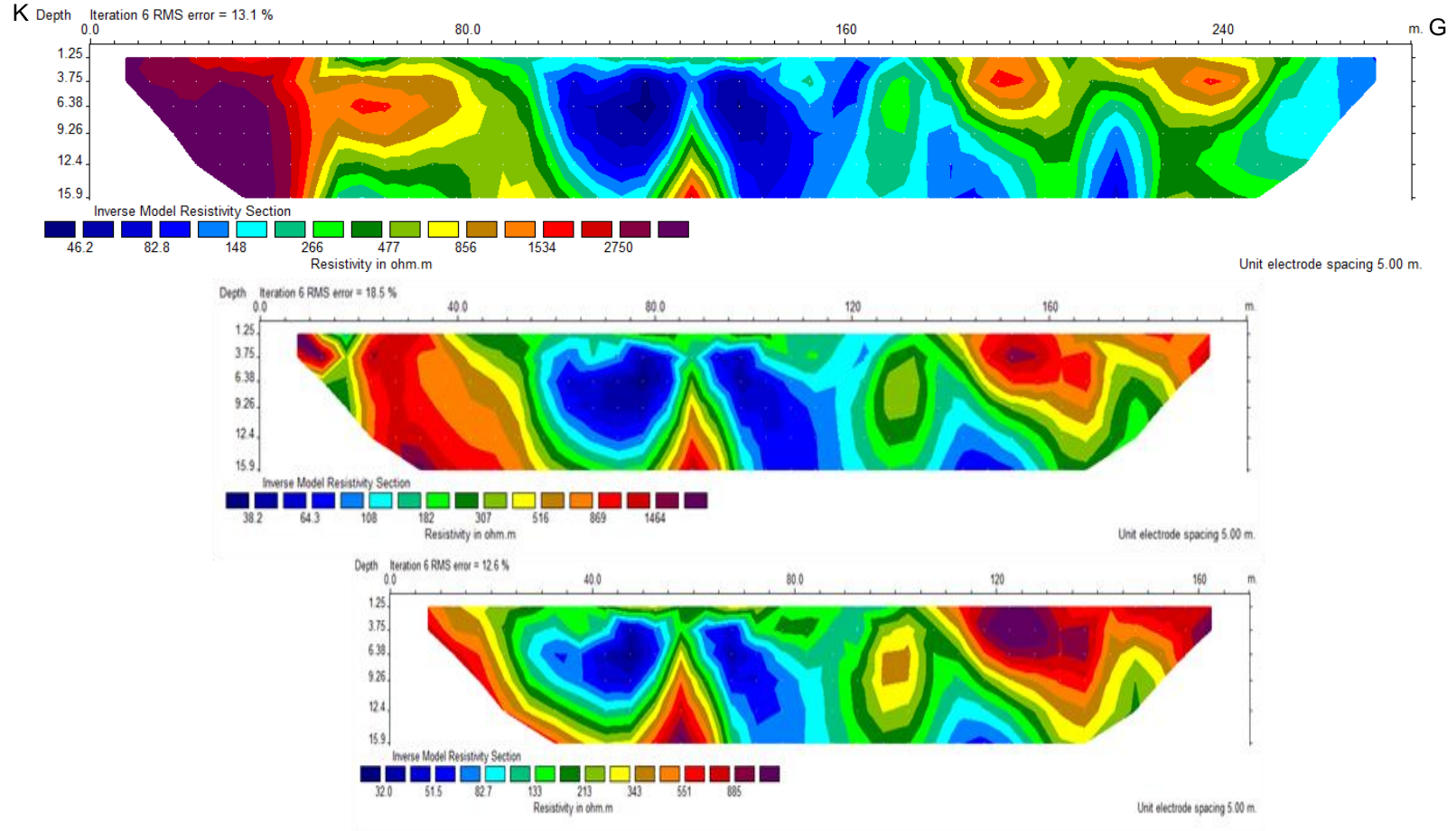
Şekil 4.61 İncirli Mağarası çalışma alanında gerçekleştirilen jeofizik uygulamalardan görünümüler.

4.2.2.2.1 Özdirenç Tomografi Yöntemi. İncirli mağarası; girişte ~3-4m derinliğinde KD istikametinde ve GD'ya uzanan iki ana galeriden oluşmaktadır. Mağara ilk galeriden GB istikametinde derinliği ve genişliği yer yer değişen tek koridor olarak G istikametine doğru İzmir-Aydın otopanını keserek GB yönünde gelişmektedir. Ölçümler, en uç noktada bulunan galeri üzerinde erime süreci sonucu oluşan boşlukların incelenmesi için gerçekleştirilmiştir.

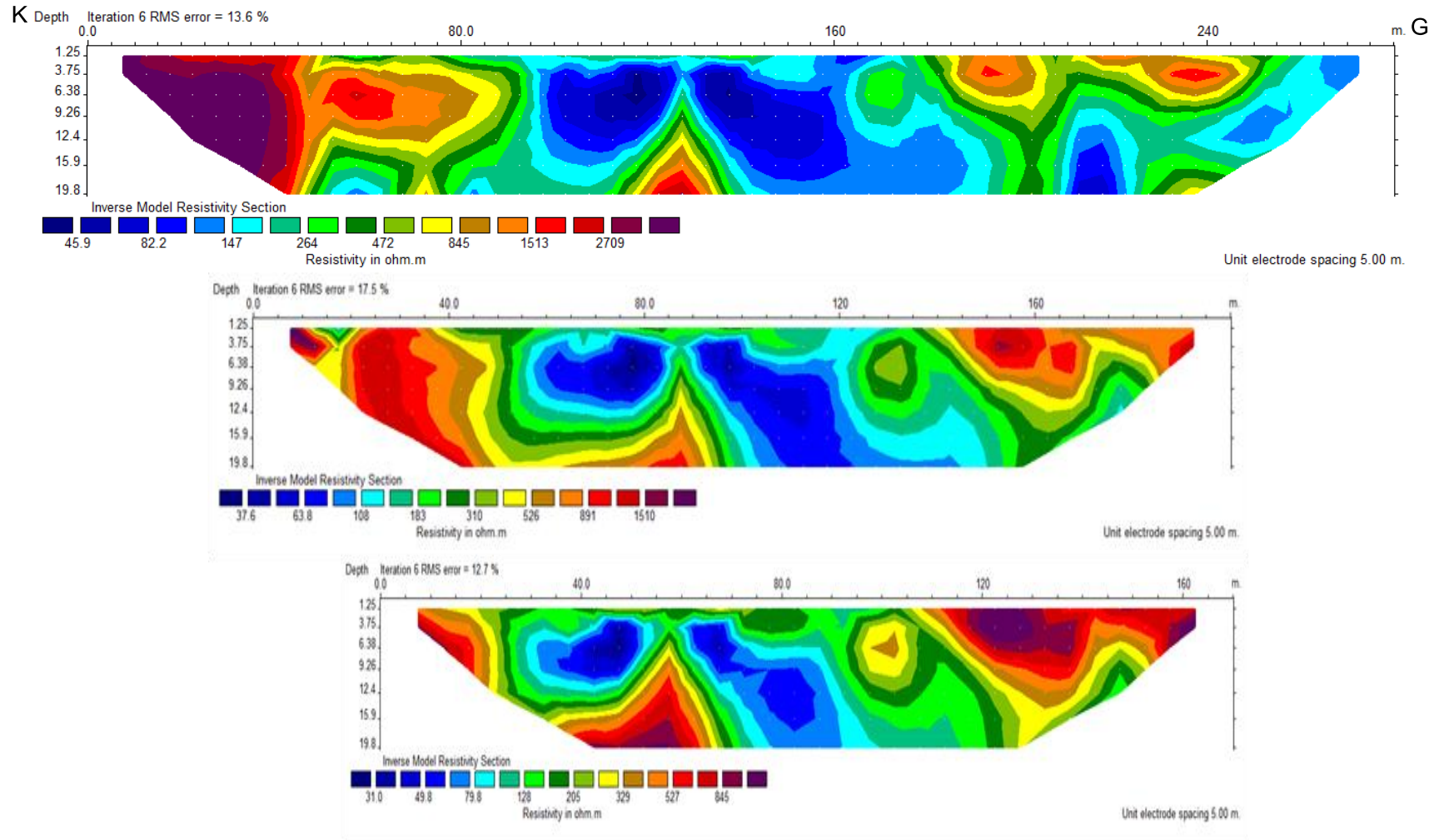
Torbalı ilçesi Kuşçuburun yöresi İncirli Mağarasının bulunduğu çalışma alanında; 2 adet birbirine paralel 7,5m aralıklı ve elektrot aralığı 5m olan 280m ve 225m'lik profillerde Özdirenç Tomografi ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.60'da gösterilen çalışma alanında İncir-1 ve İncir-2 olarak adlandırılmış tomografi ölçümlerinin değerlendirme aşamasında Res2Dinv bilgisayar programı kullanılmıştır. İncir -1 profiline ait özdirenç kesitleri Şekil 4.62, 4.63, 4.64 ve 4.65'de ve İncir -2 profiline ait olası özdirenç kesitleri ve Şekil 4.66, 4.67 ve 4.68'de verilmiştir.



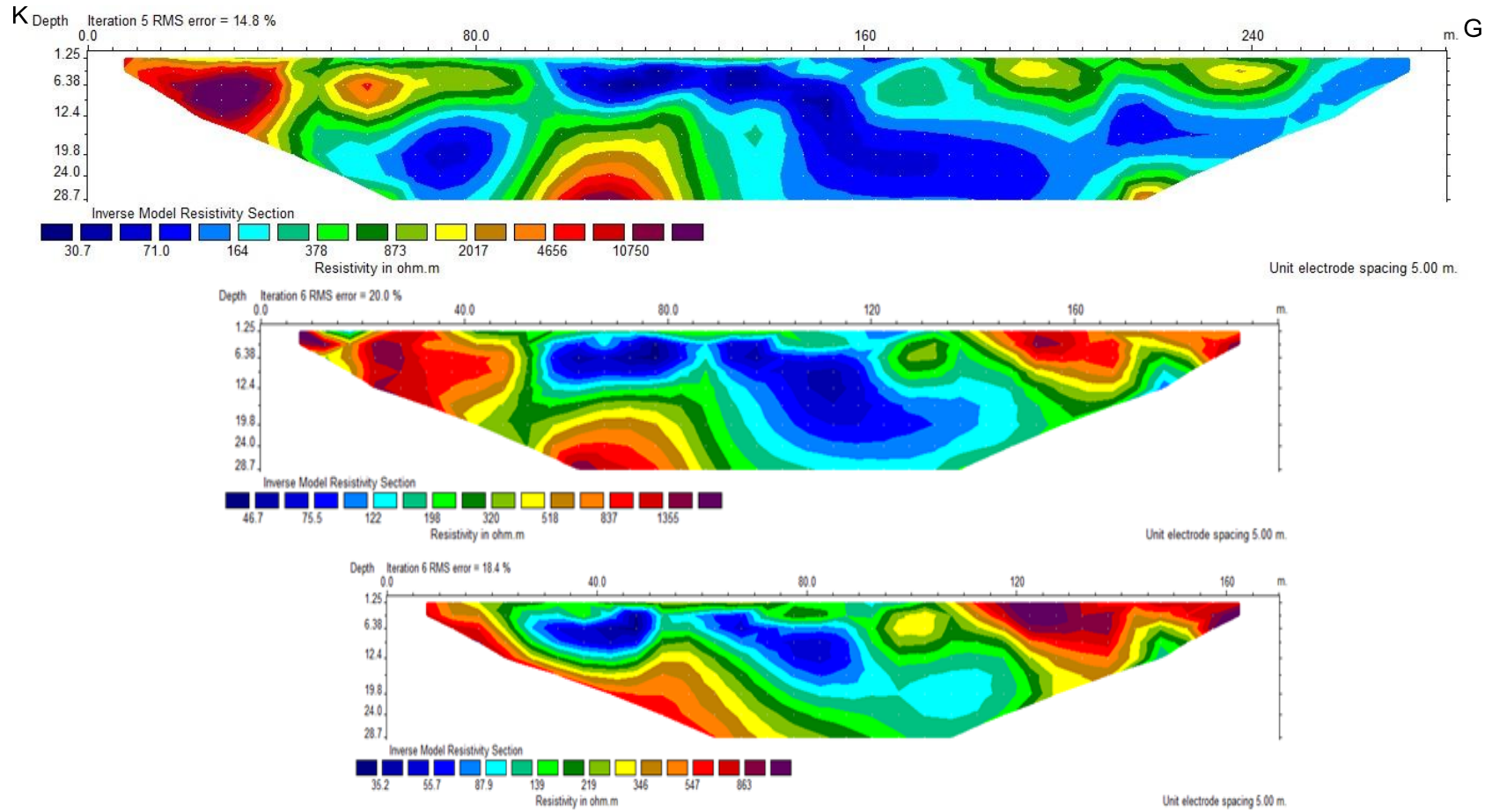
Şekil 4.62 İncir-1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.



