



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KESTELEK BOR YATAĞINDA VLF VE DOĞRU AKIM  
ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMLERİ**

**Jeofizik Müh. Leyla ŞENEL  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yer Fiziği Programı**

**Danışman  
Doç.Dr. Murat BAYRAK**

**Temmuz, 2010**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KESTELEK BOR YATAĞINDA VLF VE DOĞRU AKIM  
ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMLERİ**

**Jeofizik Müh. Leyla ŞENEL  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yer Fiziği Programı**

**Danışman  
Doç.Dr. Murat BAYRAK**

**Temmuz, 2010**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 24/9/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliğı Anabilim Dalı Yer Fiziğı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç.Dr.Murat BAYRAK  
(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Aysan GÜRER  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. İbrahim KARA  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN AĞAÇGÖZGÜ  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Maden Fakültesi

Yard. Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 3105 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans eğitimim ve tez süresince gösterdiği her türlü yardım ve destekten dolayı saygıdeğer hocam Doç. Dr. Murat BAYRAK'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışma süresi boyunca her türlü araştırma, kaynak ve konaklama gibi yardımlarını esirgemeyen Bursa Kestelek ETİ Bor İşletmeleri Müdürü Maden Mühendisi M. Nihat YAMAN'a, Bursa Kestelek ETİ Bor İşletmeleri çalışanlarından Harita Mühendisi Habib GÖZ ile Jeoloji Mühendisi Adnan KADRİ'ye ve ETİ Genel Müdürlüğü'nde çalışan Jeofizik Mühendisi Musa KIRCI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen ve her türlü maddi ve manevi desteği veren babama Jeofizik Yüksek Mühendisi Dr. Hakkı ŞENEL'e; her zaman yanımda olan aileme ve dostlarıma; ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

**Temmuz, 2010**

**Leyla ŞENEL**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR .....	3
2.1. BOR YATAKLARI.....	3
2.1.1. Bor Minerallerinin Özellikleri .....	4
2.1.2. Bor Yataklarının Çökelim ve Oluşum Koşulları .....	5
2.1.3. Karasal Havzalardaki Bor Yatakları .....	8
2.1.5. Dünyadaki Ekonomik Bor Yatakları.....	10
2.2. KESTELEK BOR YATAĞININ JEOLJİSİ VE OLUŞUMU .....	12
2.2.1. Genel Jeoloji .....	12
2.2.2. Kestelek Yatağının Cevher Zonları ve Özellikleri .....	17
2.2.2.1. Taban Cevheri .....	21
2.2.2.2. Orta Cevher.....	21
2.2.2.3. Tavan Cevheri .....	22
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
3.1. DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ (DC) YÖNTEMİ .....	23
3.1.1. Elektrot Dizilimleri .....	23
3.1.1.1. Dipol – Dipol Elektrot Dizilimi .....	26
3.1.1.2. Farklı Açılımların Sinyal Katkı Kesitleri .....	29
3.1.2. Doğru Akım (DC) Özdirenç Verilerinin İki – Boyutlu (2–B) Ters Çözümü ....	30
3.2 ELEKTROMANYETİK-VLF YÖNTEMİ .....	36

3.2.1. Fraser Filtresi.....	43
3.2.2. Karous & Hjelt Filtresi: .....	44
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>48</b>
4.1. DOĞRU AKIM (DC) ÖZDİRENÇ İLE VLF EKİPMANI VE VERİ TOPLAMA. 48	
4.1.1. Doğru Akım (DC) Özdirenç Ekipmanı.....	48
4.1.2. Elektromanyetik-VLF Ekipmanı.....	50
4.2. ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	51
4.2.1. Profil 1 .....	51
4.2.2. Profil 2 .....	57
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>76</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1.** Bor elementinin devirselliği ve konsantrasyonu (Helvacı, 2004). Borun kayalardaki bulunuşu, Goldshmidt, Landergen ve Hader'a göredir (Watanabe, 1964). 1. Borun kayalardaki ortalama içeriği (g/t); 2. Borun ekzojenik konsantrasyonu (%); 3. Borun endojenik konsantrasyonu (%), Ss – sasolit, Ux – üleksit, Cl – kolemanit, Pd – pandemit, Ke – kernit; İn – inderit, Bc – boraksit, Sz – szaibelyit, L – ludvigit, K – kotoit, J – jimboit  $[Mn_3(BO_3)_2]$ , Dt – datolit, Ax – aksinit, T – turmalin, Br – braunit. .... 6
- Şekil 2.2.** a) Batı Anadolu'da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökelim modeli ve b) Kestelek borat havzasındaki bor minerallerinin (kolemanit, üleksit ve probertit) dağılımının ölçeksiz kesiti (Helvacı, 2004). .... 8
- Şekil 2.3.** Bursa-Kestelek Eti Maden İşletmeleri'in Uydu Görüntüleri. .... 13
- Şekil 2.4.** Bursa – Kestelek bor maden yatağının jeoloji haritası (Koçak ve Sözügüzel, 1989). .... 15
- Şekil 2.5.** Çalışma alanı ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Koçak ve Sözügüzel, 1989). .... 16
- Şekil 2.6.** Kestelek borat yatağı, **A)** Kolemanitin ayrışması sonucunda gelişen tipik boşluklu kalsit oluşumu. **B)** Çökeller içinde gelişen disk şeklindeki kolemanit yumruları (Helvacı, 2003). .... 19
- Şekil 2.7.** Kestelek bor maden yatağından çıkarılan bor minerali örnekleri. .... 21
- Şekil 3.1.** Dört – Elektrot Dizilimleri (Seaton ve Burbey, 2002). .... 25
- Şekil 3.2.** Dipol açılımının genel gösterimi (Bhattacharya ve Patra, 1968). .... 26
- Şekil 3.3.** Dipol açılım türleri. r; radyal, x; paralel, y; dik dipol,  $\theta$ ; azimutal, q; ekvatoryal, p; polar dipol türlerini göstermektedir (Başokur, 2004). .... 27
- Şekil 3.4.** Elektrik alan bileşenleri (Başokur, 2004). .... 28
- Şekil 3.5.** a) Wenner, b) schlumberger ve c) dipol – dipol dizilimleri için sinyal katkı kesitleri. Barker'a göre (1979) konturlar yeraltındaki farklı hacimdeki



elemanlar tarafından $P_1$ ve $P_2$ potansiyel elektrotların arasında ölçülen toplam potansiyel farkına bağlı katkılarını göstermektedir (Reynolds, 1997).	29
<b>Şekil 3.6.</b> Nicel yorumlamanın basitleştirilmiş akış şeması (Başokur, 2002).	31
<b>Şekil 3.7.</b> Bazı elektromanyetik yöntemlerinin frekans ve zaman aralıkları (Tezkan, 1999).	36
<b>Şekil 3.8.</b> Yer – iyonosfer arasında radyo dalgası yayılım mekanizması (Arcone, 1979).	37
<b>Şekil 3.9.</b> Kayaçlar ve sular için özdirenç değerleri (Kearey ve Brooks, 2002).	43
<b>Şekil 3.10. a)</b> Koordinat sistemi ve akım çizgilerinin yönelimi ve <b>b)</b> Bir akım – yoğunluk elemanının manyetik alanı (Karous ve Hjelt, 1983).	45
<b>Şekil 4.1.</b> Doğru akım (DC) özdirenç ve elektromanyetik – VLF ölçümleri alınan Eti Maden İşletmesi'ne bağlı Kestelek bor yatağı.	48
<b>Şekil 4.2.</b> Arazide doğru akım (DC) özdirenç yönteminde kullanılan SAS – 2000 cihazı (Zobu, 2010).	49
<b>Şekil 4.3.</b> Andıran kesit oluşturmak amacıyla arazideki doğru akım (DC) özdirenç dipol-dipol ölçü düzeni.	50
<b>Şekil 4.4.</b> Arazide elektromanyetik – VLF ölçümlerinde kullanılan Kanada yapımı SCIENTREX EDA OMNI PLUS cihazı.	51
<b>Şekil 4.5.</b> Arazide doğru akım (DC) özdirenç ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin alındığı Profil 1'in konumu.	52
<b>Şekil 4.6.</b> Profil 1'de doğru akım (DC) özdirenç verilerinin <b>a)</b> Ölçülen görünür özdirenç andıran kesidi, <b>b)</b> Hesaplanan görünür özdirenç andıran kesidi, <b>c)</b> Ters çözüm sonucu elde edilen iki – boyutlu (2-B) gerçek özdirenç modeli ve <b>d)</b> Profil 1 civarında alınmış olan SK 73 mekanik sondaj logu (Koçak ve Sözügüzel, 1989).	53
<b>Şekil 4.7.</b> Profil 1 de alınan doğru akım (DC) ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin değerlendirilmesi <b>a)</b> Doğru akım (DC) özdirenç verilerinin ters çözüm sonucu elde edilen iki – boyutlu (2-B) gerçek özdirenç modeli, <b>b)</b> VLF görünür özdirenç ( $\rho_a$ , ohm m), <b>c)</b> Profil 1 VLF bostick derinlikleri, <b>d)</b> VLF faz ( $\phi$ , derece), <b>e)</b> VLF gerçel tipper ile Fraser filtre sonucu ve <b>f)</b> VLF gerçel tipperdan türetilen K&H akım yoğunluğu andıran kesidi.	56

- Şekil 4.8.** Profil 1 civarında alınmış olan SK 73 mekanik sondaj logunun (Koçak ve Sözügüzel, 1989); DC 2–B gerçek özdirenç modelindeki ve elektromanyetik–VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu andıran kesidindeki izdüşümü karşılaştırılması. .... 57
- Şekil 4.9.** Araziye doğru akım (DC) özdirenç ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin alındığı Profil 2'nin konumu. .... 58
- Şekil 4.10.** Profil 2'de doğru akım (DC) özdirenç verilerinin **a)** Ölçülen görünür özdirenç andıran kesidi, **b)** Hesaplanan görünür özdirenç andıran kesidi, **c)** Ters çözüm sonucu elde edilen iki-boyutlu (2-B) gerçek özdirenç modeli ve **d)** Profil 2 civarında alınmış olan SK 2 mekanik sondaj logu (Koçak ve Sözügüzel, 1989). .... 60
- Şekil 4.11.** Profil 2 de alınan doğru akım (DC) ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin değerlendirilmesi **a)** Doğru akım (DC) özdirenç verilerinin ters çözüm sonucu elde edilen iki – boyutlu (2–B) gerçek özdirenç modeli, **b)** VLF görünür özdirenç ( $\rho_a$ , ohm m), **c)** Profil 2 VLF bostick derinlikleri, **d)** VLF faz ( $\phi$ , derece), **e)** VLF gerçel tipper ile Fraser filtre sonucu ve **f)** VLF gerçel tipperdan türetilen K&H akım yoğunluğu andıran kesidi. .... 62
- Şekil 4.12.** Profil 2'in civarında alınmış olan SK 2 mekanik sondaj logunun (Koçak ve Sözügüzel, 1989); DC 2–B gerçek özdirenç modelindeki ve elektromanyetik–VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu andıran kesidindeki izdüşümü karşılaştırılması. .... 64

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Dünya Bor Rezervleri ( $10^6$ x ton $B_2O_3$ ) (23.07.2004 tarihi itibariyle Eti Maden İşletmeleri Rezerv Bilgileri kullanılmıştır) (Sarıhan, 2006). ....	3
<b>Tablo 2.2.</b> Ticari Önem Taşıyan Bor Mineralleri ve Çıkarıldıkları Bölgeler (MTA, 1982; D.P.T., 1977; Baykal, 2003; Helvacı, 2003).....	10
<b>Tablo 2.3.</b> Kestelek yatağında üretilen bor minerallerinin özellikleri (Koçak ve Sözügüzel, 1989).....	18
<b>Tablo 3.1.</b> Elektrot Dizilimleri (Reynolds, 1997) .....	24
<b>Tablo 3.2.</b> Elektromanyetik–VLF frekanslarında (15-30 kHz) yayın yapan bazı radyo istasyonları (Bayrak ve İlkışık, 1995; Hill,2005; Sidstation,2009; SMeter, 2010; ABEM, 2010).....	37

## ÖZET

### **KESTELEK BOR YATAĞINDA VLF VE DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMLERİ**

Türkiye’de Kestelek bor yatağını kesen iki profil boyunca elektromanyetik – VLF parametreleri olan görünür özdirenç, faz, tipperin gerçel kısmı ile doğru akım (DC) özdirenç verileri alınmıştır. VLF tipperin gerçel parçası bor cevherinin olası yerini belirlemek amacıyla ayrıca Fraser ve Karous & Hjelt filtreleri uygulanarak işlenmiştir. DC özdirenç yöntemi için alınan özdirenç verisinin ters çözümü ile iki – boyutlu özdirenç modelleri elde edilmiştir. Ana bulgular şunlardır: (1) K&H tipperin gerçel kısmı akım yoğunluğunun andıran kesitleri tarafından negatif akım yoğunluğu pikleri ile desteklenen iki – boyutlu modellerdeki orta özdirençli (>12 ohm m) bölgeler bor yataklarına işaret edebilir. (2) K&H tipperin gerçel kısım akım yoğunluğu andıran kesitinde pozitif piklerden negatif piklere geçiş olası bor yataklarına işaret edebilir. (3) Çalışma alanında iki profil civarında yapılmış olan sondajlar iki – boyutlu özdirenç modellerinde ve K&H tipperin gerçel parçası filtre görüntülerindeki özdirençli olası bor zonları ile uyum içerisindedir.