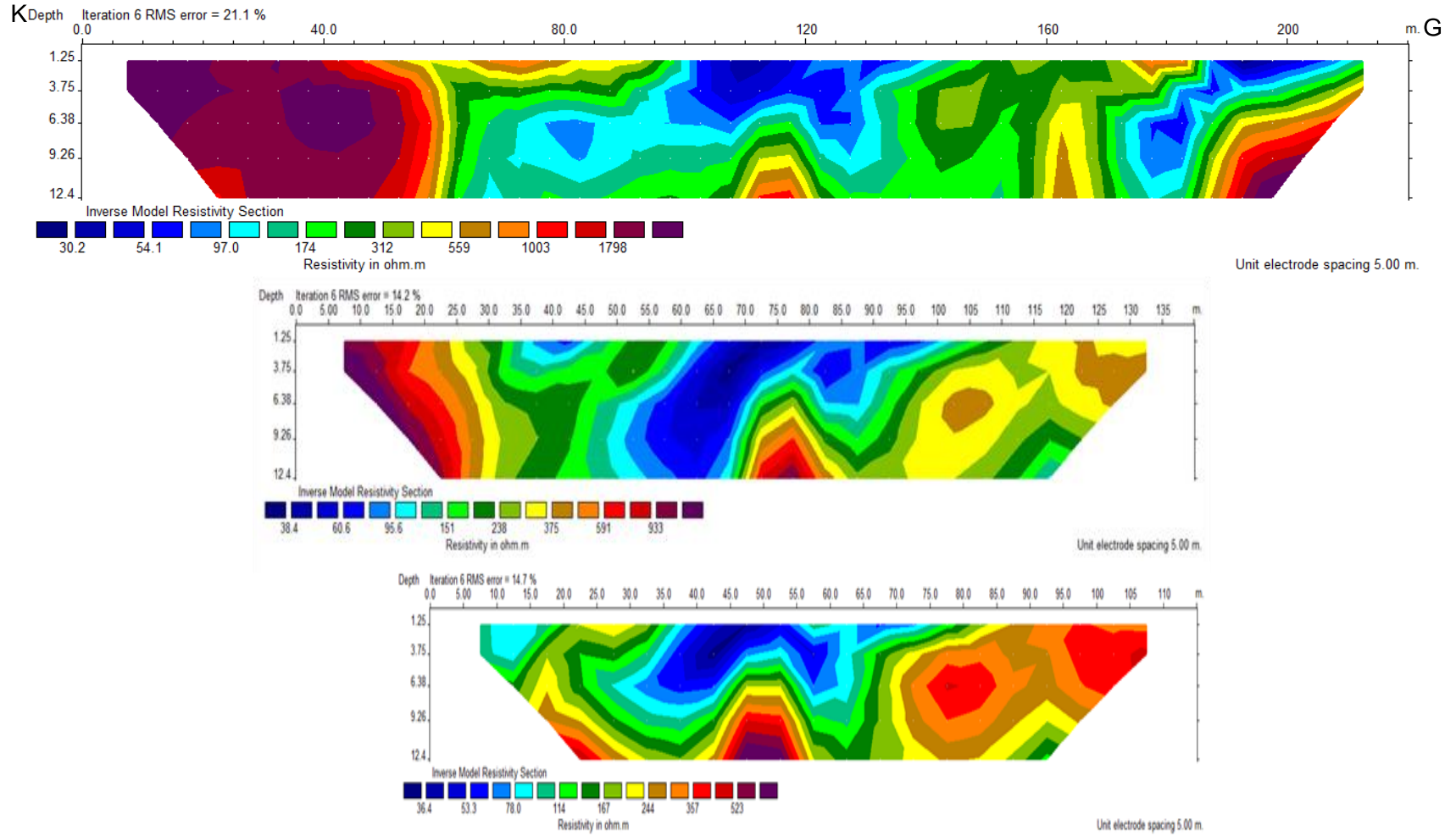
Şekil 4.63 İncir-1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 7 seviyeli ters çözüm kesiti.



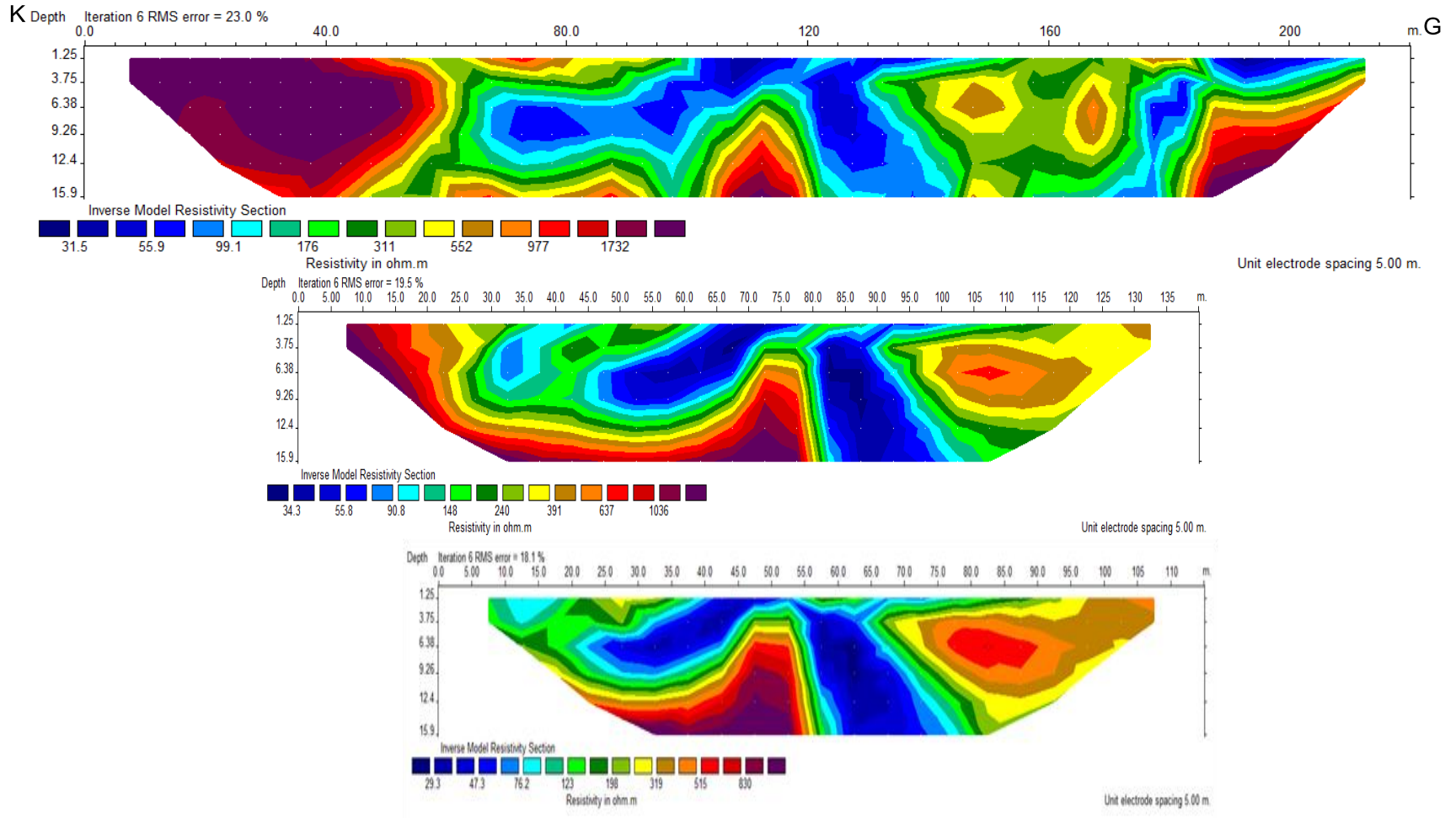
Şekil 4.64 İncir -1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.



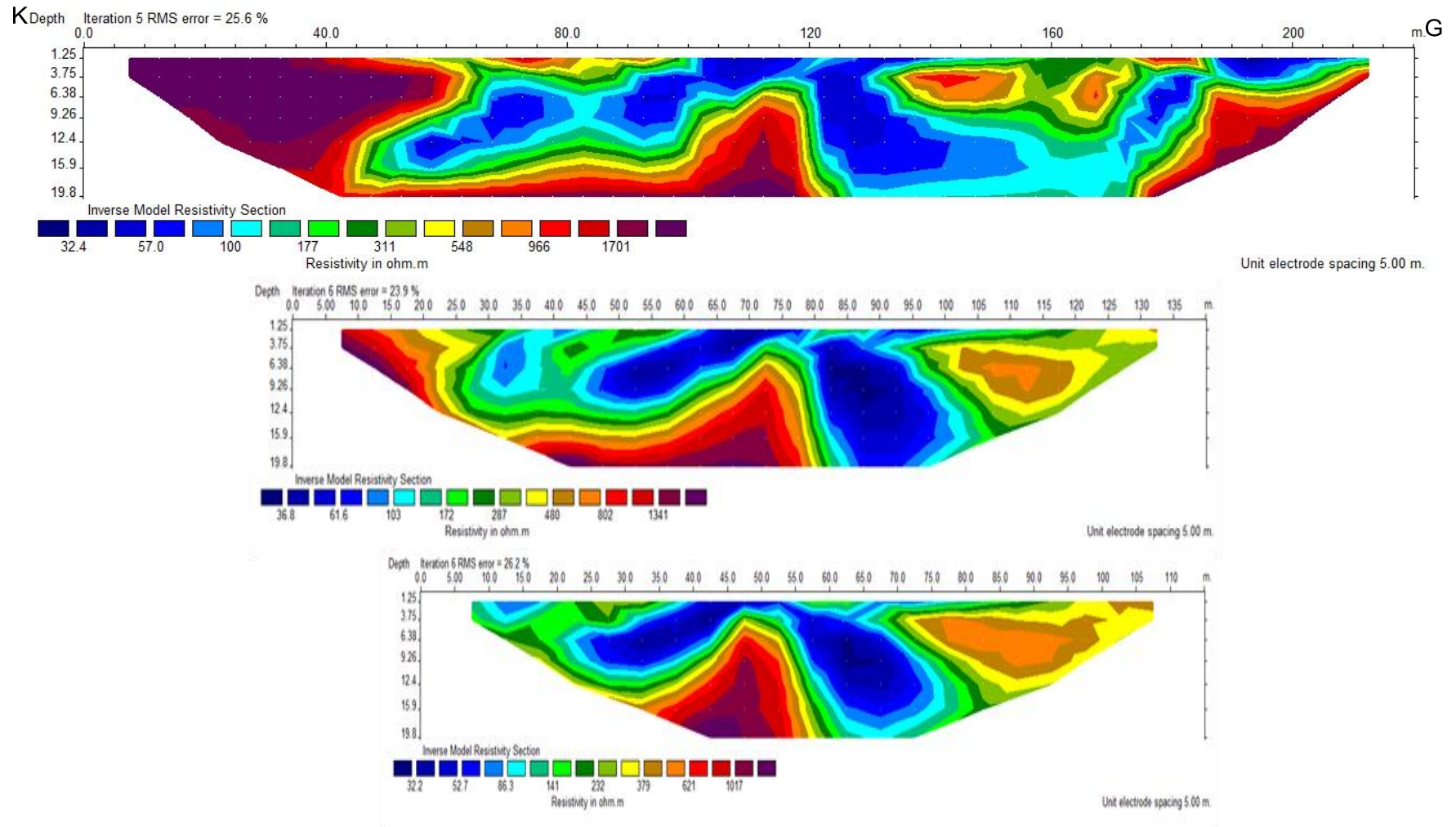
Şekil 4.65 İncir-1 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 15 seviyeli ters çözüm kesiti.



Şekil 4.66 İncir-2 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 5 seviyeli ters çözüm kesiti.



Şekil 4.67 İncir-2 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 8 seviyeli ters çözüm kesiti.



Şekil 4.68 İncir-2 profili ERT ölçümüne ait üç veri grubunun Res2Dinv bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan 10 seviyeli ters çözüm kesiti.

İncir-1 öz direnç tomografi kesiti oluşturulduğunda ~30m derinliğe kadar öz direnç değişimine ulaşılmıştır. İncir-1 kesitinde profilin başlangıcından 40m'ye kadar kalınlığı 15m'ye varan çok yüksek öz direnç değerine sahip killi kireçtaşı yer almaktadır. Kesitin 90-120m'lerinde ~20m derinlik değerinden itibaren görülen birim hattın başlangıcında mevcut olan killi kireçtaşı veya olası çamurtaşı ile ilişkilendirilebilir. Profilin 40-90m ve 180-250m aralıklarında bölgenin yerel birimi yüzeye yakın daha yüksek öz dirençli değerler olarak kesitlerde görülmektedir. Yüzeyde 90-160m arasında görülen ve derine doğru genişleyerek yayılan düşük öz dirençli alan çalışma alanında yer alan derenin de taşımış olduğu tortul birikim ve killi kireçtaşının ayrışmasından oluşmuş geçirimsiz killi birim ile bu birimin su içeriği ile ilişkilidir (Şekil 4.65). Öz direnç kesitlerinde değişim sınırlarının daha iyi tanımlanması için veri setinin baş ve son metrelerinde görünen yüksek öz dirençli değerler çıkartılarak kesitler seviye bazında incelenmiştir. İkinci veri grubunu oluşturmak için kesitin baş ve sonundan 8 ölçüm değeri, üçüncü veri grubunu elde etmek için ikinci veri grubunun baş kısmındaki 6 ölçüm değeri atılarak yeni veri setleri 15, 10, 8 ve 5 seviyeleri için analiz edilmiştir (Şekil 4.62, 4.63, 4.64 ve 4.65).

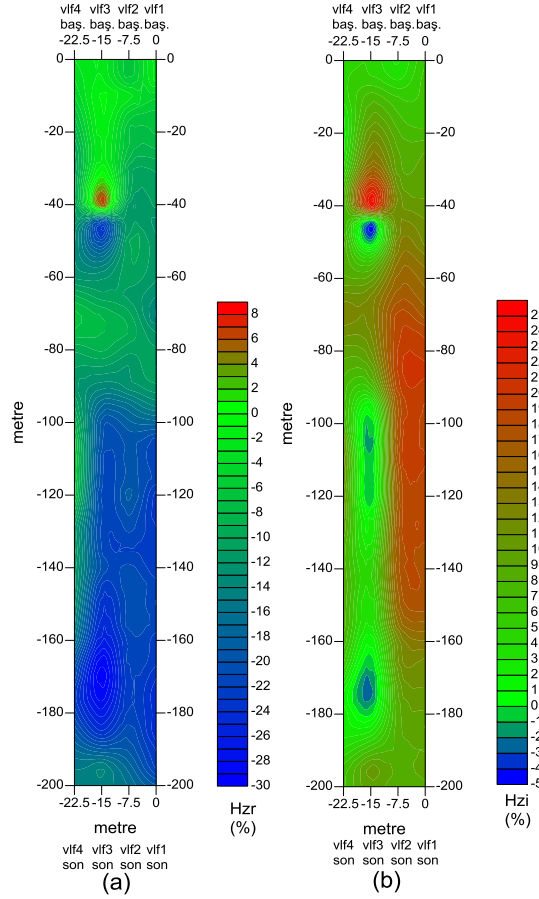
İncir-2 kesitinde 20m derinliğine kadar öz direnç bilgisi elde edilmiştir. İncir-1 kesiti başlangıcında görülen çok yüksek öz dirençli killi kireçtaşı İncir-2'de yaklaşık 60m'ye kadar 20m derinlik değerinde gözlenmektedir. Aynı birim tabanda devam ederek 100-120m'ler arasında yüzeye yaklaşmaktadır. İncir-1 kesitinde olduğu gibi alandaki dere ve kil tabakasına bağlı düşük öz dirençli birim İncir-2 kesitinin oldukça geniş bölümünde gözlemlenmektedir. 10 seviye ölçümü ilk veri grubuna ait kesit incelendiğinde, 135-170m'ler arasındaki yüksek öz dirençli bölgenin İncir-1 kesitinde gözlemlenen mağara koridorunun devamının etkisi olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.68). İncir-2 profiline ait üçlü kesitlerde yer alan ikinci veri grubunu oluşturmak için baş ve sondan 8, üçüncü veri grubu için ise sadece hat başındaki ilk 5 ölçüm değeri çıkarılarak 10, 7 ve 5 seviyeleri için elektrik tomografi kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 4.66, 4.67 ve 4.68).

4.2.2.2.2 *VLF-EM Yöntemi.* VLF-EM yöntemi arazi çalışmaları kapsamında, Torbalı ilçesi Kuşçuburun yöresi İncirli Mağarasının bulunduğu çalışma alanında 5m örnekleme aralıklı ve profiller arası 7,5m olmak üzere 3 farklı frekansta (20,3kHz, 22,6kHz ve 26,7kHz) 4 adet birbirine paralel 200m'lik ölçümler alınmıştır (Şekil 4.60). Öncelikle 22,5x200m'lik geniş ölçekli alana ait haritalar oluşturulmuştur. Mağaranın konumlandığı alanın detaylandırılması için 22,5x60m'lik daraltılan alan incelenmiştir.

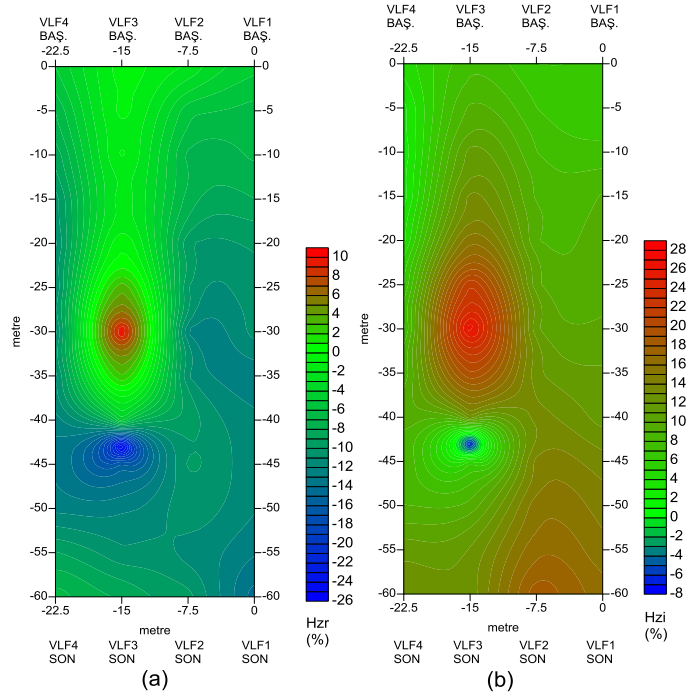
Toplanan verilerin sinyal/gürültü oranı analizi için 22,5x200m'lik geniş ölçekli alanın toplam alan değişimleri incelenmiştir. 20,3kHz frekansının 15,5-22,5 mA/m, 22,6kHz'in 25,4-31 mA/m ve 26,7kHz'in 173-178,2 mA/m aralığındaki bant aralıklarında değiştiği gözlenmiştir.

Profillerin başlangıcına yakın olduğu düşünülen galerinin bulunduğu bölgeyi detaylandırmak için hattın başından 2 ve sonundan 26 ölçüm değerleri çıkarılarak daraltılmış inceleme alanı oluşturulmuştur (Şekil 4.70, 4.71 ve 4.72).

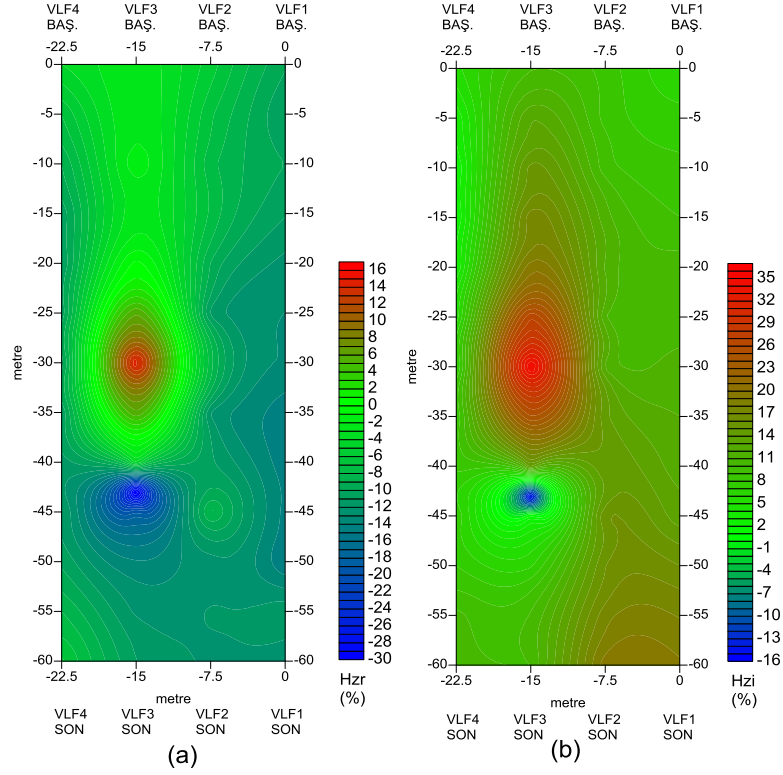
Alansal ölçüm profillerinin 22,5x200m'lik geniş ölçekli alana ait 20,3kHz frekansı için gerçel ve sanal alan bileşenleri Şekil 4.68'de ve 22,5x60m'lik daraltılmış alanda 20,3kHz, 22,6kHz ve 26,7kHz frekanslarına ait gerçel ve sanal bileşen haritaları Şekil 4.70, 4.71 ve 4.72'de verilmiştir.



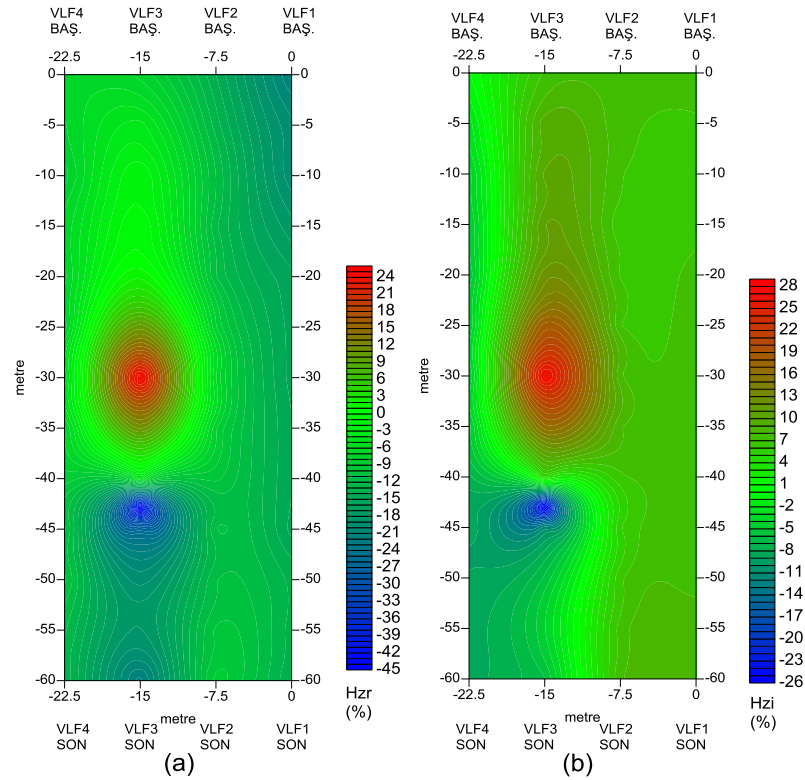
Şekil 4.69 İncirli Mağarası geniş alanda 20,3kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.