## **SUMMARY**

### **VLF AND DIRECT CURRENT RESISTIVITY MEASUREMENTS OVER THE KESTELEK BORON DEPOSIT**

Electromagnetic – VLF parameters such as the apparent resistivity, phase, real part of tipper and direct current (DC) resistivity data were collected along two profiles across the Boron deposit in Kestelek Site, Turkey. The electromagnetic – VLF data also were processed applying the Fraser and Karous & Hjelt filtering to explore the possible location of the subsurface boron ore body. The two-dimensional resistivity models were obtained by the inversion of resistivity data for DC resistivity method. The main findings are: (1) Moderate resistivity ( $>12$  ohm m) zones in the two – dimensional models supported by the K&H real part of tipper as the negative current density peaks may indicate boron deposits. (2) Transition from positive peaks (conductive regions) to negative peaks (more resistive regions) in the K&H real part of tipper current density pseudosection may indicate the possible boron deposits. (3) Drilling results around two profiles of the study area are consistent with the resistive boron zones in the both two – dimensional resistivity models and K&H real part of tipper filter images.

## 1. GİRİŞ

Bu tezin konusu bor yatağı ile ilgili yapılabilecek jeofizik araştırmalara ışık tutması amacıyla seçilen bir bor yatağı üzerinde elektromanyetik-VLF ve doğru akım (DC) özdirenç yöntemlerinin etkinliğinin araştırılmasıdır. Ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri hâlinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır (Kılıç, 2004). Dünya bor minerallerinin %70'ine yakın bir bölümü Türkiye'deki havzalarda bulunduğundan dolayı bor yataklarının ülkemiz için stratejik önemi büyüktür. Türkiye bor yatakları, dünyanın en büyük ve yüksek tenörlü B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren (sırasıyla %30 kolemanit, %29 üleksit ve %25 boraks – tinkal) yatakları olup, dünya ihtiyacının büyük bir kesimini uzun yıllar karşılayacak boyuttadır (Helvacı, 2004). Bor yatakları rezervleri yaklaşık 2.5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin ülkesi Türkiye'dir (Kılıç, 2004). Bor cevherinin %95'i yurtdışına satılmaktadır. Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen havzalarında önemli boyutlarda linyit, bitümlü şeyl, uranyum, bor yatakları ve birçok diğer endüstriyel hammadde içermektedir. Türkiye'de bilinen başlıca bor yatakları Batı Anadolu'da yer almaktadır (Baykal, 2003). Türkiye rezervlerinin % 37'si Bigadiç – Sultançayırı, % 34'ü Emet, % 28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgelerinde bulunmaktadır (Helvacı, 2004; Kılıç, 2004). Ancak bor yataklarının jeofizik elektrik (doğru akım özdirenç) ve elektromanyetik (VLF) yöntemlerle araştırılması hakkında yeterli bilgi ve çalışmaya rastlanmamıştır.

Endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan bor mineralleri ürünleri; fiberglas, tıp uygulamaları ve eczacılık maddeleri ile çok çeşitli ilâçların yapımında, nükleer reaktörlerde koruyucu olarak, çeşitli malzemelerin uzun süre korunmasında, suni gübre yapımı ve tarım sanayinde, fotoğrafçılık, bakterileri öldürücü niteliği, su içinde kolay erirliği ve mükemmel su yumuşatıcı özellikleriyle sabunlarda, temizleyicilerde, deterjanlarda, tekstil boyamalarında, cam ve seramik yapımında ve emaye gibi

geleneksel kullanım endüstrilerinde, kuvvetli lehimlemede, kaynak işlerinde, sürtünmelerin azaltılmasında ve arıtma işlemlerinde çok büyük avantajlar sağlayarak başlıca temel hammaddelerini oluşturmaktadır (Helvacı, 2004).

Bu çalışmada Kestelek (Mustafakemalpaşa – Bursa) bor yatağı üzerinde elektromanyetik – VLF ve doğru akım (DC) öz direnç (dipol – dipol dizilimi) yöntemleri birlikte kullanılarak bu iki jeofizik yönteminin etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Elektromanyetik-VLF yöntemi ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bayrak, 1993; Bayrak ve İlkışık, 1995; Bayrak ve diğ., 1996; İlkışık ve diğ., 1995; Drahor ve diğ., 1999). Elektromanyetik-VLF yöntemi maden aramalarında dünyada başarılı şekilde uygulanmaktadır (Paterson ve Ronka, 1971; Hutchinson ve Barta, 2002; Bayrak, 2002; Eze ve diğ., 2004; Liu ve diğ., 2006; Moon ve diğ., 2006). Ayrıca doğru akım (DC) öz direnç yöntemi de maden aramalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Başokur, 2003; Chambers ve diğ., 2007; Ramalho ve diğ., 2009). Alınan doğru akım (DC) öz direnç verileri iki – boyutlu (2-B) olarak modellenerek yeraltının 2-B öz direnç yapısı ortaya çıkartılmıştır. Elektromanyetik – VLF yöntemi ile alınan görünür öz direnç ( $\rho_a$ ), faz ( $\phi$ ) ve tipper parametrelerinin Fraser (1969) ve K&H (1983) filtre sonuçlarının profil boyunca değişimleri izlenerek yatay ve düşey yapı sınırları belirlenmektedir. Doğru akım (DC) öz direnç ile elektromanyetik – VLF yöntemleri kıyaslanarak bor yataklarının araştırılmasında kullanabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca iki yöntemin bor yataklarını aramalardaki birbirine göre avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. BOR YATAKLARI

Doğada az bulunan ve duraysız elementlerden birisi olan bor, yer kabuğunda ortalama 10 ppm'den az olarak bulunmaktadır. Bor, doğada ortalama olarak karasal sularda 0.1 ppm, yer kabuğunda 3 ppm ve deniz suyunda 4.6 ppm oranlarında bulunan ender bir elementtir. Konsantrasyonun olduğu yerlerde genelde yersel bir volkanik aktivite (bor kaynağı olarak), playa gibi su kitlesi (bor bileşiklerini çözen), evaporasyon koşulları (çökeltme noktasında çözeltiyi konsantre eden) ve üstüne gelen koruyucu tortul tabaka (kolay çözülebilen bor mineralini koruyan) yer alır (Helvacı, 2004).

Doğada çoğunluğu sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzlarından yapıları 230'u aşkın bor minerali tanımlanmıştır. Ancak, günümüzde sadece boraks, üleksit, kolemanit ve datolit ekonomik olarak önem taşımaktadır. Doğal sodyum borat dekahidrat olan boraks veya tinkal, borun en ekonomik kaynağı olup başlıca ABD, Arjantin ve Türkiye'de üretilmektedir. Dünya borat rezervinin %70'ine yakın bir bölümü Türkiye'deki havzalarda bulunmaktadır (Helvacı, 1983; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı ve Orti, 1998; Helvacı, 2003; Boren, 2010). Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, başlıca kalsiyum borat minerali olan kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır. Bor cevheri olağan olarak borik asit veya  $B_2O_3$  içeriği ile tanımlanır ve satılır. Dünya bor rezervleri Tablo 2.1'de verilmiştir (Helvacı, 2004).

Günümüze kadar Türkiye'de saptanmış olan başlıca bor yatakları, Batı Anadolu'da, doğu – batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey – güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde yer alır. Türkiye rezervlerinin % 37'si Bigadiç – Sultançayırı, % 34'ü Emet, % 28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgelerinde bulunmaktadır (Baykal, 2003; Helvacı, 2004; Kılıç, 2004).

Tablo 2.1. Dünya Bor Rezervleri ( $10^6$  x ton  $B_2O_3$ ) (23.07.2004 tarihi itibarıyla Eti Maden İşletmeleri Rezerv Bilgileri kullanılmıştır) (Sarıhan, 2006).



Ülke	Görünür Ekonomik Rezerv (x10 <sup>6</sup> ton)	Muhtemel Mümkün Rezerv (x10 <sup>6</sup> ton)	Toplam Rezerv (x10 <sup>6</sup> ton)	Toplam Rezervdeki Pay (%)
Türkiye	227	624	851	72,20
A.B.D.	40	40	80	6,80
Rusya	40	60	100	8,50
Çin	27	9	36	3,10
Arjantin	2	7	9	0,80
Bolivya	4	15	19	1,60
Şili	8	33	41	3,50
Peru	4	18	22	1,90
Kazakistan	14	1	15	1,30
Sırbistan	3	0	3	0,30
Toplam	369	807	1.176	100,00

### 2.1.1. Bor Minerallerinin Özellikleri

Bor elementi, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Temel hâl elektron konfigürasyonu  $1s^2 2s^2 2p^1$  ve valans elektronları  $2s^2 2p^1$ 'dir. Bor elementi <sup>8</sup>B, <sup>10</sup>B, <sup>11</sup>B, <sup>12</sup>B, <sup>13</sup>B izotoplarından oluşmaktadır. En kararlı izotopları <sup>10</sup>B ve <sup>11</sup>B'dir. Bu izotopların tabiatta bulunma oranları sırasıyla % 19.1 – 20.3 ve % 79.7 – 80.9'dir. <sup>10</sup>B izotopu, çok yüksek termal nötron tutma özelliği gösterir. Böylelikle nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilir. Türkiye'de <sup>10</sup>B izotop oranı yüksek bor cevher yatakları bulunmaktadır. Bor tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Ancak, sanayide alkali ve toprak alkali bor mineralleri olan Tinkal ( $Na_4B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), kernit ( $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$ ), kolemanit ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ ) ve üleksit ( $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$ ) kullanılmaktadır. Ekonomik bor yatakları sınırlı olup en çok Türkiye ve ABD'de bulunmaktadır (BOREN, 2010). Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, kristal yapısı rhombohedraldir. Mohs sertliği 9.3 olan bor, çizilmeye karşı mukavemetli olmakla beraber, ısıya karşı karardır. Sarı veya kahverengi ametal kristal olarak görülen bor, kızıl ötesi ışığın bazı dalga boylarına karşı saydamdır. Yoğunluğu 300 K'de 2.34 gr/cc ve ergime noktası 2573 K'dir (2300°C –

4172°F). Oda sıcaklığında zayıf elektrik iletkenliğine sahip olmasına rağmen, yüksek sıcaklıkta iyi bir iletkendir (Baykal, 2003; BOREN, 2010; Sertkaya, 2007).

Bor mineralleri, uygarlığın ilk zamanlarından itibaren bilinmektedir. Altın ve gümüş kuyumcuları tarafından akışkanlığı artırmakta, seramikçiler tarafından sırlama, mikrop öldürme özelliğinden dolayı Mısırlılar tarafından tedavi amaçlı ve mumyalama işlerinde, Eski Yunanlılar tarafından ise temizlik maddesi olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir. Ancak bor mineralinin kullanım alanlarına dair ilk yazılı metine 762 senesinde Arap yerleşimleri çevresinde rastlanmaktadır. Bu tarihten kısa bir süre sonra Çin'e ve 12. ve 13. yüzyılda Avrupa'ya taşınmıştır. 15. yüzyıla gelindiğinde, boraks ticareti Venediklilerin eline geçmiş ve 17. yüzyılda Hollandalılar ticareti üstlenerek işlenmesi konusunda da oldukça fazla bir bilgi birikimine sahip olmuşlardır. 1900'lü yıllara gelindiğinde İtalya'da keşfedilen doğal borik asit, Avrupa pazarının ihtiyacını büyük oranda karşılamıştır (Sertkaya, 2007).