Şekil 4.70 20,3kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

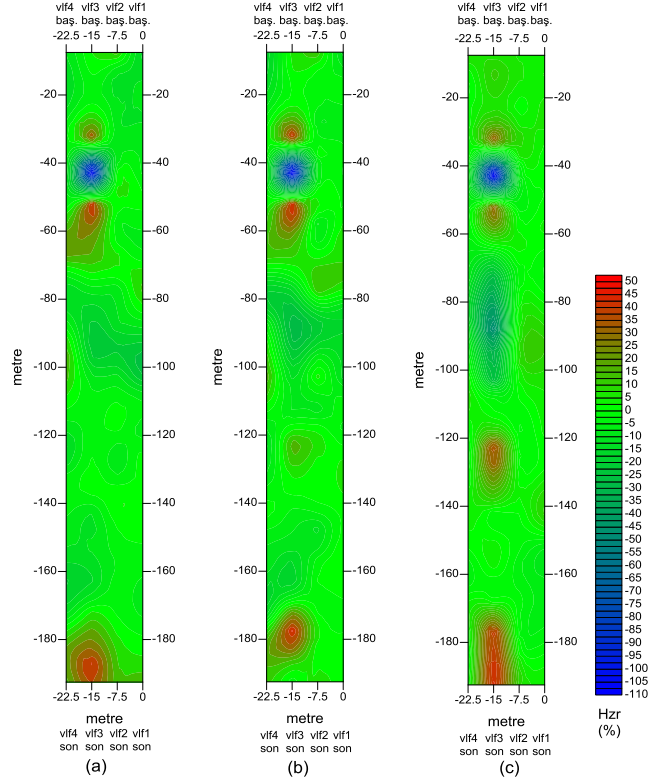


Şekil 4.71 22,6kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

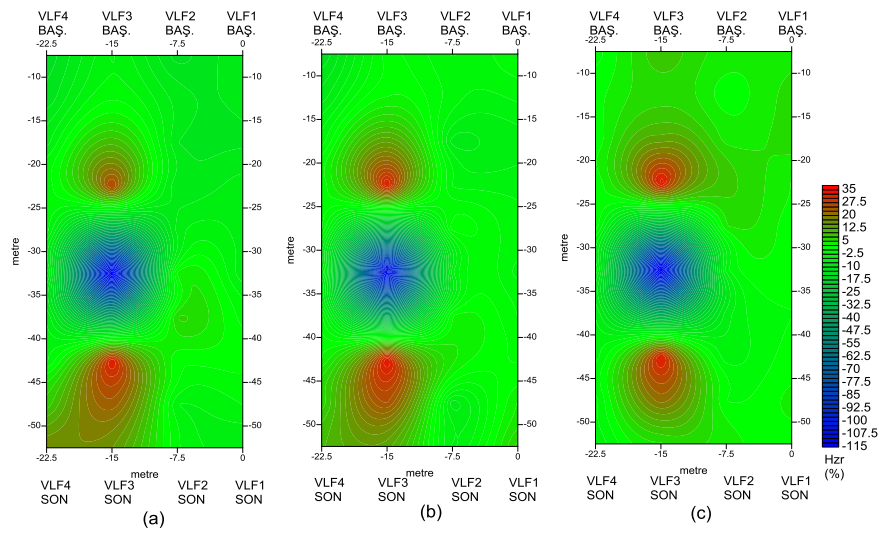


Şekil 4.72 26,7kHz frekansı için dört profilin (a) gerçel ve (b) sanal bileşenlerinin iki boyutlu görüntüsü.

Veri işlem amacı ile gerçel alan bileşenlerine Fraser ve Karous-Hjelt süzgeçleri uygulanmıştır. Üç frekansta ölçüm yapılmış 22,5x200m'lik geniş ölçekli alana ve 22,5x60m'lik daraltılmış alana ait Fraser süzgeç çıktıları sırasıyla Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'de verilmiştir.

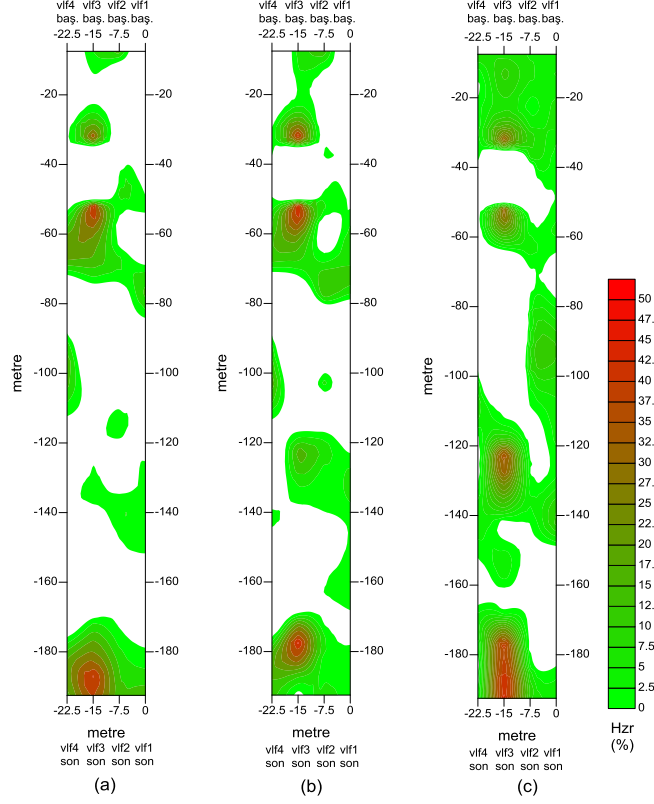


Şekil 4.73 İncirli Mağarası geniş alanda frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.

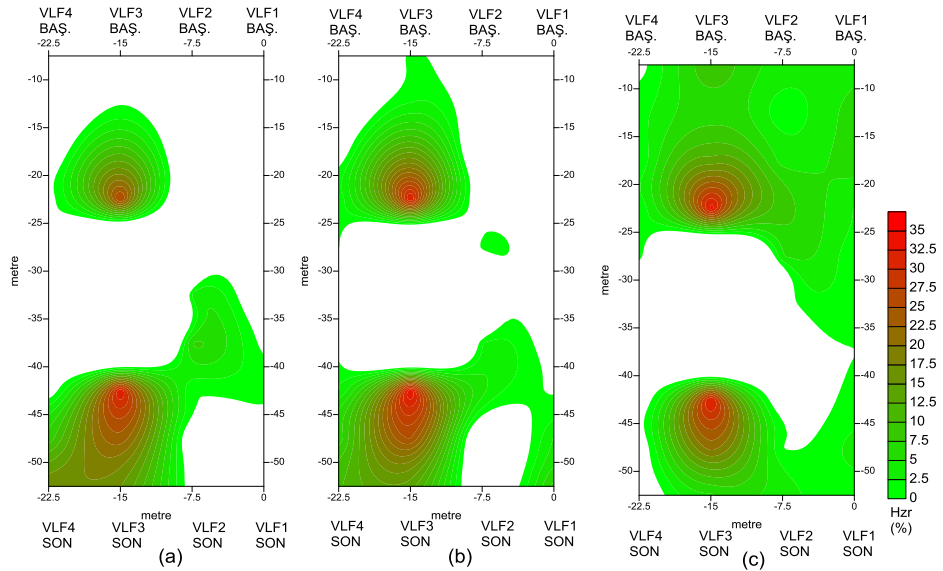


Şekil 4.74 Frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz verilerinin Fraser süzgeci ile süzgeçlenmiş hali.

22,5x200m'lik geniş ölçekli alana ve 22,5x60m'lik daraltılmış alana ait Fraser süzgeci kontur haritalarında pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler sırasıyla Şekil 4.75 ve Şekil 4.76'da verilmektedir.

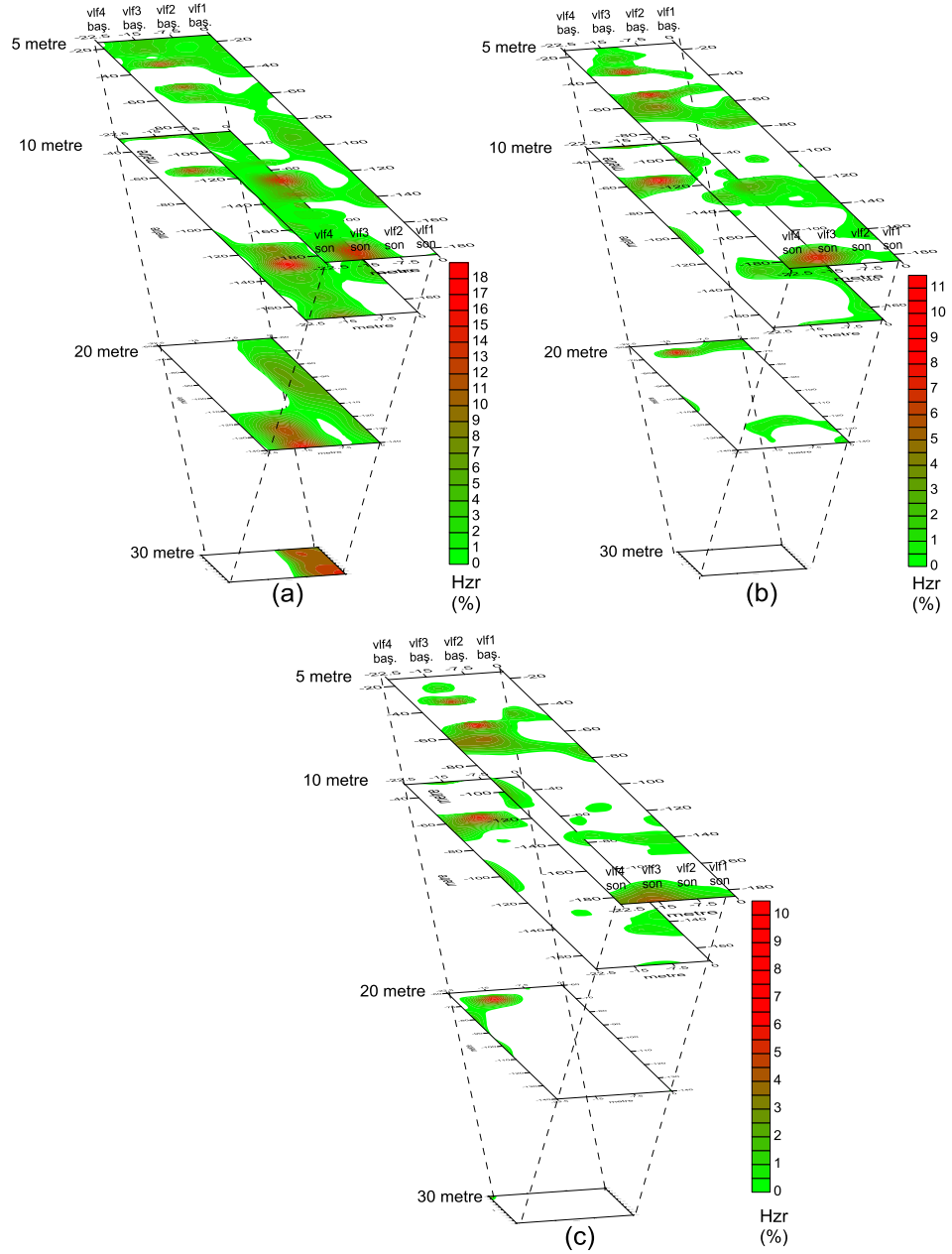


Şekil 4.75 İncirli Mağarası geniş alanda fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.

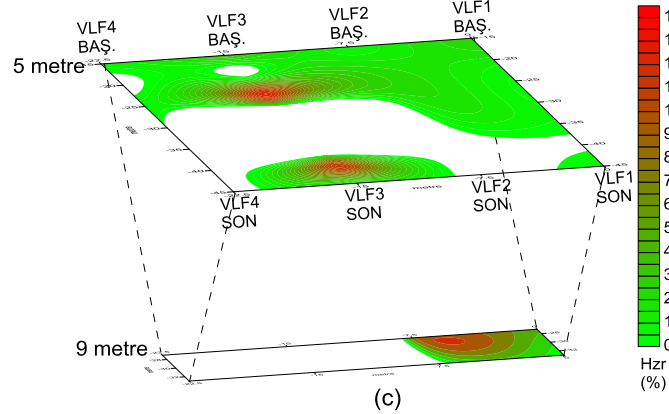
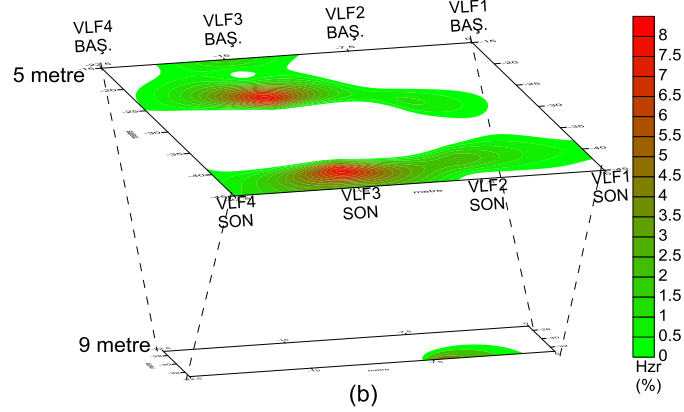
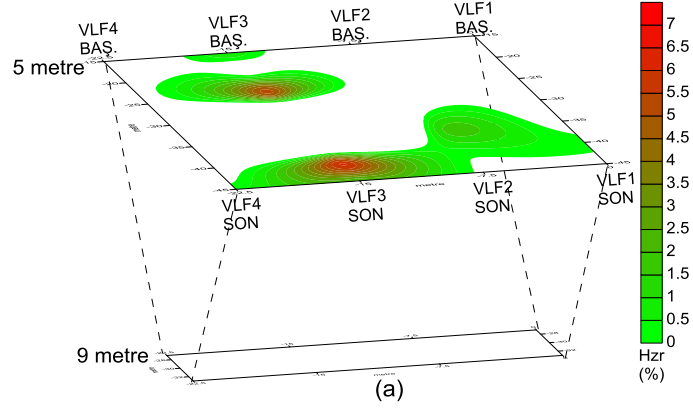


Şekil 4.76 Fraser süzgeci kontur haritalarında frekanslara göre (a) 20,3kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler.