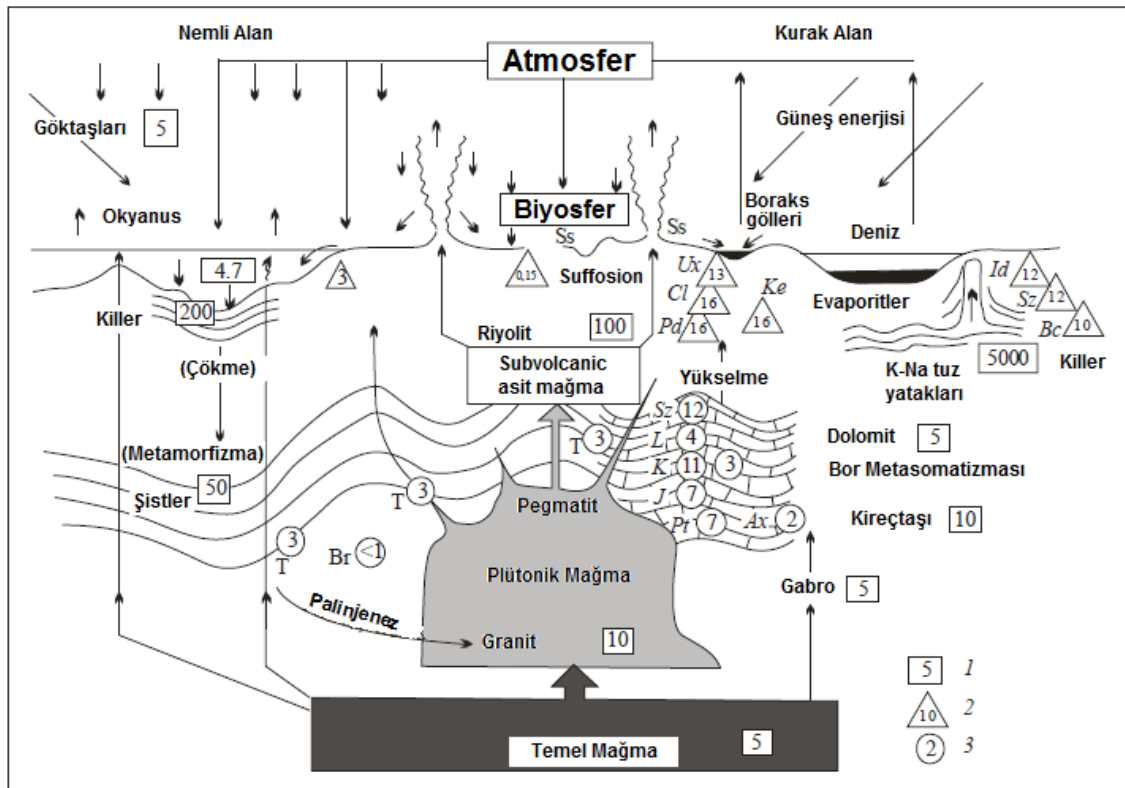
Elementer bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy tarafından elde edilmiştir. Modern bor endüstrisi ise 13. yy'da Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlamış ve 1771 yılında, İtalya'nın Tuscani bölgesindeki sıcak su kaynaklarında Sassolit bulunduğu anlaşılmış olup 1852'de Şili'de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği başlamıştır. Nevada, California, Caliko Moutain ve Kramer yöresindeki yatakların bulunarak işletilmeye alınmasıyla ABD dünya bor gereksinimini karşılayan birinci ülke haline gelmiştir. Türkiye'de ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizannamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine işletme imtiyazı verilmesiyle başlamıştır. 1950 yılında Bigadiç ve 1952 yılında Mustafa Kemalpaşa yöresindeki kolemanit yatakları bulunmuştur. 1956 yılında Kütahya Emet Kolemanit, 1961 yılında Eskişehir Kırka Boraks yataklarının bulunması ve işletilmesiyle Türkiye, dünya bor üretimi içinde %3 olan payını 1962'de %15, 1977'de %39 düzeyine yükseltmiştir (Baykal, 2003; Sertkaya, 2007; ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2010).

### **2.1.2. Bor Yataklarının Çökelim ve Oluşum Koşulları**

Dünyadaki başlıca bor yatakları, levha sınırları ile ilişkili tektonik olarak aktif açılmalı bölgelerde bulunmaktadır. ABD, Güney Amerika ve Türkiye'deki ekonomik yatakların çoğunun karasal çökeller ve Neojen yaşlı volkanizma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Magmatik ve metamorfik kayalarla ilişkili bor minerallerin, magmatik segregasyonun (ayrılma) son fazı veya hidrotermal akışkanlar tarafından sokulum kayalarından yıkandığı şeklinde düşünülmektedir (Şekil 2.1) (Helvacı, 2004).

Bor yataklarının oluşumu aşağıdaki gibi özetlenebilir (Helvacı, 2004):

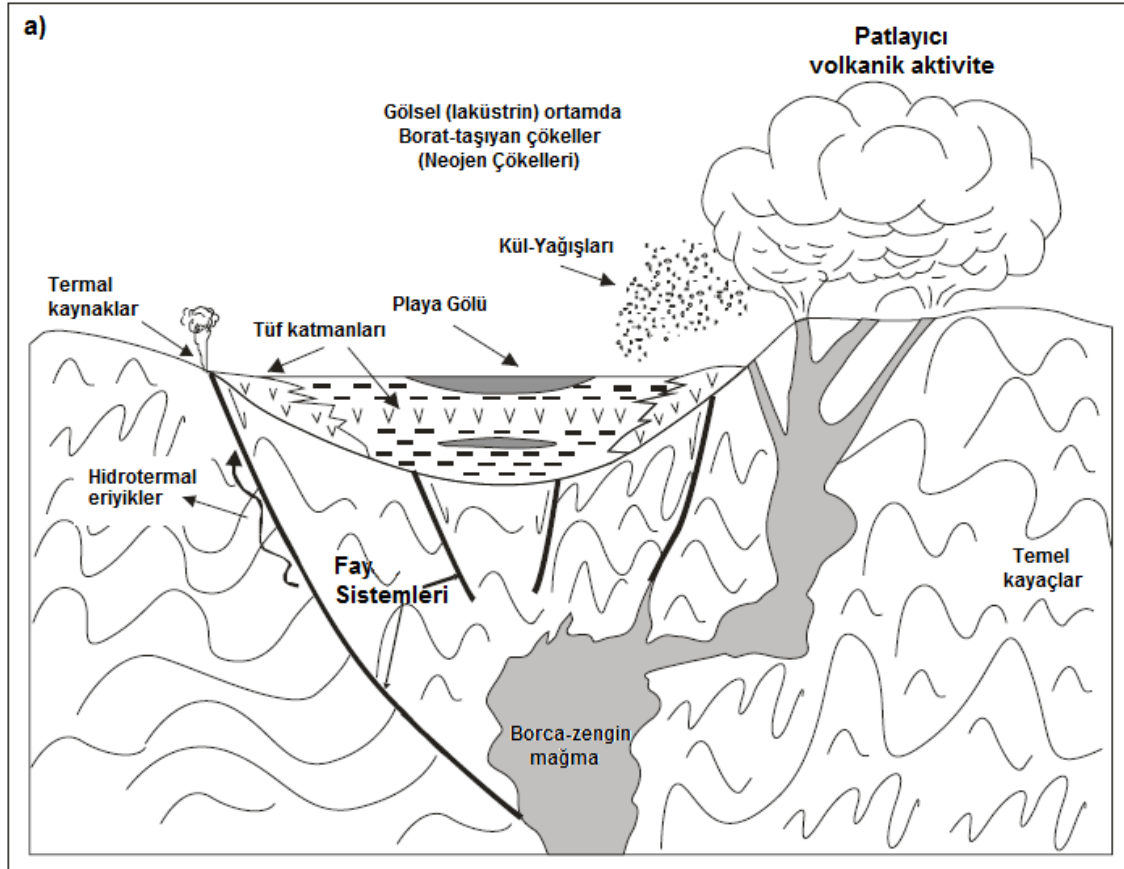
- Bor elementi (B) nadir elementlerden olmasına karşın (yer kabuğunda ortalama 100 ppm), belli yerlerde çok yüksek konsantrasyonlarda bulunur.
- Değişik jeolojik ortamlarda oluşan 150'nin üzerinde mineralin bor içerdiği bilinmektedir. Bunlar üç gruba ayrılmaktadır:
  - I. Silikat ve demir oksitlerden oluşan ve sokulmalar ile ilişkili skarn grubu,
  - II. Denizsel evaporitik çökeller içerisinde bulunan magnezyum oksit grubu,
  - III. Patlamalı volkanik aktivite ve gölsel (playa gölü) tortulları ile ilişkili Na ve Ca borat grubu.

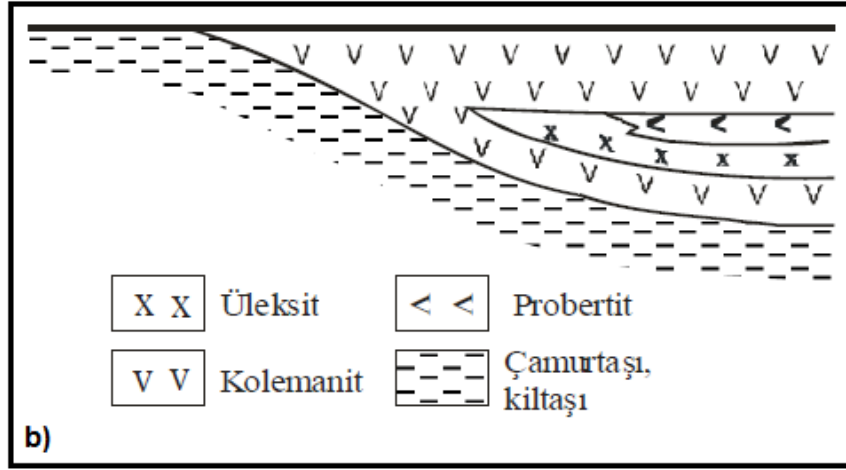


Şekil 2.1. Bor elementinin devirselliği ve konsantrasyonu (Helvacı, 2004). Borun kayalardaki bulunuşu, Goldshimidt, Landergen ve Hader'a göredir (Watanabe, 1964). 1. Borun kayalardaki

ortalama içeriği (g/t); 2. Borun ekzojenik konsantrasyonu (%); 3. Borun endojenik konsantrasyonu (%), Ss – sasolit, Ux – üleksit, Cl – kolemanit, Pd – pandemit, Ke – kernit; İn – inderit, Bc – boraksit, Sz – szaibelyit, L – ludvigit, K – kotoit, J – jimboit [ $Mn_3(BO_3)_2$ ], Dt – datolit, Ax – aksinit, T – turmalin, Br – braunit.

- Aşağıdaki koşullar playa gölü volkanosedimenter istiflerde ekonomik boyutlu bor minerali yataklarının oluşumu için esastır (Şekil 2.2) (Helvacı, 2004):
  - I. Playa gölü ortamının oluşması,
  - II. Playa gölünde,
    - Andezitten riyalite kadar bileşim sunan volkanitlerin varlığı,
    - Havzaya doğrudan kül yağışı,
    - Graben fayları boyunca hidrotermal akışkanlardan kaynaklanan bor zenginleşmesinin gerçekleşmesi
  - III. Volkanizma yakınında termal kaynakların bulunması,
  - IV. Kurak ve yarı kurak iklim koşulları,
  - V. Göl suyu pH'sının 8.5 – 11 arasında olması.





Şekil 2.2. a) Batı Anadolu’da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökelim modeli ve b) Kestelek borat havzasındaki bor minerallerinin (kolemanit, üleksit ve probertit) dağılımının ölçeksiz kesiti (Helvacı, 2004).

### 2.1.3. Karasal Havzalardaki Bor Yatakları

Bor yatakları, Tersiyer başlangıcından Kuvaterner’e kadar devam eden aktif volkanizma ile ilişkili termal kaynaklar ve hidrotermal çözeltilerin yer aldığı bölgelerde, kıta içi playa – göl çökellerinin içinde oluşmuşlardır. Bor yataklarının içinde bulunduğu ortam litolojisinin birbirinden farklılıklar göstermesine karşın, genellikle kalkalkalen karakterli ve asitten bazıya kadar değişen volkanitlerin yanı sıra, çökellerle aralanmalı olarak bulunan piroklastik (kırıntılı) kayalar ile çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, tüf, tüfit, marn ve kireçtaşı ile ara katmanlıdır. Ayrıca, bor minerallerin çökeldiği havza ve borun konsantre olduğu kaynağın yanı sıra kurak iklim koşulları da kolayca çözülebilen borların ekonomik miktarlarda konsantrasyonu ve çökelişi sırasında önemli bir koşuldur. Bor yataklarındaki çökeller genellikle açık bir devirsellik gösteren, kurak veya yarı kurak iklim koşullarında bağımsız ya da birbirleriyle çeşitli bağlantıları olan havzalarda depolanmışlardır. Riyolitik, dasitik, trakitik, andezitik ve bazaltik bileşimlere sahip volkanik kayalar ve bunların kırıntılı gereçleri (piroklastikler) söz konusu gölsel çökellerle ara katmanlaşmışlardır. Tüm bor yataklarının bulunduğu bölgelerde volkanik kayaların bulunması, bor getirimi ve bor yataklarının oluşumunun ortaç ve asidik volkanik kayalara bağlı olduğunu ve dolayısıyla volkanik etkinliğin

gerekli olduğunu açıklar. Diğer taraftan bor yataklarının bulunduğu havzalardaki çökellerin büyük bir bölümünün volkanik kayalardan türemiş gereçler içermesi bu varsayımı destekler yönde değerlendirilebilir (Helvacı, 2004).