Çalışma ortamının öz direncine ve kullanılan frekansa göre 22,5x200m’lik geniş ölçekli alana ait etki derinliği yaklaşık 30m olarak bulunmuş ve 5m, 10m, 20m, 30m derinlik değerleri için iletkenlik değişimi Karaous-Hjelt süzgeci ile gözlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.77). 22,5x60m’lik daraltılmış alanın etki derinliği 9m olarak bulunmuş, 5m ve 9m derinlik değerleri için iletkenlik değişimi Karaous-Hjelt süzgeci ile gözlenmiş, pozitif değerlere karşılık gelen bölgeler Şekil 4.78’de verilmiştir.

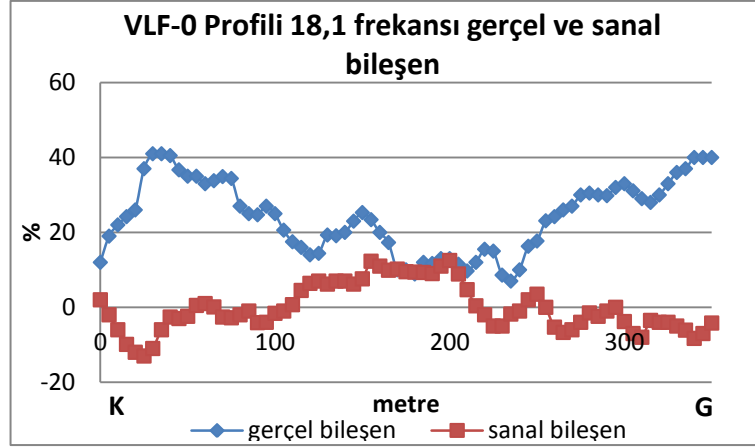


Şekil 4.77 İncirli mağarası VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları.

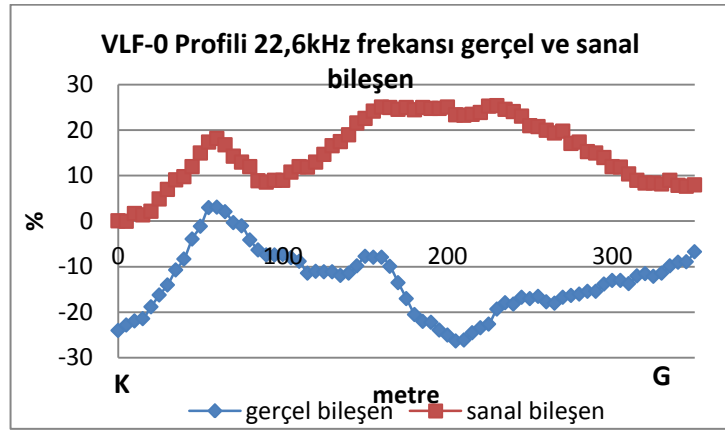


Şekil 4.78 İncirli mağarası daraltılmış alan VLF-EM frekanslarına ait; (a) 20,3 kHz, (b) 22,6 kHz ve (c) 26,7 kHz Karous-Hjelt süzgeci kullanılarak elde edilmiş 5-9 m eş-seviye derinlik haritaları.

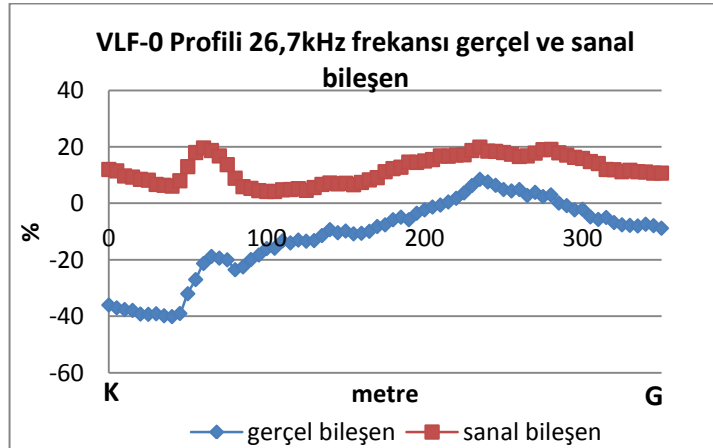
350m uzunluğundaki VLF-0 profilinde profil bazında ölçü alınmıştır. VLF-0 profilinde frekanslara göre gerçel ve sanal alan bileşenlerin değişimi Şekil 4.79'da verilmiştir. Veri işlem aşamasında Karous- Hjelt süzgeci uygulanarak VLF-0 profiline ait düşey kesit elde edilmiştir (Şekil 4.80).



(a)

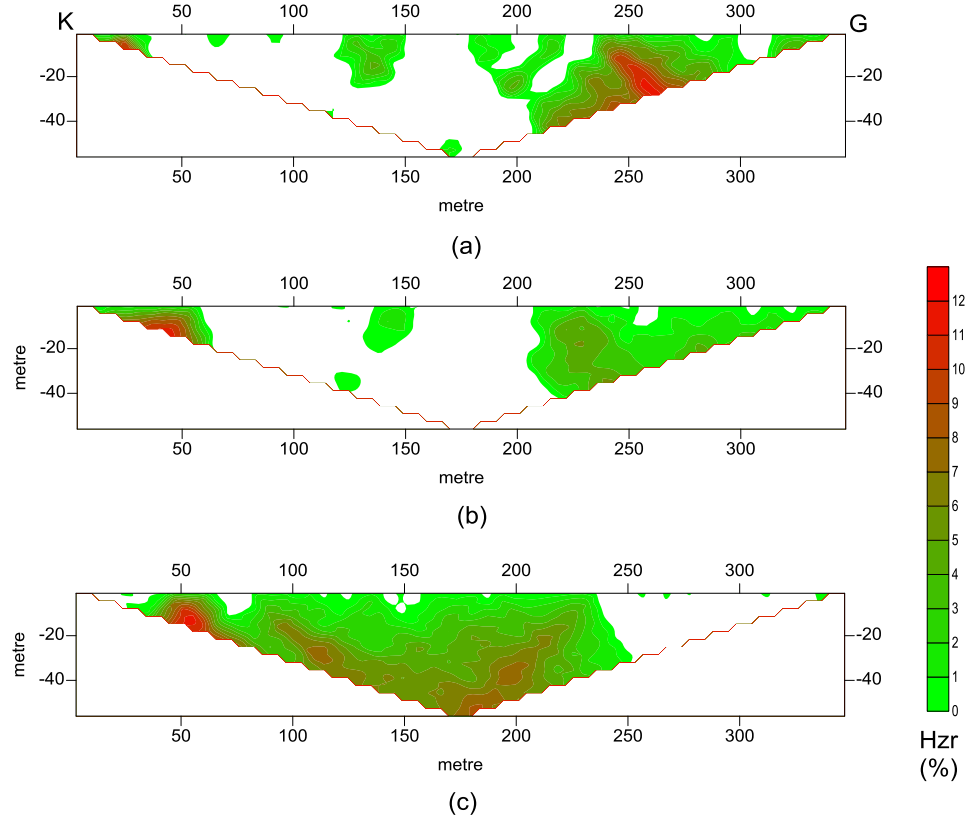


(b)



(c)

Şekil 4.79 VLF-0 profilinde frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz gerçel ve sanal alan bileşenlerinin değişimleri.



Şekil 4.80 Frekanslara göre (a) 18,1kHz, (b) 22,6kHz, (c) 26,7kHz VLF-0 Profilinin Karous-Hjelt süzgeci sonucu elde edilmiş düşey kesitler.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Jeolojik ve hidrolojik yapısı karmaşık olan karstik araziler ülkemizde zengin bir potansiyele sahiptir. Karstik boşluklar şehirleşme alanlarındaki, yol, köprü temeli, baraj, tünel ve kanal yapılaşmalarında (çökme, oturma) tehlike oluşturabilirler. Su yapılarının inşasında karstik boşlukların incelenmesi, olası sızıntı ve kaçakların önlenmesi bakımından çok önemlidir. Karstik alanlarda görülen coğrafik şekillerin doğa sporu, sağlık-rehabilete turizmi, enerji üretimi ve inşaat sektörü (portland çimento üretimini, kireç yapımı, mısır üretimi gibi) amaçlı kullanımı yaygındır. Ayrıca kartlaşma sonucu oluşan mağaralar doğal miras olarak kabul edilmektedir.

Karstik boşlukların sondajla belirlenmesi pahalı, tehlikeli ve zaman alıcıdır. Fiziksel parametre farkına dayanan jeofizik yöntemlerin ucuz maliyetli-hızlı veri sağlama özelliğinden dolayı bu tür alanlarda etkin olan elektrik, elektromanyetik ve manyetik yöntemler uygulanmıştır.

Tez çalışmamızda; karstik boşlukların belirlenmesi amacıyla Isparta ve İzmir illerinde belirlenmiş çalışma alanlarında ERT (Özdirenç Tomografi), VLF-EM (Çok düşük frekans Elektromanyetik) ve Manyetik Toplam Alan yöntemleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Değerlendirmeler sonucu ortamı temsil edebilecek olası model kesitler oluşturularak jeolojik yapı tanımlanmaya çalışılmıştır.

Çalışmalar, Isparta ili Kızıldağ Milli Parkı Kurucuova mevkinde Düdenyayla ile Düden Alanında karstik yapının izlenmesi ve İzmir ili Torbalı Yazıbaşı yöresindeki Dümbelek ile İncirli Mağaralarının jeofizik tepkilerini tanımlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarımızın jeofizik uygulama sonuçlarına ait model parametrelerinin değişim aralıkları ilgili çalışma başlıkları altında Bölüm 4'de verilmiştir. Sonuçlarda çalışma alanlarına ait yöntemlerin genel sonuçları ve ilişkilendirilmiş ortak yorumlar alanlara ait alt başlıklarda verilecektir.

- **Isparta-Düdenyayla Jeofizik Çalışmaları;**

Dedegöl Masifi üzerindeki kaynakların tespiti için Düdenyayla mevkinde bulunan düden havzasının karstik yapısı incelenmek üzere ERT, VLF-EM ve Manyetik yöntemleri uygulanarak elde edilmiş sonuçlar verilmiştir.

Düdenyayla'da gerçekleştirilen özdirenç tomografi ölçümlerine ait Tom-1 ve Tom-2 kesitleri incelendiğinde (Şekil 4.7 ve 4.8) ~1900-4600 Ohm-m ve ~8500-14500 Ohm.m aralığında değişen yüksek özdirençli birimlerin karstik yapılanmaya olanak sağlayan bölgenin hakim birimi Bozburun şistleri ve Gökdağ kireçtaşı belirtisidir. Doğu kanadındaki yüksek eğimli yamaçtan havzaya yüzey aşınmaları sonucu devrilme-akma olarak taşınmış döküntü blok etkisi olduğu düşünülmektedir. 20-45m derinlik değerleri arasında düşük özdirençli birim günümüzde de aktif etkisi devam eden ve düdene su taşıyan mevsimsel su yatağının biriktirdiği alüvyonun etkisidir.

Alanda yapılan VLF-EM ölçüm sonuçlarına göre;

Alansal bilgi almak için 5 profilde yapılan ölçümlerin 3 frekansına ait gerçel alan bileşenine Fraser süzgeci uygulanarak elde edilmiş yüzey haritaları (Şekil 4.13 ve 4.14) ve Karous-Hjelt süzgeci sonucu 5-10-20-30-40m eş-seviye derinlik haritaları (Şekil 4.15) ile düşük özdirençli birimlerin ayrımı yapılmıştır. 1-2-3 numaralı hatlarının ilk 50m'lik bölümünde iletkenliği yüksek karst oluşumuna olanak sağlayan kalsiyum karbonat bileşimli kireçtaşının etkisi takip edilmektedir (Şekil 4.14). Ayrıca alansal haritalarda KD yönünde yer yer ~20-45m derinlikler arasında havzadaki su taşıyıcı karstik yapılanma takip edilmektedir. Ancak Tom-1 ERT kesitinde 50m derinlik altında gözlenen yüksek özdirençli taban biriminin etkisi etki derinliğine bağlı olarak girişi gözlenmiş fakat devamı takip edilememiştir. Manyetik profilleri ile aynı uzunluk ve doğrultuda iki VLF-EM profil verisinin düşeydeki değişimi Karous-Hjelt süzgeci ile incelenmiş, su taşıyıcı birim olarak düşünülen yüksek özdirençli karst birimi ~60m derinliğe kadar K yönüne eğimli dalım gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.18 ve 4.19). Günümüzde sisteme kaynak olan aktif su yatağının taşıdığı

alüvyonların oluşturduğu tortullaşmanın bant şeklinde havzanın derinine doğru birikim düşük öz dirençli değerler olarak kesitlerimizde gözlenmektedir.