Türkiye'nin bilinen bor mineralleri yatakları Tersiyer'de başlayan ve Kuvaterner'in başlangıcına kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde oluşmuştur. Buna göre bor yatakları, Miyosen'de Batı Anadolu'yu etkileyen büyüme fayları ve grabenleşme ile volkanik ve sismik yönden aktif sahalarda gelişmiş dağarası kapalı havzalardaki ayırık veya birbirleriyle bağlantılı olabilen gölsel (laküstrin) ortamlarda depolanmıştır. Türkiye'deki bor yataklarının tümü, volkanik aktivite ile ilgili yataklar olarak sınıflandırılır. Bor yataklarını içeren havzalardaki çökeller, yatay ve düşey fasiyes değişimlerine bağlı olarak açık bir devirsellik gösterirler. Miyosen volkanosedimenter çökeller içinde yer alan Türkiye bor yataklarının geometrisi, genel olarak çökel kayaçlar içinde merceksel yapılar sunmasına karşın, sıkça çökel kayaçlarla ardalanmalar, ince bantlar ve yanal olarak kamalanmalar gösterirler. Ayrıntılı olarak bor yatakları incelendiğinde, katmanların tabaka eğimleri genellikle yataydan 20°'ye kadar değişir. Yataklar kuzeybatı – güneydoğu ve kuzeydoğu – güneybatı uzanımlı gravite fayları tarafından ornatılmışlardır. Egemen olan fay tipi, eğimleri 30°'den düşeye kadar değişen normal faylardır. Bu faylar, çoğu kez bor düzeylerinin parçalanmasına ve zamanla fay zonlarında cevherlerin ayrışmasına neden olmuşlardır. Bazı yataklarda ise çökel kayaçlar belirgin kıvrımlanma gösterirler. Bu kıvrımlanmalar, çökel kayaçlarla birlikte borları da etkilemiş olup, çoğu yerde borların parçalanmasına, sucuk ve yersel küçük boyutlu yapılar sunmasına neden olmuşlardır. Bor yataklarını oluşturan playa göllerindeki tortulların litolojisi, birbirinden az çok farklılıklar göstermesine karşın; genellikle, çakıltaşı, şeyl, marn, kireçtaşı ve tuf ardalanmalı istifin içinde; çamurtaşı, kıltaşı, şeyl ve tüfler içinde oluşmuştur. Bor yataklarının oluştuğu düzeylerin alt ve üst kesimleri kireçtaşı ve kıltaşı ile sınırlanırlar (Helvacı, 2004).

Günümüz ekonomik koşullarında, tabakalı boraks, kolemanit ve üleksitin genelde 500 metreden daha derinde olanları işletilmek üzere aranmamaktadır (Helvacı, 2004). Bor aramalarında jeofizik çok fazla kullanılmamış olmakla birlikte; ETİ Maden İşletmeleri tarafından hazırlanan Kestelek Kolemanit Tesis Müdürlüğü 1981 Yılı Jeofizik Etüd Raporu (Dur ve diğ., 1981) ile MTA tarafından yayınlanmış Etibank Kırka Boraks İşletmesi Müessesesi Sismik ve Elektrik Etüdü Raporu (Gürer ve diğ., 1991) sırasıyla

elektrik ve sismik yöntemlerin, borlarla ilişkili olabilecek havza yapıları ve formasyonların belirlenmesinde kullanıldığını göstermektedir.

### 2.1.5. Dünyadaki Ekonomik Bor Yatakları

Dünyadaki yüksek tenörlü kolemanitin başlıca kaynağı Türkiye'dir. Türkiye'de, ABD'deki Boron ve Death Valley'de yer alan yataklardaki Neojen yaşlı üleksit, iyi pekleşmiş, sert, daha yoğun ve genel olarak daha iyi tabakalanmıştır. Çin ve Rusya'nın esas bor hammaddesi olan Szabelyit (askerit) minerali, boraks ve kolemanite göre yüksek magnezyum içeriğine sahip olması nedeniyle az kullanım alanı olmakla birlikte, Doğu Avrupa, Rusya ve Asya'da az miktarlarda değerlendirilmektedir. Bir silikat minerali olan datolit ise sadece Rusya'da üretilmektedir. Pandemit Türkiye'de, hidroborasit ise Rusya ve Arjantin'de işletilmektedir. İnyoit, havlit, meyerhofferit ve kurnakovit gibi diğer mineraller yer yer baskın cevher mineralleri ile birlikte bulunurlar. Borasit, Almanya'da 1945 öncesinde, potasyum madeninden yan ürün olarak borasit ve az miktardaki magnezyum bor mineralleri olarak üretilerek kullanılmıştır (Tablo 2.2) (Helvacı, 2004).

Tablo 2.2. Ticari Önem Taşıyan Bor Mineralleri ve Çıkarıldıkları Bölgeler (MTA, 1982; D.P.T., 1977; Baykal, 2003; Helvacı, 2003)

Mineral	Ortak /Alternatif Adı	Formülü	%B	%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bulunduğu Yer
Sasolit	Doğal Borik Asit	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	17,5	56,4	İtalya'nın Toskana Bölgesinde
Na Boratlar					
Kernit	Rasorit	Na <sub>2</sub> .B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .4H <sub>2</sub> O	15,8	51	Kırka, Arjantin, A.B.D
Tinkal	Doğal Boraks, Boraks dekahidrat	Na <sub>2</sub> .B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	11,4	36,5	A.B.D., Emet, Kırka, Bigadiç, Çin
Tinkalkonit	Mohavit, Boraks pentahidrat	Na <sub>2</sub> .B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .5H <sub>2</sub> O	—	47,8	Arjantin
Ca Boratlar					
Kolemanit	—	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	15,7	50,8	Emet, Bigadiç, Küçükler, A.B.D., Arjantin
Datolit	—	Ca <sub>2</sub> BSiO <sub>4</sub> (OH)	—	21,8	Rusya
İnyoit	—	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O	—	37,6	Arjantin

Priseit	Pandermit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	15,4	49,8	Sultançayır, Bigadiç
Ca - Na Boratlar					
Probertit	Kramerit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	49,6	Kestelek , Emet, Şili, A.B.D.
Üleksit	Boronatrokal sit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	13,3	43	Peru, Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin, Bolivya, Çin
Ca - Mg Boratlar					
Hidroborasit	—	$\text{Ca.MgB}_6\text{O}_8(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	50,5	Emet, Arjantin, Çin
Mg Boratlar					
Borasit	Stassfurit	$\text{Mg}_6\text{B}_{14}\text{O}_{26}\text{C}_{12}$	19,3	62,2	Almanya
Szaybelite	Askerit	$\text{MgBO}_3(\text{OH})_{12}$	—	41,1	B.D.T., Çin



## 2.2. KESTELEK BOR YATAĞININ JEOLJİSİ VE OLUŞUMU

### 2.2.1. Genel Jeoloji

Kestelek yöresinde bor oluşumlarıyla ilgili ilk ayrıntılı çalışmayı Özpeker (1969) yapmıştır. Daha sonra M.T.A. adına Yalçınkaya ve Avşar (1980) Kestelek çalışma sahasını da kapsayan oldukça geniş bir alanda 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yaparak bölgenin jeolojik problemleri aydınlatılmaya çalışılmıştır. Atan (1981) ise Mustafakemalpaşa ilçesinin Devecikonağı civarının jeolojik özelliklerini ve metamorfiklerin yaşını açıklığa kavuşturmak için söz konusu alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. İ.T.Ü. (1982) tarafından da bölgede çalışma yapılmış ve Kestelek kolemanit yatağında, 1981 yılı sonu itibarıyla %21,14 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli iki milyon ton rezervin varlığı saptanmış, yatağın optimum cevher üretim kapasitesinin 4.3 milyon ton (%21,14 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli) olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca Bayraktar ve diğ. (1984) tarafından da bölgenin jeolojisine ilişkin çalışma yapılmıştır.

Çalışma sahasında yapılan araştırmalarda, sahanın bölgesel olarak Karakaya kompleksinin üzerinde bulunduğu belirtilmektedir (Koçak ve Sözügüzel, 1989; JAS, 2007). Sakarya Zonu'nda geniş bir yayılımı bulunan Jura öncesi bu orojenik kompleks Karakaya Formasyonu ekzotik Permo – Karbonifer kireçtaşı blokları kapsayan spilitik bazalt, çamurtaşı, radyolarit, feldispatik kumtaşı, kuvarsit, konglomera ve silttaşından oluştuğu, çok az metamorfik olduğu ve uyumsuzlukla Kazdağ Grubu gnaysları üzerinde yer aldığı Bingöl ve diğerleri (1975) tarafından belirtilmiştir. Bölge Paleo–Tetis ve Neo–Tetis okyanuslarının kapanması sırasında gelişmiş olan tektonik olaylardan yoğun bir şekilde etkilenmiş, kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmıştır. Marmara Denizi'nin güneyinde yapılan detaylı jeolojik çalışmalar, Karakaya Kompleksi'nin Permo – Triyas yaşta aktif kıta kenarı çökellerini temsil eden değişik tektono – stratigrafik birimlerden oluştuğunu göstermiştir. Karakaya Kompleksi'nin yani Sakarya Zonu'nun Biga Yarımadası'nda sonlandığı görülmüştür. Sakarya Zonu'nun bu batı sınırı, bir ofiyolit üzerlemesi ile karakterize olan Permo – Triyas yaşta bir pasif kıta kenarının, Karakaya

Kompleksi birimleri ile tanımlanan bir kıta kenarı ile çarpışması sonucu oluşan Paleo – Tetis Kenedi'ne karşılık gelmektedir (Okay ve diğ., 1990).



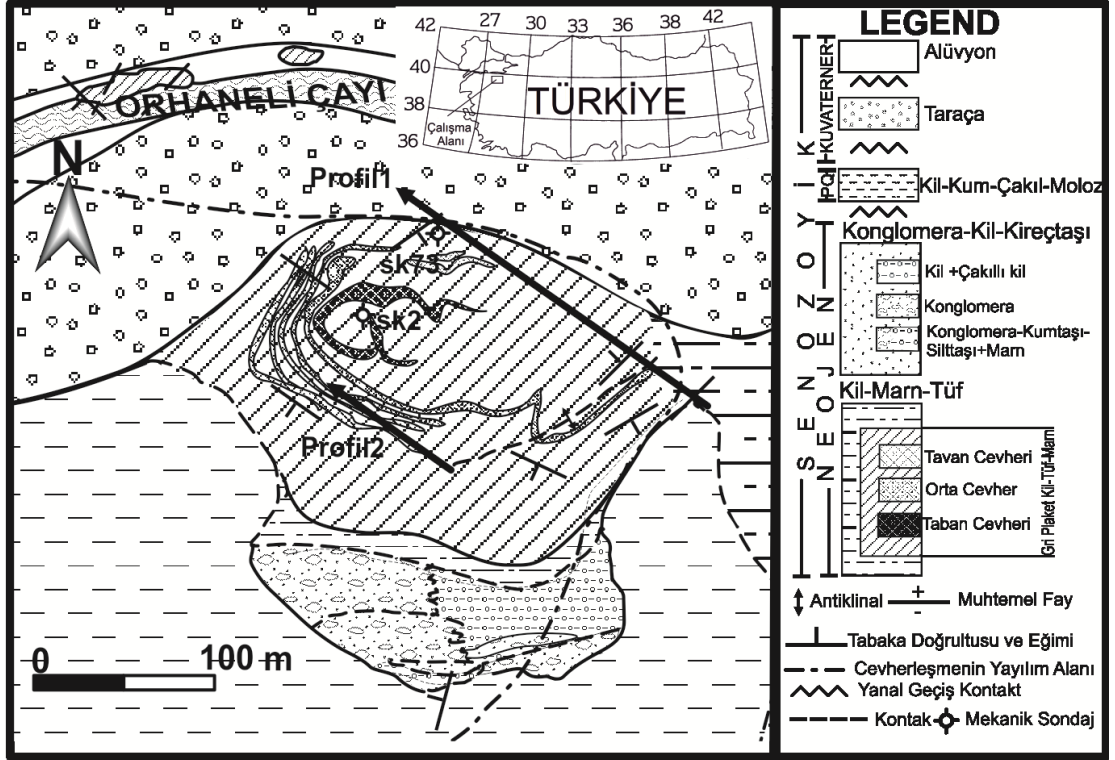
Şekil 2.3. Bursa-Kestelek Etli Maden İşletmeleri'in Uydu Görüntüleri