Manyetik ölçüm hatları sonuçlarında; ortamın genel olarak tekdüze olduğunu ve belirtinin alüvyon ortamda yayılım gösteren masif bloklardan kaynaklandığını göstermiştir. Değerlendirme aşamasında en iyi uyumun sağlandığı ve hata oranı 3.65 olan olası modeli oluşturan yapı parametreleri verilmiştir (Şekil 4.26). Modelleme sırasında Man-1 hattı boyunca alüvyon içerisinde dağılmış olası kireçtaşı ve/veya şist blokları tabanda yayılan birim olarak düşünülmektedir. Man-2 hattına ait veri modellenirken ortamdaki akarsu yatağının oluşturduğu birikim havzasının düşey sınırı elde edilmeye çalışılmıştır. Hata oranı 3.73 olan kesitin en iyi uyum sağladığı öngörülmüştür (Şekil 4.27).

- **Isparta-Düden Alanı Jeofizik Çalışmaları;**

Isparta'daki ikinci çalışma alanımız; Düden Alanı olup bölgenin karstik yapı konumunu belirleme amaçlı ERT ve VLF-EM yöntemi uygulanarak ölçümler alınmış, ortamın yapı kesitleri oluşturulmuştur.

KD-GB doğrultulu Tom-1 kesiti incelendiğinde (Şekil 4.30), tabanı oluşturan ~3200-9300Ohm.m aralığında değişen yüksek öz dirençli kireçtaşı başlangıçta yüzeye yakın gözlenirken düden ağzından sonrası daha derinde takip edilmektedir. Düden ağzı sonrasında GB yönünde derine doğru artış gösteren bölgesel tortul tabakalanma izlenmektedir.

Tom-2 kesitinde (Şekil 4.31) yüzey boyunca tortul katman gözlenmekle beraber kesitin sonlarına doğru bu katman içinde yüzeyde yüksek öz dirençli bloklar yer almaktadır. Tortul katmandan sonra öz dirençte derine doğru artış görülmektedir. Ortamdaki yüksek öz direnç değerleri ~850-1700Ohm.m aralığında değişim göstermektedir. Tabanda gözlenen yüksek öz dirençli yapı her iki kesitte gözlemlenerek GD yönüne doğru düşen öz direnç değerleri ile izlenmektedir. Aynı

birimin su etkisi altında ayrılmış olması azalan özdirenç değeri elde edilmesinin nedeni olarak düşünülmektedir.

Düden Alanında 5 profilde ölçümü yapılan VLF-EM üç ayrı frekansa ait verilerin Fraser süzgeci (Şekil 4.35 ve 4.36) ile yüzey haritaları, Karous-Hjelt süzgeci (Şekil 4.37) ile de 5-10-20-30m eş-seviye derinlik haritaları oluşturulmuş, ortamın iletken-yalıtkan yapı sınırları incelenmiştir. Düden Alanına ait VLF-EM gerçel ve sanal bileşen haritalarında (Şekil 4.32, 4.33 ve 4.34), çalışma alanındaki düden ağzının önce güneyine daha sonra doğusuna doğru devam eden gerçel bileşeni büyük sanal bileşeni ise düşük iletken bir hat takip edilmektedir. Oluşturulan eş-seviye derinlik haritalarında kuzeyden güneye doğru dalımı izlenen yapı, ERT kesitlerinde takip edilen yüksek özdirençli birim ile uyumludur (Şekil 4.37).

• İzmir-Dümbelek Mağarası Jeofizik Çalışmaları;

İzmir il sınırları içerisinde bulunan incelemesi de yapılmış iki mağara; (Dümbelek ve İncirli) araştırma alanı olarak belirlenmiştir. İlk olarak İzmir ili Torbalı ilçesi İstiklal (Yazıbaşı) mevkiisi Dümbelek Mağarasının jeofizik yöntemlerle incelenmesi için ERT ve VLF-EM yöntemleri kullanılarak ölçümler alınmıştır.

Dümbelek Mağarasında gerçekleştirilen ERT ölçümleri ile profil boylarına bağlı olarak ~20m derinliğe ulaşan özdirenç dağılımı çıkartılmıştır. Ölçüm hattının doğrultusu mağaranın girişi ortasına gelecek ve ana galeriyi kesecek şekilde belirlenmiştir. ERT kesitleri değerlendirme aşamasında süreksizliklerin daha iyi görülmesi için her kesit verisinden üç ayrı veri seti oluşturulmuş ve seviye analizleri yapılarak incelenmiştir. Karstik araziler gibi karmaşık yapıya sahip alanlarda ERT kesitlerinin seviyeleri incelenek karstik yapının tanımlaması daha doğrudur.

GD-KB yönelimli Dum-1 kesiti genel olarak incelendiğinde özdirenç değeri düşük örtü tabakası altında mağaranın gelişim gösterdiği yüksek özdirençli kireçtaşı, karstik birim olarak yer almaktadır. Kesitte yüksek özdirençli değer sunan bölge

ölçüm hattının ortasına denk gelen mağara girişinin devamında yer alan ana galerinin (boşluk) etkisi ile ilişkilidir. Kesitin baş-son metrelerde görünen yüksek öz dirençli değerler ortamda gelişen çatlak ve boşluk etkileri olarak yorumlanabilir. Analiz aşamasında öz direnç-derinlik sınırlarının daha iyi belirlenmesi için kesitlerin baş ve son metrelerinde görünen yüksek öz dirençli değerler veri setinden ayrıştırılarak, seviyeler oluşturulmuştur. Seviye kesitlerinin incelemesi sonucu karstik yapının uzanımı daha belirgin olarak izlenmektedir (Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45).

Dum-2 kesiti incelendiğinde karstik oluşuma uygun yüksek öz dirençli birim (~7200-13900 Ohm.m) hat boyunca tabanda gözlenmektedir. Bu birim içinde yer yer mevcut mağaranın kolları tanımlayan yüksek öz dirençli değerlerin karstik boşluk etkisi olarak gözlenmesi mümkündür. Yüzeyde gözlenen yüksek öz dirençli birimler ise bölgede sıklıkla görülen karstik yapıya yüzey suyunu taşıyan küçük hollerdir. Genelde kalınlığı az olan düşük öz dirençli yüzeydeki alüvyon birikimi kesitin sonuna doğru kalınlığı artarak taban karstik yapının üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48).

Dümbelek Mağarası VLF-EM ölçüm frekanslarına ait gerçel ve sanal bileşen haritaları incelendiğinde iletkenliği yüksek ortamlar su içeriği etkisi altında güneyden mağaranın girişine doğru gerçel bileşeni büyük, sanal bileşeni küçük değerler sunmaktadır. 1 ve 2 profillerin arasında 105m'de bulunan mağara ağzından hat sonlarına doğru mağara konumu ile uyumlu gerçel bileşeni düşük ve sanal bileşeni yüksek değerler görülmektedir (Şekil 4.49). Mağaranın konumlandığı bölgeyi detaylandırma amaçlı veri setinin başından 18 ve sonundan 8 ölçüm değeri atılarak daraltılarak incelenmiştir (Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52). Her iki veri seti için her ölçüm frekansına ait verilere Fraser (Şekil 4.55 ve 4.56) ve Karous-Hjelt süzgeci (Şekil 4.57 ve 4.58) uygulanarak iletken-yalıtkan yapı sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Fraser ve Karous-Hjelt süzgeci ile elde edilen haritalarda mağaranın gelişimi ile uyumlu sonuçlar alınmıştır. Karstik yapı içerisinde oluşan mağaranın giriş ağzından itibaren GB-KD yönelimli yatay gelişimli iki galerisinin bağlantısı düşey kesitlerde net olarak takip edilmektedir. Yöntem düşük frekans ölçümleri ile daha derin yapı bilgilerini sunarken yüksek frekans çözümleri ile yüzeye yakın değişimleri

vermektedir. Derinlik parametresine bağlı b6lgenin boşluk etkileri y6ksek frekans haritalarında daha etkin belirti olarak g6r6lmektedir.

- **İzmir-İncirli Mağarası Jeofizik alışmaları;**

İzmir il sınırları içerisinde bulunan ikinci çalışma alanı Torbalı-Kuşuburun b6lgesindeki İncirli mağarası İzmir-Aydın otobanı keserek gelişmiştir. Bu mağaranın en uç noktasındaki galerinin incelemesi amacıyla ERT ve VLF-EM y6ntemleri ile 6l6mler yapılarak sonuçları sunulmuştur.

İncir-1 ERT kesiti başlangıcında değeri ~4600-10750 Ohm.m aralığında değişen y6ksek 6zdirenli killi kireçtaşı birimi yer almaktadır (şekil 4.65). Hattın kestiği otobanın altından geçen dereye bağlı olarak y6ksek su içeriğinin etkisi kesitte d6ř6k 6zdiren değerleri olarak g6r6lmektedir. Kesitin başındaki çok y6ksek 6zdiren değerleri nedeniyle derenin devamında olduğu d6ř6n6len karstik mağara uzantısı belirgin değildir. Yeni veri grupları ile seviyeler halinde inceleme yapıldığında (şekil 4.62, 4.63, 4.64 ve 4.65), 15 seviye 6l6m6 ilk veri grubuna ait kesitte yaklaşık 160-180m'lerde yer alan karstik yapı 10 ve 7 seviye 6l6mlerine ait kesitlerde daha net olarak g6zlenmektedir (şekil 4.63 ve 4.64).

İncir-1 kesitinin başında yer alan karstik yapı oluşumuna elverişli killi kireçtaşı İncir-2 kesitinde ~960-1700 Ohm.m aralığındaki y6ksek 6zdiren değeri ile tanımlanmıştır. Alandaki su içeriğine bağlı olan d6ř6k 6zdirenli seviye İncir-2 kesitinde de yer almaktadır. İncir-1 kesitinde g6r6len karstik yapının devamı İncir-2 kesitinde daha net g6r6lmektedir (şekil 4.68). Karstik gelişimi detaylandırmak için d6zenlenmiş t6m veri ve seviye kesitleri incelendiğinde s6z konusu yapıda gelişmiş boşluk etkisinin daha net g6r6nt6lenmesi sağlanmıştır (şekil 4.66, 4.67 ve 4.68).

İncirli Mağarası VLF-EM 6l6m frekanslarına ait alansal gerçel ve sanal bileşen haritaları incelendiğinde K-G doğrultulu profillerin 80m ve sonrasında gerçel bileşeni d6ř6k, sanal bileşeni y6ksek g6ney kanadına hakim yerel birim g6zlenmektedir (şekil 4.69). Ortamın amurtaşı, killi kireçtaşı birimlerine bağlı

olarak kil içeriğinin fazla olmasından dolayı VLF-EM verilerinde geniş bant aralığında değişim elde edilememiştir. Veri analizi sonucunda boşluk etkisi ortaya çıkarmak güçleşmiştir. Bu nedenle profillerin başlangıcına yakın olduğu düşünülen galerinin bulunduğu bölgeyi detaylandırmak için hattın başından 2 ve sonundan 26 ölçüm değerleri çıkarılarak daraltılmış inceleme alanı oluşturulmuştur (Şekil 4.70, 4.71 ve 4.72). Üç frekansa ait normal ve dar alan veri setine Fraser (Şekil 4.75 ve 4.76) ve Karous-Hjelt süzgeçleri (Şekil 4.77 ve 4.78) uygulanarak uç galerinin ve koridorun etkisi alansal olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Daraltılmış alansal verilere bakıldığında 25-40m arasında boşluk etkisi olarak düşünülen bölüm her üç frekans etkisinde de gözlenmektedir (Şekil 4.76 ve 4.78). Hattın baş ve son kısımdaki yüksek iletkenlik değerleri ortamdaki killi kireçtaşının su içeriğine bağlı oldu düşünülebilir. K-G doğrultulu 350m uzunluğundaki VLF-0 hattı verilerine de Karous-Hjelt süzgeci uygulanarak ortamdaki elektriksel iletkenliğin düşey değişimi incelenmiştir (Şekil 4.80).