İncelenen Kestelek yatağı, Bursa'ya bağlı Mustafa Kemalpaşa ilçesinin 27 km güneydoğusunda, Mustafa Kemalpaşa Neojen Havzasının ise güney kesiminde yer almaktadır (Şekil 2.3). İnceleme alanındaki bor yatakları, Kestelek Köyü güneyinde ve Orhaneli Çayı'nın güney kenarında yer alır. Yatakta daha çok kolemanit minerali bulunmaktadır (Koçak ve Sözügüzel, 1989). Bor minerallerinin bulunduğu zon; marn, kireçtaşı, tuf ve bor mineralleri düzeylerinden oluşmaktadır. Kolemanit, üleksit ve probertit baskın olup, hidroboraksit nadiren görülür (Helvacı ve Alonso, 2000). Bor mineralleri kil mineralleri ile ardalama göstermektedirler. Bor mineralleriyle birlikte kalsit, kuvars, zeolit, smectite, illit, klorit ve montmorillonit grubu mineralleri bu yatakta beraber bulunmaktadır. Bor mineralleri çok farklı şekillerde; yığın hâlinde, lifli yapı olarak, kille birlikte ince tabaka şeklinde, yumru biçimde ve özşekli kristal formlarında bulunmaktadır (Helvacı, 1983, 1994, 2004). Cevher yatağı hafif ondülasyonlu bir yapıda olmasına rağmen genel konumu ~ K45B/150 GB' dir. Yatağın yayılım şekli düzenli olmayıp doğrultu boyunca genişliği 450 – 850 m arasında, eğim boyunca uzunluğu 300 – 1000 m arasında iken, kalınlığı ise 30 – 50 m arasında değişir (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

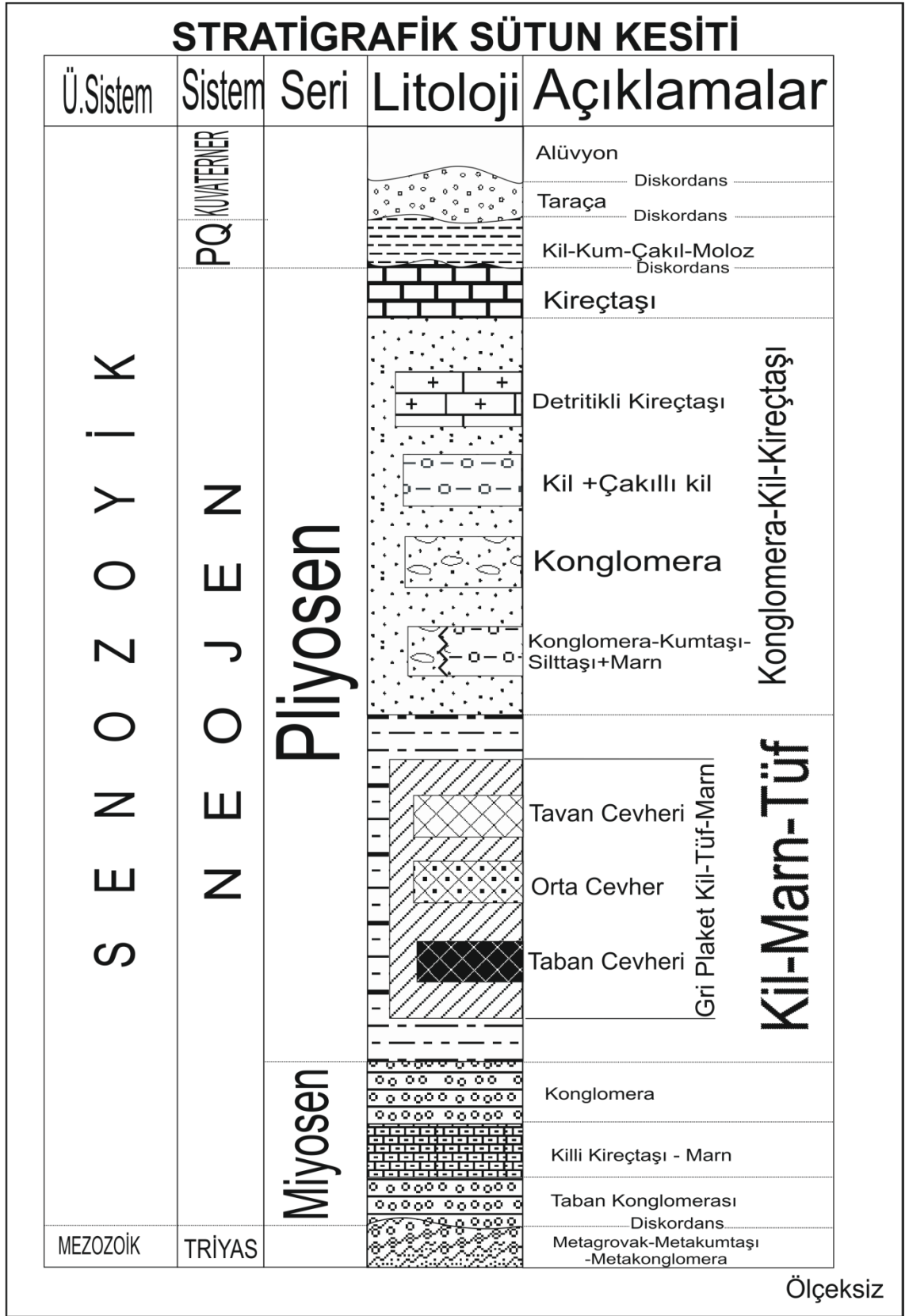
Mustafakemalpaşa Neojen havzasının gelişiminde Kuzey Anadolu Fayının (KAF) etkili olduğu ve volkanik faaliyetlerin Batı Anadolu'daki diğer havzalara oranla daha az etkin olduğu Köksoy ve Ataman (1980) tarafından belirtilmiştir. Yalçinkaya ve Avşar (1980), Ulubat Gölü'nün güneyinden yaklaşık D-B doğrultusunda geçen bir tektonik hat bulunduğunu, Ulubat Gölü'nün bu hat nedeniyle oluştuğunu, bu hattın güneyinde kalan çökellerin Miyosen yaşlı olup, çalışma sahasının yükseldiğini, bunun sonucunda tektonik hattın kuzeyinde kalan kesimlerde oluşan çökellerin Pliyosen yaşlı olduğunu ifade etmiştir. Kocaefe ve Ataman'a (1982) göre; Batı Anadolu'nun güncel deformasyonlarında hâkim olan hareketler doğrultulu atımlı ve doğrultu atım bileşeni büyük normal hareketlerdir. Bu hareketler KD-GB gidişli çok sayıda yaklaşık birbirlerine paralel, genelde dik eğimli faylar üzerinde gelişmektedir. Uydu görüntülerine göre KD-GB doğrultulu aktif fayların genelde KD-GB ve D-B gidişli bindirme şekillerini kestiklerini göstermektedir (Koçak ve Sözügüzel, 1989). Genel olarak KAF'ın etkisinde olan Bursa Ovası Neojen birimleri ve Alüvyonla örtülmüş bir tektonik çöküntü alanıdır ve K-G doğrultulu bindirmeler ve D-B doğrultulu normal faylarla K-G yönünde açılmaya başlamıştır. İnceleme alanında, yerel küçük fayların yanında, KAF ile ilişkili gelişen büyük ölçekli faylar, genç birimlerin depolanmasını denetlemiştir. Bölge KAF sisteminin Marmara Bölgesi'ndeki en güney segmentlerini oluşturan D-B gidişli doğrultu atımlı ve jeolojik olarak aktif Bursa fayı ve Ulubat ve Mustafa Kemalpaşa alt fay zonlarını içerir. Bursa'nın batısında ve doğusunda D-B gidişli, birbirine ve Bursa Fayı'na koşut uzanımlı birkaç fay daha vardır. Bursa Fayı veya alt fay zonu, yaklaşık 145 yıldır bir sismik boşluk niteliğindedir (JAS, 2007).

Kestelek bölgesinde yer alan Neojen çökelleri Paleozoik ve Mesozoik temel yapıların üzerinde diskordans biçimde durmaktadır. Tabanda temel konglomera ve kumtaşı ile başlayan Neojen dizisi yukarıdan aşağıya doğru, linyit damarları içeren kil – kıltaşı, marn, kireçtaşı, tuf ve aglomera ile devam eder. Daha sonra volkanik faaliyet artmış ve ortamın tektonik duraylılık kazandığı dönemde tortullarla birlikte çökelen bor mineralli zondaki, marn, kireçtaşı, tuf, ve bor mineral yatakları (kil – marn – kireçtaşı – tuf – bor mineralleri) ile aglomeraların yanısıra; andezitik ve riyolitik bileşimli volkanitler gelişmiştir. Bu dönemden sonra bölgedeki istif, gevşek çimentolu konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması ile tamamlanır (Özpeker, 1969; Helvacı, 1992, 1994, 2004). 1989 yılında Koçak ve Sözügüzel'in Eti Maden İşletmeciliği için hazırladığı rapora göre, temeli oluşturan en eski birim paleozoik yaşlı şistlerdir. Şistler üzerinde diskordan

olarak Triyas yaşlı grovak ve metakumtaşları yer almaktadır. Bunların üzerine yine diskordan olarak Jura yaşlı kireçtaşları yer almaktadır. Sahadaki ultrabazik kayalar Üst Kretase yaşlı olarak kabul edilmiştir. Genç birimler, temel birimlerin üzerinde diskordan olarak bulunmaktadır. Neojen ve sonrası yaşlı bu birimler gösel volkanosedimanter ve nehirsal oluşuklardan meydana gelmişlerdir. Buna göre çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 2.4'te ve Şekil 2.5'te çalışma alanı ve civarının stratigrafik istifi verilmiştir.



Şekil 2.4. Bursa – Kestelek bor maden yatağının jeoloji haritası (Koçak ve Sözügüzel, 1989).



Şekil 2.5. Çalışma alanı ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

Koçak ve Sözügüzel'e (1989) göre Kestelek sahasında volkanik kayalar (Andezit – Riyolit) Neojen üst birimleriyle eş zamanlı olarak oluşmuşlardır. Kuvaternerde, Traverten, Taraça, Yamaç Molozu ve Alüvyonlar meydana gelmiştir. Pliyosen sonlarında havzanın yükselmesinden sonra günümüze kadar devam eden erozyon olayları sonucunda bugünkü morfolojik görünümünü kazanmıştır.

Neojen sedimentleri bir tektoniksel durağan süreç boyunca yaygın bir volkanik aktivite ile birlikte depolanmıştır. Bu süreç boyunca volkanik aktivite kademeli olarak artmış ve tüf, tüfit, aglomera, andezit, trakit ve riyolitik volkanik kayalar oluşarak sedimentlerle tabakalanmıştır. Bir tüf modelinin K/Ar yaşını belirlenmesiyle borat zonun 17.4 m. y. yaşını sağladığı çıkarılmıştır. Bu dizi gevşek betonlaşmış Pliyosen konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı ile örtülmüştür (Özpeker, 1969; Helvacı, 1992, 1994).

Helvacı'ya (1994) göre, Kestelek yatağında kolemanit yumrularının oluşumları direkt olarak ayrılmış sedimanların altındaki sediman/su arayüzeyindeki eriyiğin şekillenmesidir ve bor minerallerinin bulunduğu zonlarda sedimanların sıkıştırılarak büyümesini tamamlamıştır. Çünkü bu mineraller gerçekten erimektedir, şeffaf ve özşekilli kristaller olarak oluşan ikincil kolemanit, çatlaklar, yumruların çukurlarında ve kristal zar boşluklarında bulunmaktadır. Bu nedenle karbondioksit – zengin yüzeyle suların etkisiyle bütün bor minerallerinde veya yanındaki yüzeyde kolayca kuruyabilir ve tamamen kalsitle yer değiştirebilir. Kestelek yatağında üleksitle aynı ortamda biçimlenen probertit playa gölünün içinde çok daha büyük bir buharlaşma sürecini göstermektedir.

Kestelek bölgesinde, yaygın kayalar birlikleri ve bor mineralleri ile tüf araya eklenmeleri sedimentin birçoğu bir volkanik araziden sağlandığı göstermektedir. Hidro – termal çözeltiler, termal kaynaklar ve tüfler ile lokal volkanik aktiviteyi birleştirildiğinde bor minerallerinin kaynağı olduğu düşünülmektedir. Kestelek yatağında kristalleşmiş bor minerallerin ilk çözeltilisi, çok az klorit ve düşük miktarda sülfat ve bol miktarda bor ve sodyum ile desteklenmiş kalsiyum olduğu anlaşılmaktadır (Helvacı, 1994).