Hidrojeolojik süreçler sonucunda oluşan karstik yapıların incelenmesinde iletkenlik parametresine duyarlı elektrik ve elektromanyetik yöntemler oldukça etkindir. Uygulama bölgelerinde gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda ortamların karstik oluşumunu tanımlayan bilgilere ulaşımında verilerin detaylı incelenmesinin önemli olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Akartuna, M. (1962). İzmir-Torbalı-Seferhisar-Urla bölgesinin Jeolojisi hakkında, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 62, 1-17.
- Akkuş, A. (1991). Kazımkarabekir (Karaman) Çevresinde Karst ve Karstik Şekiller. *Uluslararası 1. Bölgesel Jeomorfoloji Konferansı Bildiri Özetleri*.
- Alagöz, C. A. (1944). Türkiye Karst Olayları hakkında Bir Araştırma. *Türk Coğrafya Kurumu Yayınları*, 1, Ankara
- Alagöz, C. A. (1967). Sivas Çevresi ve Doğusunda Jips Karstı Olayları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları*, 175, Ankara.
- Al-fares, W., Bakalowicz, M., Guerin, R., & Dukhan, M. (2002). Analysis of karst aquifer structure of the Lamalou area (Hérault, France) with ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 51, 97-106.
- Al-Zoubi, A.S., Abueladas, A.E., Al-Rzouq, R.I., Camerlynck, C., Akkawi, E., Ezarsky, M., et al. (2007). Use of multi electrodes resistivity imagining for sinkholes hazard assessment along the Eastern part of the Dead Sea, Jordan. *American Journal of Environmental Sciences* 3 (4), 230-234.
- Al-Zoubi, A., Eppelbaum, L.V., Abueladas, A., Ezersky, M., & Akkawi, E. (2011). Preliminary Magnetic Data Analysis in the Eastern Dead Sea Shore for identification of Subsurface Inhomogeneities. *Near Surface 2011 – 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics Leicester, UK*.
- Anchuela, O, Casas-Sainz, A., Soriano, M., & Pocovi-Juan, A. (2009). Mapping subsurface karst features with GPR: results and limitations. *Environmental Geology*, 58, 391-399.
- Andrej, M., & Uros, S. (2012). Electrical Resistivity Imaging of cave Divaska Jama,

Slovenia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 74 (3), 235-242.

Ardos, M. (1996). *Türkiye’de Kuaterner Jeomorfolojisi*. İstanbul: Çantay Kitabevi.

Armadillo, E., Massa, F., Caneva, G., Gambetta, M., & Bozzo, E. (1998). Modelling of karst features by geophysical method. An example: the doline of S. Pietro dei Monti (Western Liguria). *Anali Di Geofisica*, 41 (3), 389-397.

Atalay, İ. (1973). Toros Dağlarında Karstlaşma ve Toprak Teşekkülü Üzerine Bazı Araştırmalar. *Jeomorfoloji Dergisi*, 5, 135-153, Ankara.

Atalay, İ. (1998). Karstik Sahaların Potansiyel ve Sorunları. 15. *Türkiye Jeomorfoloji Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri*; 3-4.

Baba, A., Birsoy, K.Y., Ensari, E., Andiç, T., Baykul, A., ve Lengeranlı Y., (2011). İzmir ili yeraltı suyu kalitesi, *Çevre ve Jeoloji Sempozyumu*.

Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Erhan, Z., & Ekinci, Y. (2012). Exploration for a cave by magnetic and electrical resistivity surveys: Ayvacık Sinkhole example, Bozdağ, İzmir (western Turkey). *Geophysics*, 77 (3), 135-146.

Baykara, M. (2007). *Çokrağan-Yukarı Karacahisar (Banaz-Uşak) Karstik Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 13-62.

Beamish, D. (1994). Two dimensional regularized inversion of VLF data, *Journal of Applied Geophysics*, 32, 357-374.

Beamish, D. (1998). Three dimensional modelling of VLF data, *Journal of Applied Geophysics*, 39 (2), 63-76.

- Biricik, A. S. (1982). Beyşehir Gölü Havzasının Strüktürel ve Jeomorfolojik Etüdü. *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, 2867, İstanbul.
- Bosch, F., & Müller, I. (2005). Improved karst exploration by VLF-EM-gradient survey: comparison with other geophysical methods, *Near Surface Geophysics*, 3, 299-310.
- Boucher, M., Girard, J., Legchenko, A., Baltassat, J., Dörfliger, N., & Chalikakis, K. (2006). Using 2D inversion of magnetic resonance soundings to locate a water-filled karst conduit. *Journal of Hydrology*, 330, 413-421.
- Candansayar, M. E. (2007). *Doğru akım öz direnç yöntemi*. Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notu, 1-13.
- Canik, B. ve Pasvanoğlu, S. (2002). Orhangazi Ovası (Bursa) Dolayındaki Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal yönden incelenmesi. *Hidrolojide izotop tekniklerinin kullanılması sempozyumu bildiri özetleri kitabı*.
- Christensen, N. B., & Sorensen, K. I. (1998). Surface and borehole electric and electromagnetic methods for hydrogeological investigations. *European Journal of Engineering and Environmental Geophysics*, 3 (1), 75-90.
- Chouteau, M., Zhang, P., & Chapellier, D. (1996). Computation of apparent resistivity profiles from VLF-EM data using linear filtering, *Geophysical Prospecting*, 44, 215-232.
- Cooper, G.R.J. (2004). Geomodel for Windows, *Simultaneous magnetics and gravity modelling and inversion*, Version 2.01.
- Coppo, N., Schnegg, P., & Defago, M. (2006). Mapping a shallow large cave using a high-resolution Very Low Frequency Electromagnetic method. *Proceeding of the 8th Conference on Limestone Hydrogeology*, 71-74.

- Cramer, B. J., & Hiltunen, D. R. (2003). Investigation of bridge foundation sites in karst terane via multi-electrode electrical resistivity. *Presented at the 3rd International Conference on Applied Geophysics*.
- Çelik, M. ve Unsal, N. (1996). Girdev Gölü- Kazanpınarı kaynağı arasındaki (Antalya) allokon birimlerde yeraltı suyu dolaşımının incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39 (1), 69-74.
- Dahlin, T. (2001). The development of dc resistivity imaging techniques. *Computer and Geosciences*, 27, 1019 -1029.
- Dahlin, T., & Loke, M. H. (1998). Resolution of 2D Wenner resistivity imaging as assessed by numerical modelling. *Journal of applied Geophysics*, 38 (4), 237-249.
- Danışman, A. (2003). Investigation of karstic cavities by using EM-VLF method. *Journal of the Black Sea/ Mediterranean Environment*, 10, 113-122.
- Davraz, A. ve Şener, E. (2007). *Anamasdağı (Yenişarbademli Kuzeyi/Isparta) Karst Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11 (1), 64-74.
- Demir, S. (2008). *Isparta ve yakın çevresi yeraltı sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal incelenmesi ve içme suyu kalitesinin izlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 54-121.
- Doğan, U. (1996). Polye ve Flüvio-Karstik Depresyonlar (Seydişehir'in Güney-batısından Örnekler). *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 5, 229-246.

- Doğu, A. F., Çiçek, İ. ve Gürgen, G. (1994). Orta Toroslarda Karstlaşma Tipleri. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 3, 129-139.
- Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, Ö. T. (2004). Dört farklı elektrot dizilimine göre bazı üç-boyutlu sığ yeraltı yapılarının görünür öz direnç modellemesi. *Yerbilimleri*, 30, 115-128.
- Dumont, F. ve Kerey, E. (1975). Eğridir Gölü güneyinin temel jeolojik etüdü: *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 18 (2), 169-174.
- Dumont, J. F. ve Lys, M. (1973). Pisidya Torosları otoktonunda (Göller Bölgesi) bulunan Gökdaş Karbonifer serisinin tanımlanması (Viziyen-Başkariyen): *Türkiye 50. Yıl Yer Bilimleri Kongresi Tebliğiler*.
- Dunscumb, M. H., & Rehwoldt, E. (1999). Two-Dimensional Profiling; Geophysical Weapon of Choice in Karst Terrain for Engineering Applications, Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst – 1999. *Proceedings of the Seventh Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, Hershey*.
- Edwards, L. S. (1977). A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 42, 1020-1036.
- Ekmekçi, M. (1998). Karstik alanlarda baraj yeri hidrojeolojisi çalışmalarında morfolojik indikatörlerin pratik yararları. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 52, 57-62.
- El-Quady, G., Hafez, M., Abdalla, M., & Ushijima, K. (2005). Imaging subsurface cavities using geoelectric tomography and ground-penetrating radar. *Journal of Cave and Karst Studies*, 67 (3), 174-181.

- Ende, B. (2012). Geophysics of locating karst and caves. *Encyclopedia of Caves (Second Edition)*, 348-352.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun kuşağının tektonik ilişkisi, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 119, 1-15.
- Erinç, S. (1971), Jeomorfoloji. Cilt: II, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları*, 23.
- Erinç, S. (1960). Konya Bölümünde ve İç Toros Sıralarında Karst Şekilleri Üzerinde Müşahedeler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 20, 83-106.
- Farooq, M., Park, S., Song, Y., Kim, J., Tariq, M., & Abraham, A. (2012). Subsurface cavity detection in a karst environment using electrical resistivity (er): a case study from yongweol-ri, South Korea. *Earth Sciences Research Journal*, 16 (1), 75-82.
- Fraser, D.C. (1969). Contouring of VLF-EM data, *Geophysics*, 34, 958-967.
- Gambetta, M., Armadillo E., Carmisciano C., Stefanelli P., Cocchi L., & Tontini F.C., (2001). Determinig geophysical properties of a near-surface cave through integrated mikrogravity vertical gradient and electrical resistivity tomography measurements, *Journal of Cave and Karst Studies*, 73 (1), 11-15.
- Gauntam, P., Pant, S., & 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.
- Ghosh, D. P. (1971). The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements. *Geophysical Prospecting*, 19, 192-217.

- Gibson, P., Lyle, P., & George, D. (2004). Application of resistivity and magnetometry geophysical techniques for near-surface investigations in karstic terranes in Ireland, *Journal of Cave and Karst Studies*, 66 (2), 35-35.
- Gök, M., (2007). *Akpınar karstik kaynakları (Manisa) ve çevresinin hidrojeolojisi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 15-39.
- Griffiths, D. H., & Barker, R. D. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Griffiths, D. H., Turnbull, J., & Olayinka, A. I. (1990). Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array. *First Break*, 8 (4), 121-129.
- Güldalı, N. (1972). Korkuteli-Bucak Çevresinde Lapyra ve Dolin Çeşitleri ve Bunların Gelişmeleri. *Jeomorfoloji Dergisi*, 4, 81-98.
- Güldalı, N. (1971). Karstik Araştırmaların Türkiye İçin Önemi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 3, 54-61.
- Günay, G. (1992). Karst hidrojeolojisi araştırmalarında uygulanan yeni yöntemler ve Türkiye'den örnekler. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 8, 139-146.
- Hayles, J. G., & Sinha, A. K. (1986). A portable local loop VLF transmitter for geological fracture mapping. *Geophysical Prospecting*, 34, 873-896.
- Ismail, A., & Anderson, N. (2012). 2-D and 3-D Resistivity Imaging of Karst Sites in Missouri, USA. *Environmental & Engineering Geoscience*, 18 (3), 281-293.
- Johansen, H. K. (1977). A man computer system for resistivity soundings over a horizontally stratified earth. *Geophysical Prospecting*, 25, (4), 667-691.