### **2.2.2. Kestelek Yatağının Cevher Zonları ve Özellikleri**

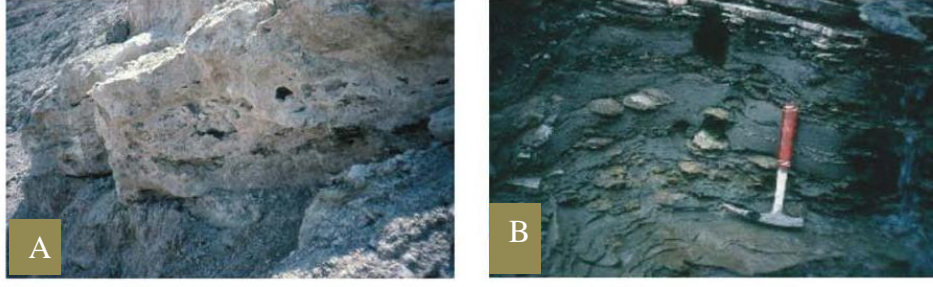
Ülkemizdeki borat yataklarında gözlenen bor mineralleri, başlıca Ca, Ca – Na, Na ve Mg bor mineralleridir, ayrıca Kırka’da nadir olarak Sr – bor minerali (Baysal, 1972) ile Emet’te Ca – As ile Sr – bor minerallerinin (Helvacı, 1983) varlığı bilinmektedir.

Yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm bor yataklarında egemen mineraldir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen Türkiye’ye bağımlıdır (Helvacı, 2004). Kolemanitin özellikleri Tablo 2.3’te gösterilmiştir. Suda çok zor, asitle çok kolay eriyen renksiz, beyaz, sarımsı ve açık renkli gri olup, tabaka, mercek ve yumru şekillidir. Masif (kristal) cevher, kovuklu (süslü cevher), sütunsal (devediş kolemanit), ışınsal ve rozet yapıları gösterir. Masif yapılı kolemanit içinde boşluklarda gelişen kolemanit kristalleri Kestelek yatağı için karakteristiktir (Şekil 2.6). Işınsal ve rozet yapısı daha çok yumru şekilli (patates cevher) kolemanitte gözlenir. Kolemanit, yatağın merkez kısımlarında bulunan üleksitle yanal geçişli olarak bulunur. Kolemanitin yer yer su ve CO<sub>2</sub> vasıtasıyla altere olarak “kefekte” veya “şekerleme” tabir edilen kof yapılı kalsite dönüştüğü de gözlenmiştir (Koçak ve Sözügüzel, 1989). Yumrular kolemanitin en önemli şeklidir. Kestelek yatağındaki özşekilli kristaller muhtemelen Türkiye’de ve dünyadaki diğer bor yataklarındaki bilinen en iyi kristallerdir. Karbondioksitçe zengin yüzey ve yeraltı sularının etkisi nedeniyle kolemanitler kolayca kuruyabilir ve kalsitle tamamen yer değiştirebilir.

Tablo 2.3. Kestelek yatağında üretilen bor minerallerinin özellikleri (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

<b>Bor Minerali</b>	<b>Kimyasal Formülü</b>	<b>Kristal Sistemi</b>	<b>%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Sertliği</b>	<b>Özgül Ağırlığı</b>
Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	monoklinal	50,8	4	2,42
Üleksit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O	trigonal	43	2,5	1,96
Probertit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O	monoklinal	49,6	3,5	2,14
Hidroborasit	Ca.MgB <sub>6</sub> O <sub>8</sub> (OH) <sub>6</sub> .3H <sub>2</sub> O	monoklinal	50,5	3	2,16





Şekil 2.6. Kestelek borat yatağı, A) Kolemanitin ayrışması sonucunda gelişen tipik boşluklu kalsit oluşumu. B) Çökeller içinde gelişen disk şeklindeki kolemanit yumruları (Helvacı, 2003).

Yatakta kolemanitten sonra en fazla bulunan mineral üleksittir (Koçak ve Sözügüzel, 1989). Üleksitin özellikleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Üleksit, yüzey veya yüzeye yakın kesimlerde, playa tipi göllerde, dünyada Kuvaternerden günümüze kadar gelişen bataklıklarda bulunan, yumuşak, yaygın olarak pekleşmemiş ve lifsi kristal toplulukları şeklindeki bir bor mineralidir (Helvacı, 2004). Soğuk suda az, ancak sıcak suda biraz daha çok erirken; asitte çok kolay erimektedir. Üleksit yatağın yaklaşık orta kesimlerinde kabaca 100 m x 300 m ebadındaki bir alanda yer almaktadır. Kolemanitle yanall geçişli olup, probertit bantlı veya probertitle içi içe bulunmaktadır. Yatakta üleksit genellikle bir seviye ile temsil edilmiştir. Kalınlığı yaklaşık 1 – 5 m arasında değişmekte olup, ortalama kalınlığı 3 m'dir. Probertit ile birlikte olduklarında kalınlığı 4 – 9 m arasında değişmektedir (Koçak ve Sözügüzel, 1989). Kestelek yatağında üleksit yığın, karnabahara benzer yumrular, ipliksi, koni, rozet ve sütunsal gibi farklı dokularda gözlenir. Bölgesel olarak, çok ince, ipliksi büyüyen üleksit kristalleri üstelik masif ve karnabahara benzeyen üleksit yumruları oluşur ve karışık yönlü kristallerin karnabahara benzeyen yumruları, 1 – 5 cm uzunluğunda, kalınlıkları birkaç desimetreden oluşan bağımsız tabakalardan oluşmaktadır. Kestelek yatağında üleksit genellikle kolemanit, probertit ve hidroborasitle birleşiktir, ancak kolemanitte ve probertitte veya hiçbir diğer minerallerde alterasyon gözlenmemiştir. Üleksitin en saf olanı beyazdır, ancak gerçekten yumrular kil ve çamurun içinde büyüdüklerinden dolayı birçoğu gridir. Böylece, bu yatakta kolemanit ve diğer bor mineralleri gibi oluşurken üleksit yumruları da sedimentlerin içinde değil, burada gelişmektedir (Helvacı, 1994).

Probertit ülkemiz borat yataklarında sadece Kestelek yatağında gözlenmektedir. Probertitin özellikleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Yatağın orta kesimlerinde üleksit, kolemanit ve hidroborasit ile birlikte bulunur. Kristal sıralarının büyüklüğü 5 mm ile



5cm arasındadır. Kirli beyaz, beyaza dönük açık sarı veya kirli açık sarımsı renkli olup; merceğimsi bant ve iri yumrular şeklindedir. İpliksi kristaller veya ışın hâlinde lifimsi ve kıymık şekilli uzun kristalli yapısı tipiktir. Kristal araları çoğunlukla kille doldurulmuştur. Probertit Kestelek yatağında üleksiti ornatmış ikincil mineral olarak gözlenir. Kestelek yatağında üleksitle aynı ortamda oluşan bu mineral playa gölünde daha büyük buharlaşmanın sürecini göstermektedir. Üleksitle birlikte bulunmakla beraber kalsiyum – sodyum bor minerallerinin bulunduğu zonunun daha derin kesimlerinde bulunmaktadır (Koçak ve Sözügüzel, 1989; Helvacı, 1983, 1994)

Hidroborasit Türkiye'nin tüm büyük bor yataklarında bulunmaktadır Hidroborasitin özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Bölgesel olarak, hidroborasit kilin içinde ince tabakalar biçiminde bulunmaktadır ve bu ince kesit, hidroborasitin iğne şekilli kristalleri ipliksi dokuya sahiptir. Bu mineral genellikle beyazdır, ancak bazı durumlarda açık gri veya sarımsıdır. Kestelek yatağında kolemanit ve üleksitle açıkça birleşik olarak bulunmaktadır (Helvacı, 1994).

Kestelek yatağında borat zonlarında boratlarla en çok beraber bulunan borat olmayan kayaçlar kiltaşları ve tüflerdir. Genellikle bor minerallerinin yanında bulunan aksesuar mineralleri; kalsit, dolomit, jips, zeolit ve kil mineralleridir. Kalsit, kuvars, simektit, illit ve klorit birleşik mineraller olarak bulunur. Oligoklas, kuvars, biyotit ve simektit içeren tüfler, opal – CT, klinoptilolit ve höylandit sadece otojenik silikat olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, sarıdan kahverengine doğru bir kaç cm'ye kadar kaba tanecik yapılı tuf bor minerallerinin bulunduğu zonunun yanında bulunmaktadır. Kestelek bölgesinde diğer bölgelere göre tüfsü maddelerin tanecik büyüklüğü daha iridir (Helvacı ve diğ., 1993, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000).

Kestelek yatağındaki cevherler tiplerine göre; kristal cevher, kalkerli cevher (kırmalık), killi cevher (yıkamalık) ve patates cevher (yıkamalık) olarak ayrılır. Kristal cevher masif kolemanitten oluşmaktadır. Kalkerli cevher ise kolemanit ile kireçtaşının girift bir yapıda olduğu cevherdir. İnce kolemanit bant ve merceklerinin kille sık aralandığı kesimler killi cevher olarak adlandırılmıştır. Patates cevher de yumru şeklindeki kolemaniti ifade etmektedir (Şekil 2.7) (Koçak ve Sözügüzel, 1989).



Şekil 2.7. Kestelek bor maden yatağından çıkarılan bor minerali örnekleri.

Koçak ve Sözügüzel'e (1989) göre; yatakta yer alan cevher seviyelerini, birbirlerine göre konumları ve yapı özellikleri göz önüne alınarak, alttan üste doğru üç grupta incelemek mümkündür. Bunlar taban cevheri, orta cevher ve tavan cevheri gruplarıdır.

#### 2.2.2.1. Taban Cevheri

En dar ve en düzensiz yayılıma sahip cevher grubudur. Kristal cevher, killi cevher ve patates cevherden oluşmakta olup kristal ve killi cevher daha çoktur. Taban cevherinin birinci seviyesi ortalama 1,5 m, ikinci seviyesi de ortalama 2,5 m kalınlığındadır. Yatak içinde yapılan sondajlarda kesilmiş olan en kalın masif cevher buradadır (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

#### 2.2.2.2. Orta Cevher

En geniş yayılıma sahip cevher grubu olup diğer gruptakilere oranla biraz daha kalın olan iki seviyeden oluşur; kristal, killi ve patates cevher tiplerini içerir. Kristal ve killi cevher patates cevhere oranla daha fazla bulunur. Birinci seviyesi ortalama 2,5 m kalınlığındadır. Burada kristal – killi – patates – kristal cevher diziliminden oluşur. Bu seviyede en kalın cevher bandı sonuncu kristal cevher bandı olup 5,5 m kalınlığındadır.

İkinci seviye ortalama 3 m kalınlığındadır. Yatakta bulunan ikinci seviyedeki en kalın kısmı yaklaşık 8,5 m kalınlığında olup, kristal – killi – patates – az killi kristal cevher istiflenmesinden oluşmaktadır. Orta cevherin birinci ve ikinci seviyelerinde yer alan farklı tipteki cevher bantlarının her birinin ortalama kalınlıkları 2 m civarındadır (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

#### 2.2.2.3. *Tavan Cevheri*

Taban cevherinden daha geniş, orta cevherden daha dar bir yayılıma sahiptir. Kristal ve killi cevher bantları da içermesine rağmen, çoğunlukla patates cevherden oluşmaktadır. Genel olarak iki seviyeden oluşur. Bu seviyelerin ortalama kalınlıkları her biri yaklaşık 2 m civarındadır. Genel olarak bor mineralleri; kalsit, dolomit, jips, sölestin, realgar, orpiment ve kükürt ile birlikte bulunmasına rağmen; Kestelek bor yatağında bu minerallerin bazıları hiç bulunmamakta, bazıları da çok az bulunmaktadır ve Kestelek yatağının bu yönden diğer bor mineralleri yatakları arasında ayrı bir yeri vardır (Helvacı, 1978; Koçak ve Sözügüzel, 1989; Helvacı ve diğ., 1993).

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ (DC) YÖNTEMİ

Doğru akım (DC) öz direnç yönteminin amacı, farklı elektrot dizilimleri yardımı ile ölçülen potansiyelden yeraltının iki-boyutlu öz direnç yapısının belirlenmesidir.

Elektrik-öz direnç yönteminde yeryüzünde iki noktadan akım elektrotları yardımıyla yerin içine “I” elektrik akımı (mA) verilir. Yeryüzünde diğer iki noktadaki gerilim elektrotları yardımıyla bu akımın oluşturduğu “ΔV” gerilim farkı (mV) ölçülür. Ölçülen görünür öz direnç değerlerinin uzaklığa bağlı olarak kesitin yeraltındaki yanal değişimleri yansıtması dolayısıyla olası yapının yerini belirtmesi beklenir. Belirli bir konumda yerleştirilen elektrotların düzenine bağlı olan dizilim katsayısı “k” ise, ortamın görünür öz direnci;

$$\rho_a = k \left( \frac{\Delta V}{I} \right) \text{ ohm m} \quad (3.1)$$

bağıntısından hesaplanır.

Akım elektrotları arasındaki uzaklığın artırılması akımın daha derinlere inmesini sağlar. Farklı özellikteki kayaç veya toprakların olduğu bir yerde ölçülen görünür öz direnç, ortam birimlerinin gerçek öz direncinden biraz farklı olabilir, görünür öz direnç sadece izotrop yarı sonsuz ortam durumunda gerçek öz dirence eşit olur (Başokur, 2004).

##### 3.1.1. Elektrot Dizilimleri

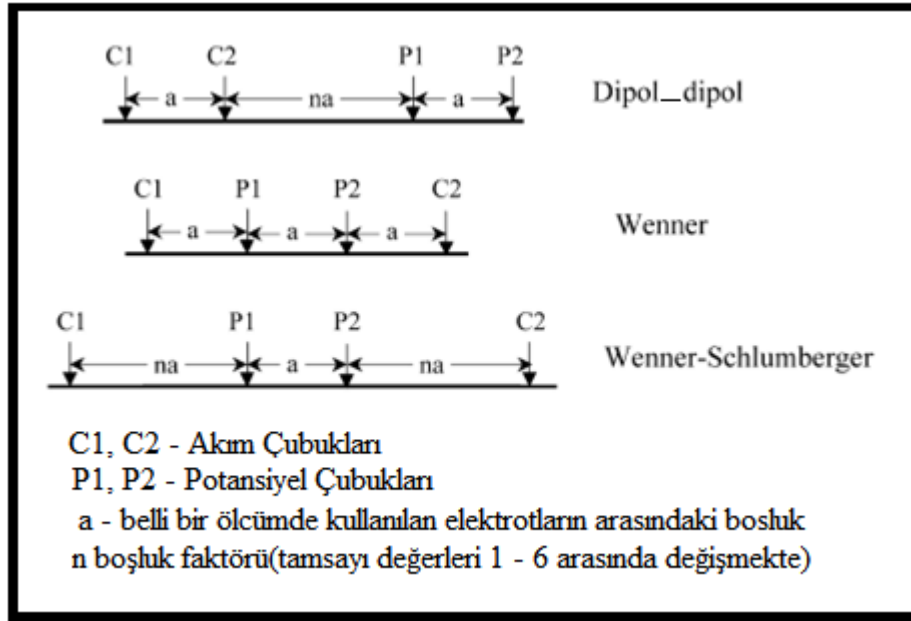
Görünür öz direncin değeri geometrik faktör (k) ile saptanan ve ölçümlerde kullanılan elektrot diziliminin geometrisine bağlıdır. Üç ana elektrot dizilim türü vardır. Bunların ikisi isimlerini Frank Wenner ve Conrad Schlumberger den almışlardır. Dipol-dipol dizilimleri 1950 den itibaren Rus jeofizikçiler tarafından yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ayrıca, Kanada’da maden yataklarının ve Amerika’da yeraltı sularının

araştırmasında kullanılmıştır (Zohdy, 1974; Reynolds, 1997). Bu dizilimler Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Elektrot Dizilimleri (Reynolds, 1997)

<b>Wenner Dizilimleri</b>	Standart Wenner
	<b>Offset Wenner</b>
	lee - bölünmüş dizilim
	üç potansiyel ( $\alpha$ , $\beta$ ve $\gamma$ dizilimleri)
<b>Schlumberger Dizilimi</b>	<b>Standart Schlumberger</b>
	Sembolize dizilim
	Gradient dizilim
<b>Dipol - Dipol Dizilimleri</b>	Normal (eksensel veya polar)
	Azimut
	Radyal
	Paralel
	Dik
	Pole – Dipol
	Ekvatoryal
	kare (ekvatoryalın özel biçimi)

En uygun elektrot diziliminin nasıl seçildiği hakkındaki tartışma uzun ve devam eden bir tarihe sahiptir. Sadece klasik dört – elektrot [Wenner (W), Schlumberger (S), dipol – dipol (DD) veya üç – elektrot (sol – ve sağ – yan pol (PD – L, PD – R))] dizilimlerinden biri genellikle bir arazi çalışmasında kullanmak için seçilir. Bu dizilimler birçok araştırmacı tarafından araştırma derinliği (Roy ve Apparao, 1971; Barker, 1989), ters çözümlenmiş verinin ayrımlılığı ve güvenilirliği (Sasaki, 1992; Beard ve Tripp, 1995; Candansayar ve Başokur, 2001; Dahlin ve Zhou, 2004) bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Özetle; her ne kadar dört – elektrot dizilimleri daha iyi düşey çözünürlüğe sahip olsa da, üç – elektrot dizilimleri genellikle daha büyük araştırma derinliğine ve yatay çözünürlüğe sahiptir (Candansayar, 2008).



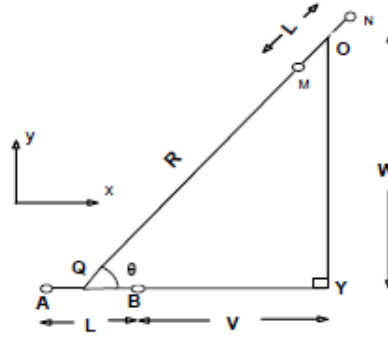
Şekil 3.1. Dört – Elektrot Dizilimleri (Seaton ve Burbey, 2002).

Birçok yazar Wenner diziliminin en iyi sinyal cevabına ve yatay yapıların yüksek çözünürlüğüne sahip olduğunu ancak araştırma derinliğinin nispeten sığ ve düşey yapıları algılama yeteneğinin biraz sınırlı olduğu konusunda hemfikirdir (Ward, 1990; Sharma, 1997; Loke, 2001; Seaton ve Burbey, 2002). Wenner – Schlumberger dizilimi iyi bir sinyal cevabı, yatay ve düşey yapıları nispeten iyi çözme yeteneği ve Wenner diziliminden daha büyük araştırma derinliğine sahip olduğu düşünülmektedir (Ward, 1990; Sharma, 1997; Reynolds, 1997; Loke, 2001; Seaton ve Burbey, 2002). Dipol – dipol dizilimi ise, Wenner ve Wenner – Schlumberger yöntemlerine göre daha büyük araştırma derinliğine sahiptir (Reynolds, 1997; Loke, 2001; Seaton ve Burbey, 2002). Dipol – dipol dizilimi diğer tüm dizilimlerden en düşük sinyal cevabını üretir ve bu ise onu Wenner ve Wenner – Schlumberger dizilimlerinden daha fazla tellürik gürültüye maruz bırakır (Ward, 1990; Sharma, 1997; Reynolds, 1997; Loke, 2001; Seaton ve Burbey, 2002). Dipol – dipol dizilimi yatay ve dike yakın eğimli yapıların çözünürlüğünde Wenner ve Wenner – Schlumberger dizilimlerinden daha düşük bir çözünürlüğe sahip olduğu düşünülür (Ward, 1990; Sharma, 1997; Reynolds, 1997; Seaton ve Burbey, 2002). Pole – pole dizilimi tüm dizilimlerden en büyük araştırma derinliğine ve verilen bir dizilim uzunluğu için en geniş yatay kaplama alanına sahiptir. Ancak çözünürlüğü en düşüktür (Robain ve diğ., 1999; Loke, 2001; Seaton ve Burbey, 2002). Pole – pole yöntemi potansiyel elektrotları arasındaki mesafe büyük olduğundan, tellürik gürültüde maruz kalır (Loke, 2001; Seaton ve Burbey, 2002). Kestelek bor

yatağı üzerinde doğru akım yöntemleri maden aramalarında yaygın olarak kullanıldığından (Başokur, 2003, Chambers ve diğ., 2007, Ramalho ve diğ., 2009) doğru akım öz direnç yöntemlerinden dipol – dipol dizilimi uygulanmıştır.

### 3.1.1.1. Dipol – Dipol Elektrot Dizilimi

Derin jeoelektrik çalışmalar amacıyla kullanılan dipol açılımında, akım ve gerilim elektrotları birer çift olarak düşünülür. Akım elektrotları çifti akım dipolü ve gerilim elektrotları çifti gerilim dipolü olarak adlandırılır. Şekil 3.2’de dipol açılımının genel bir gösterimi verilmiştir. AB akım dipolü, MN gerilim dipolü, Q ve O sırasıyla akım ve gerilim dipollerinin orta noktalarıdır (Başokur, 2004).



Şekil 3.2. Dipol açılımının genel gösterimi (Bhattacharya ve Patra, 1968).

Dipollerin birbirine göre konumları dikkate alınınca dört tür dipol elektrot açılımı tanımlanmıştır. Bunlar, şekil 3.2’de gösterdiği gibi azimutal, radyal, paralel ve dik dipol açılımlardır. Ayrıca  $\theta$  açısı ( $\pi/2$ ) olduğunda, azimutal dizilime ekvatoryal,  $\theta$  sıfır olduğunda radyal dizilime polar dizilim adı verilir. Dipol açılım türleri için geometrik faktörü saptamak amacıyla Şekil 3.2’ye bakıldığı zaman, A ve B akım elektrotlarından dolayı O noktasındaki gerilim:

$$V_D = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{AO} - \frac{1}{BO} \right) \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 3.2’deki geometriden yararlanarak:



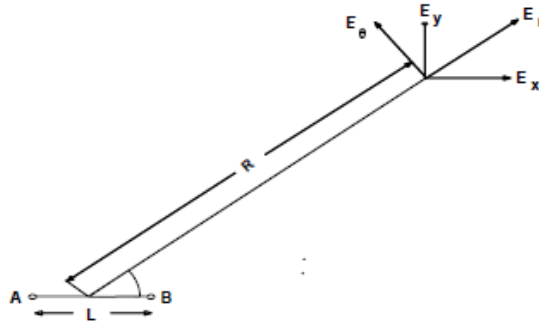


$$V_D = \frac{\rho \cdot L \cdot \cos \theta}{2\pi \cdot R^2} \quad (3.5)$$

Elektrik alan geriliminin gradyanı olarak verilir:

$$E = -gradV$$

Şekil 3.3'te elektrik alan bileşenleri gösterilmiştir. Başokur'un (2004) Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'ü karşılaştırılmasından görüleceği gibi, radyal dipol durumunda  $E_r$ , paralel dipol durumunda  $E_x$ , dik dipol durumunda  $E_y$  ve azimutal dipol durumunda  $E_\theta$  elektrik alan bileşenleri ölçülür. Polar koordinat sisteminin göz önüne alınması ile her dipol durumu için elektrik alan ifadeleri bulunabilir:



Şekil 3.4. Elektrik alan bileşenleri (Başokur, 2004).

$$E_r = -\frac{dV_D}{dR} = \frac{\rho \cdot L \cdot \cos \theta}{2\pi \cdot R^3} \quad \text{Radyal} \quad (3.6)$$

$$E_\theta = -\frac{1}{R} \cdot \frac{dV_D}{d\theta} = \frac{\rho \cdot L \cdot \sin \theta}{2\pi \cdot R^3} \quad \text{Azimutal} \quad (3.7)$$

$$E_x = -\frac{dV_D}{dx} = -\cos \theta \cdot \frac{dV_D}{dR} + \frac{\sin \theta}{R} \cdot \frac{dV_D}{d\theta} = \rho \cdot L \cdot \frac{3 \cos^2 \theta - 1}{2\pi R^3} \quad \text{Paralel} \quad (3.8)$$

$$E_y = -\frac{dV_D}{dy} = -\sin \theta \cdot \frac{dV_D}{dR} - \frac{\cos \theta}{R} \cdot \frac{dV_D}{d\theta} = 3\rho \cdot L \cdot \frac{\sin \theta \cdot \cos \theta}{2\pi R^3} \quad \text{Dik} \quad (3.9)$$

Elektrik alan M ve N gerilim elektrotları yardımıyla ölçülür, eğer L yeteri kadar küçükse ( $E=\Delta V/L$ ) yazılabilir. O zaman yukarıdaki elektrik alan formüllerinden  $\Delta V$  bulunabilir. Gerilim farkının, görünür öz direnç formülünde yerine konulmasıyla,

$$\rho_{aD} = k \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$$k_r = \frac{\pi \cdot R^3}{L^2 \cos \theta} \quad \text{Radyal} \quad (3.10)$$

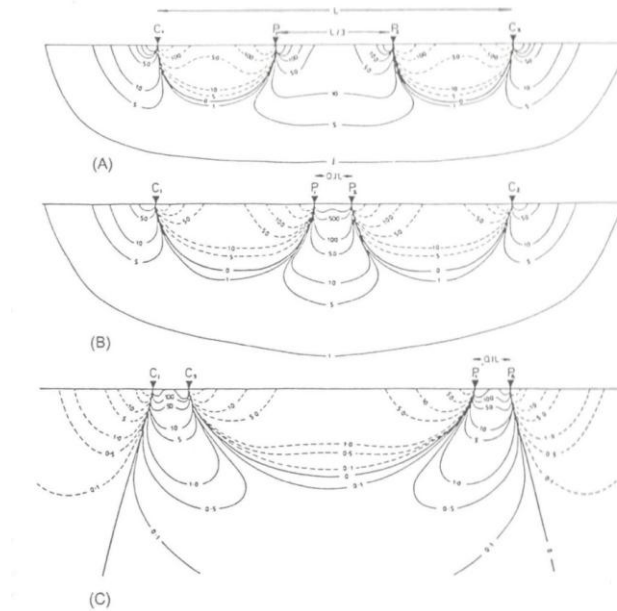
$$k_\theta = \frac{2\pi \cdot R^3}{L^2 \sin \theta} \quad \text{Azimutal} \quad (3.11)$$

$$k_x = \frac{2\pi \cdot R^3}{L^2 (3\cos^2 \theta - 1)} \quad \text{Paralel} \quad (3.12)$$

$$k_y = \frac{2\pi \cdot R^3}{3L^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad \text{Dik} \quad (3.13)$$

bağıntıları ile her dipol türü için geometrik faktör ve dolayısıyla görünür öz dirençler saptanmış olur (Bhattacharya ve Patra, 1968).