- Kadioğlu S.A ve Ulugergerli E. U. (2004). Dalaman Akk6pru barajı rezervuar alanındaki boşlukların yer radarı yöntemiyle belirlenmesi. *Türkiye 16. Jeofizik Kongre ve Sergisi Bildiri özetleri Kitabı*.
- Karaman, A., & Karadayılar T. (2004). Identification of karst features using seismic P-wave tomography and resistivity anisotropy measurements. *Environmental Geology*, 45, 957-962.
- Karous, M., & Hjelt, S. E. (1983). Linear filtering of very low frequency (VLF) dip angle measurements, *Geophysical Prospecting*, 31, 782-794.
- Kaufmann, O., & Quinif, Y. (2001). An Application of Cone Penetration Tests and Combined Array 2D Electrical Resistivity Tomography to Delineate Cover-Collapse Sinkhole Prone Areas. *Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology, Proceedings of the Eighth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*, 359-364.
- Kaya, O. (1999). Batı Anadolu kırık dizgiler-petrol ve jeotermal potansiyel yönünden değerlendirme, *Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu*.
- Keçeli, A. (2009). Uygulamalı Jeofizik, *Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları*, 9, 241-256.
- Konomi, N., & Frasherı, A. (1992). Karst Araştırmalarında Jeofizik Yöntemlerin Birlikte Kullanımı, *Jeofizik*, 6, 15-34.
- Koca, M.Y. (1995). *Slope stability assessment of the abandoned andesite quarries in and around the İzmir city centre, Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Kröner A., & Şengör, C. (1990). Archean and Proterozoic ancestry in late Precambrian to early Paleozoic ancestry in late Precambrian to early Paleozoic Crustal elements of Southern Turkey as revealed by single zircon dating, *Geology*, *18*, 1186-1190.
- Lazzari, M., Loperte, A., & Perrone A. (2010). Near surface geophysics techniques an geomorphological approach to reconstruct the hazard cave map in historical and urban areas. *Advances in Geosciences*, *24*, 35-44.
- Leucci, G., & Giorgi, L. (2005). Integrated geophysical surveys to assess the structural conditions of a karstic cave of archaeological importance. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *5*, 17-22.
- Loke, M. H. (2012). Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. *RES2DINVx64 ver. 4.01.*, 30 Ekim 2012, <http://www.geotomosoft.com/downloads.php>.
- Marinos, P. (2001). Tunneling and Mining in Karstic Terrane, An Engineering Challenge. *Geotechnical & Environmental Applications of Karst Geology & Hydrology*, 1-14.
- Makeen, Y. ve Shariah, M. (2013). 2D Electrical resistivity imaging method for identifying sinkholes along Jalan Raja Dr. Nazrin Shah, Ipoh, Perak. *National Geoscience Conference*.
- Mochales, T., Casas, A., Pueyo, E., Pueyo, O., Roman, M., Pocovi, A., et al. (2008). Detection of underground cavities by combining gravity, magnetic and ground penetrating radar surveys: a case study from the Zaragoza area, NE Spain. *Environmental Geology*, *53*, 1067-1077.
- Nazik, L. (1989). Mağara Morfolojisinin Belirlediği Jeolojik-Jeomorfolojik ve Ekolojik Özellikler. *Jeomorfoloji Dergisi*, *17*, 53-62.

- Nazik, L. ve Güldalı, N. (1985). İncesu Mağaralar Sistemi (Taşkale/Karaman); Jeomorfolojik Evrimi ve Ekonomik Olanakları. *Jeomorfoloji Dergisi*, 13, 47-52.
- National Research Council (NRC). (2002). Coal Waste impoundments-Risks, Responses, and Alternatives, *Washington DC: National Academy Press*, 230.
- National Research Council (NRC). (2000). Seeing Into the Earth Noninvasive characterization of the shallow subsurface for environmental and engineering applications, *Washington DC: National Academy Press*, 129.
- Nouioua, I., Rouabhia, A., Fehdi, C., Boukelloul, M. L., Gadri, L., Chabou, D., et al. (2012). The application of GPR and electrical resistivity tomography as useful tools in detection of sinkholes in the Cheria Basin (northeast of Algeria). *Environmental Earth Sciences*, 68, 1661-1672.
- Ogilvy, R. D., & Lee, A. C. (1991). Interpretation of VLF-EM Impulse data using current density pseudosections, *Geophysical Prospecting*, 39, 567-580.
- Overmeeren, R. A., & Ritsema, I. L. (1988). Continuous vertical electrical sounding. *First Break*, 6 (10), 313-324.
- Özer, S. (1992). Upper Cretaceous Rudists from the Menderes Masifi, *Bulletin of the Geological Society of Greece Geology Society*, 28, (3) ,55-73.
- Özgül, N. (1976). Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 19, (1), 65-76.
- Park, G., Park, S., & Kim, J. (2010). Estimating the existence probability of cavities using integrated geophysics and a neural network approach. *Computers and Geosciences*, 36, 1161-1167.

- Park, G., Park, S., Yi, M., Rim, H., Cho, S. & Kim, J. (2010). Geostatistical integration using 2-D electrical resistivity and 3-D gravity methods for detecting cavities in a karst area. *Environmental Earth Sciences*, 60, 965-974.
- Pekcan, N. (1996). Karadere Uvalaları (Adapazarı). *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 4, 217-225.
- Pekcan, N. (1995). *Karst Jeomorfolojisi*, İstanbul: Filiz Kitabevi.
- Prokhorenko, V., Ivashchuk, V., Korsun, S., & Stefanyshyn, I. (2006). Ground penetrating radar survey in Podil'lya Karst area (Ternopil Region, Ukraine). *11th International Conference on Ground Penetrating Radar*.
- Quarto, R., & Schiavone, D. (2006). *Detecting Cavities and Fractures by Geophysical Methods*, 213-218.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, New York: John Wiley&Sons.
- Roth, M. J. S., & Nyquist, J. E. (2003). Evaluation of Multi-Electrode Earth Resistivity Testing in Karst. *Geotechnical Testing Journal*, 26, 167-178.
- Roth, M., Mackey, J., Mackey, C., & Nyquist, J. (2002). A case study of reliability of multielectrode earth resistivity testing for geotechnical investigations in karst terrains. *Engineering Geology*, 65, 225-232.
- Rybakov, M., Rotstein, Y., Shirman, B., & Al-Zoubi, A. (2005). Cave detection near the Dead Sea- a micromagnetic feasibility study. *The Leading Edge*, 585-590.
- Schlumberger, C. (1920). *Etude sur la Prospection électrique du sous-sol*. Paris: Gaultier-Villars et Cie.

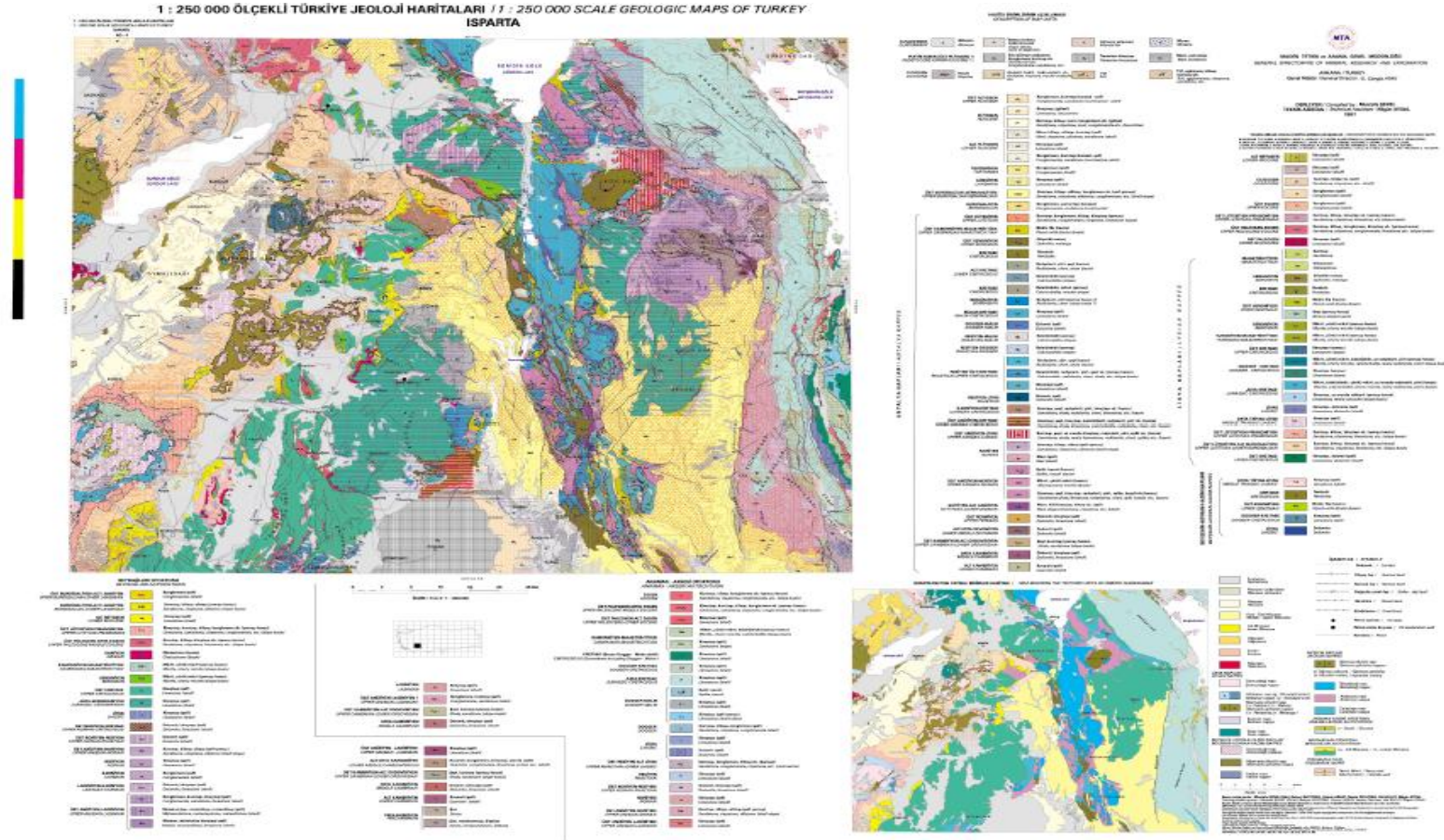
- Stafenescu, S., Schlumberger, C., & Schlumberger, M. (1930). Sur la distribution electrique potentielle autour d'une prise de terre pontuelle dans un terrain a couches, homogenes et isotropes. *Journal de Physique et du Radium, 1*, (4), 132-140.
- Stiefelwagen, W., & Müller, I. (1979). Radio Frequency Electromagnetics (RF-EM): VLF-EM extended to Hydrogeological Problems. *59th Meeting of the European Association of Geoscientists and Engineers*.
- Styles, P., McGrath, R., Thomas, E., & Cassidy, N. (2005). The use of microgravity for cavity characterization in karstic terrains. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 38*, 155-169.
- Sür, A. (1994). Karstik Yer şekilleri ve Türkiye'den Örnekler. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 3*, 1-28, Ankara.
- Şenel, M. (1997). *1:250000 Ölçekli Jeoloji Haritaları Isparta Paftası*. 13 Kasım 2013, http://www.mta.gov.tr/v2.0/haritalar/jeoloji_haritalari/isparta.pdf.
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A., Uğuz, M., ve diğer. (1996). Isparta büklümü doğusunda, otokton ve allokton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). *Maden Tetkik Arama Dergisi, 118*, 111-160.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, S., Metin, S., ve diğer. (1992). Eğridir- Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Raporu 9390, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Raporu 3132*, 559.
- Turkmen, S., Ozguler, E., Taga, H. & Karaoğullarından, T. (2002). Seepage problems in the karstic limestone foundation of the Kalecik Dam (S.Turkey). *Engineering Geology, 63* (4), 147-157

- Tüfekçi, K. (1998) Uzaktan algılama ve sayısal yükseklik modeli çalışmalarıyla potansiyel akifer tespiti, Sadrazanköy, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 120, 269-274.
- Türkiye'deki karstik alanların dağılımı.* (b.t). 23 Kasım 2012, <http://cografyabilimi.net/turkiyenin-jeomorfolojisi/>
- Van Nostrand, R.G., & Cook, K.L. (1966). Interpretation of resistivity data, *United States Geological Survey Professional Paper*, 499.
- Wenner, F., (1915). A method of measuring earth resistivity. *Bulletin, U.S . Bureau of Standards* 12, 258, 469-478.
- Yalçınlar, İ. (1969). *Strüktürel Morfoloji (2. Cilt)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları, 878.
- Yavuz, S. (2010). *Konya-Karapınar havzası karstik özelliklerinin belirlenmesinde hidrojeolojik parametrelerin kullanılması*. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 56-77.
- Yıldırım, M. ve Gökaşan, E. (2013). *Mühendisler İçin Jeoloji Bilgileri*. 22 Mart 2013, <http://www.ek.yildiz.edu.tr/images/images/yayinlar/muhendislericinjeo.pdf>
- Youssef, A.M., El-Kaliouby, H., & Zabramawi, Y. A. (2012). Sinkhole detection using electrical resistivity tomography in Saudi Arabia. *Journal of Geophysics and Engineering*, 9, 655-663.
- Zhou, W., Beck, B. F., & Stephenson, J. B. (1999). Application of Electrical Resistivity Tomography and Natural-Potential Technology to Delineate Potential Sinkhole Collapse Areas in a Covered Karst Terrane. *Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst –1999, Proceedings of the Seventh Multidisciplinary*

Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, Hershey, 187-193.

EKLER

EK1



Şekil 1 Isparta ve çevresinin 1/250000 ölçekli jeoloji haritası (Şenel, 1997)