### 3.1.1.2. Farklı Açılımların Sinyal Katkı Kesitleri



Şekil 3.5. a) Wenner, b) schlumberger ve c) dipol – dipol dizilimleri için sinyal katkı kesitleri. Barker'a göre (1979) konturlar yeraltındaki farklı hacimdeki elemanlar tarafından P<sub>1</sub> ve P<sub>2</sub> potansiyel elektrotların arasında ölçülen toplam potansiyel farkına bağlı katkılarını göstermektedir (Reynolds, 1997).

Barker (1979) tarafından Şekil 3.5’te wenner, schlumberger ve dipol – dipol dizilimleri için yapılan sinyal katkı kesitleri gösterilmiştir. Bu kesitler; wenner, schlumberger ve dipol – dipol dizilimleri için konturlar yeraltındaki farklı hacimdeki elementler tarafından  $P_1$  ve  $P_2$  potansiyel elektrotların arasındaki ölçülen toplam potansiyel farkı ilgili katkılarını göstermektedir (Reynold, 1997).

### 3.1.2. Doğru Akım (DC) Özdirenç Verilerinin İki – Boyutlu (2–B) Ters Çözümü

Bir doğru akım (DC) probleminin ters çözümünde amaç; değişken saptama veya kestirimidir, yani sistemin girdisini bulmaya çalışırken, ölçülen ve kuramsal veri kümelerinin çakışmalarının sağlanmasıdır ve bu işlem ‘çakışmazlığın’ (misfit) en küçüklenmesi ile denetlenir (Canitez, 1997; Başokur, 2007). Şekil 3.6’da doğrusal olmayan problem için, yeraltı parametrelerinin çözümünde kullanılan strateji ve kavramlar görülmektedir (Başokur, 2002). Bu durumda ters – çözüm yöntemi, ölçülen veri ile kuramsal veri arasında (önceden belirlenen bir ölçüt çerçevesinde) çakışma sağlayan parametrelerin bulunması esasına dayanır. Tez kapsamında arazide dipol – dipol açılımı ile alınan doğru akım (DC) görünür özdirenç verilerinin ters çözümünde res2dinv yazılımı (Loke, 2001) kullanılmıştır. Bu yazılım özdirenç arazi verilerinden yer modellerinin oluşumu için iki farklı ters çözüm işlemlere sahiptir. Bu yazılım tarafından kullanılan ters çözüm işleci  $l_2$  normundaki (Ellis ve diğ., 1993; Ellis ve Oldenburg, 1994) sönümlü en küçük kareler yöntemi (deGroot – Hedlin ve Constable, 1990; Sasaki, 1992) kullanılmıştır. Bu ters çözüm yöntemi ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç değerleri arasındaki farklarının karesini alarak minimize eder ve farklı özdirenç zonları üzerinden aşamalı geçişleri ile yer modeli üretir (Seaton ve Burbey, 2002). En küçük kareler adı verilen optimum çözüm elde etme tekniğine “ $l_2$  normu” da denilebilir. Parametre çözümü en küçük kareler yöntemi ile gerçekleştirilmek istenirse, yapılması gereken;

$$E_2(p) = \sum_{i=1}^n (g_i - c_i)^2 \quad (3.14)$$

g: ölçü değerleri

c: düz çözümde elde edilen kuramsal veri

$$E = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3.15)$$

e = yanlgı değeri

bağıntısı ile toplamı en küçükleyen parametre değerleri bulunur. Bulunan parametre değerleri, yanlgı enerjisini en küçük yaptıklarından aranılan çözümler olarak kabul edilebilir. Ancak, elde edilen veri kümesi gerçekte, ölçölmüş değerler olmayıp denkleme parametre değerlerinin konulması ve miktar güröltü eklenmesiyle elde edilmiştir. Ölçölen veriyi temsil eden bir 'sınama verisi'dir. Bu tür yapay yaratılmış verilerin hangi parametre değerleri kullanılarak hesaplandıkları bilindiğinden, bu verilerden çeşitli yöntemler ve parametreler yeniden hesaplanır ise, hesaplama yöntemlerinin doğru çalışıp çalışmadığı denetlenebilir (Canitez, 1997; Başokur, 2002).



Şekil 3.6. Nicel yorumlamanın basitleştirilmiş akış şeması (Başokur, 2002).

RES2DINV programının başlıca kullandığı ters çözüm yöntemlerinden biri olan Gauss – Newton yönteminde en küçük kareler yöntemi iki – boyutlu görünür öz direnç verilerinin ters çözümünde başarılı olarak kullanılmaktadır (Sasaki, 1989; deGroot – Hedlin ve Constable 1990; Oldenburg ve Li, 1994; Loke ve Dahlin, 2002). RES2DINV programında en küçük kareler yöntemini uygulamak için kullanılan ters çözüm

tekniklerinden biri olan, Gauss - Newton ters çözüm yöntemin denklemleri şu şekilde yazılabilir (Başokur, 2007):

$$\Delta p = (A^T A)^{-1} A^T \Delta d \quad (3.16)$$

A: Jacobian matrisi

$(A^T A)^{-1} A^T$ : Lanczos Tersisi

$\Delta p$ : çözüm parametreleri ile ön kestirim parametreleri arasındaki fark

$\Delta d$ : veri farkları vektörü (ön – kestirim parametrelerinden hesaplanan kuramsal veri vektörünün farkı)

Gauss – Newton denkleminde kullanılan Jacobian matrisinin elemanları model fonksiyonunun bilinmeyen parametrelere göre kısmi türevlerinden oluşmaktadır. Matrisin her bir sütunundaki değerler, model fonksiyonunun her bir parametreye göre kısmi türevlerinin gözlem noktaları için alacakları değerleri göstermektedir. Eğer Jacobian matrisinin açılımını göstermek istersek:

$$g_j - c_j = \Delta g_j = \sum_{i=1}^n \frac{\partial c_j}{\partial p_i} \Delta p_i \quad j=1, 2, \dots, m$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial c_1}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial c_1}{\partial p_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial c_m}{\partial p_1} & \dots & \frac{\partial c_m}{\partial p_n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta p_1 \\ \vdots \\ \Delta p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta g_1 \\ \vdots \\ \Delta g_m \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

$f_j(p_i + \Delta p_i)$  = model fonksiyonu

$g_j = f_j(p_i + \Delta p_i)$  ; gözlemsel değerler

$c_j = f_j(p_i)$  ; hesaplanan değerler

i: bilinmeyen parametreler sayacı

j: gözlem noktalarına ilişkin sayacı

m: gözlem sayısı

n: bilinmeyen parametre sayısı

şeklinde yazılabilir (Canitez, 1997).

Gauss – Newton yönteminde bulunan Lanczos Tersine denilen denklem grubuna “Genelleştirilmiş Ters” adı da denilebilir (Lanczos, 1961). Buna göre “En Küçük Kareler Çözümü” için:

$$p = (A^T A)^{-1} A^T g \quad (3.18)$$

yazılabilir. Lanczos ters ile denklem kümesi, 3.17 denklemindeki n bilinmeyenli m denklemlerden oluşmuş sistem, 3.18 denklemi n bilinmeyenli n denklemden oluşmuş bir sisteme dönüştürülmüş olur. Bu denklemlere “Normal Denklemler” adı da verilir. En küçük kareler yönteminin uygulanmasıyla elde edilen bu denklemlere normal denklemler denmesinin nedeni, bu denklemlerin katsayılar matrisinin her bir sütunu ile “e” yanılıgı vektörünün “dik” (normal) olmasından ileri gelmektedir (Canitez, 1997).

3.17 bağıntısıyla verilen aşırı tanımlı denklem sisteminin tek ve kesin çözümünün olmadığını ve bunun nedeni  $A_{m \times n}$  matrisinin adi tersinin alınmayışından kaynaklanır. Bu matrisin ancak Penrose koşullarını sağlayan (Penrose, 1954) bir “Genelleştirilmiş Tersine” vardır. En küçük kareler tersine genelleştirilmiş terslerden biridir (Lanczos, 1961).

Gauss – Newton tekniğinin bir dezavantajı, kısmi türevlerin Jacobian matrisinin hesaplanması için çok geniş hesaplama zamanına ihtiyaç duyulmasıdır. Loke ve Barker (1996a) ilk tekrarda homojen yer modeli için Jacobian matrisini kullanmış ve quasi – Newton yöntemi daha sonraki tekrarlar için Jacobian matrisini tahmini yapmışlardır; ve sonuç olarak bazı veri kümeleri için, bu yöntem çoğunlukla Gauss – Newton yöntemine göre daha hızlı olabildiği gözlenmiştir. Teoride, gerekli olan Jacobian matrisi kullanılmaktadır, Quasi – Newton yöntemine göre yakınsamak için daha az tekrarı gerektirmektedir (Loke ve Dahlin, 2002).

Hücrelerin sıralaması yaklaşık olarak görünür öz direnç yapay kesitlerde veri noktalarının dağılımına bağlıdır. Ters çözüm problemi hücrelerin öz dirençlerini ölçülen ve hesaplanan görünür öz direnç değerlerinin arasındaki farkı minimize ederek

bulunmaktadır. Sönümlü en küçük kareler yöntemi (deGroot – Hedlin ve Constable, 1990; Rodi ve Mackie, 2001), minimize edilen nesnel fonksiyonu;

$$\Psi(r_i) = g_i^T g_i + \lambda_i r_i^T C^T C r_i \quad (3.18)$$

i: yineleme sayısı

$g_i$ : ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç değerlerinin logaritmik farklarını içeren fark vektörü

$\lambda_i$ : sönüm (damping) faktörü

C: pürüzlülük (roughness) filtre matrisi

$r_i$ : model parametre (model özdirenç değerlerinin logaritması) vektörü.

Verilen nesnel fonksiyonunun gradieyenti (Rodi ve Mackie, 2001):

$$\nabla \Psi(r_i) = -2J_i^T g_i + \lambda_i r_i^T C^T C r_i \quad (3.19)$$

J: Jacobian Matrisi

Gauss – Newton yöntemi aşağıdaki denklem sistemin çözümünü kapsar (Sasaki, 1989; Oldenburg ve Li, 1994):

$$(J_i^T J_i + \lambda_i C^T C) p_i = J_i^T g_i - \lambda_i C^T C r_{i-1} \quad (3.20)$$

$p_i$ : model parametrelerinin pertürbasyonu.

Burada ters çözüm algoritması, sönüm faktörü parametresi ilk olarak değeri serbest bırakılır ( $\lambda_0$ ) ve seçilen minimum limite ( $\lambda_{\min}$ ) ulaşıncaya kadar herbir yineleme kademeli olarak azaltılır (Loke ve Barker, 1996a). Minimum sönüm faktörü  $\lambda_{\min}$  genellikle ilk sönüm faktörünün  $\lambda_0$  bir onuncu değerinde kararlaştırılır. Başlangıç sönüm faktörü olan  $\lambda_0$  'ın değeri verideki mevcut rastgele gürültü seviyesine bağlıdır (Sasaki ve diğ., 1992). Daha büyük değerler daha yüksek gürültü seviyesi için kullanılmaktadır. 0.10 ve 0.20 arasında bulunan  $\lambda_0$  değeri yapay ve arazi verileri için uygun sonuçlar vermiştir. Sönüm faktörü her yinelemeden sonra 2.5 kez azaltılır ve

dördüncü yinelemeden sonra minimum değere ulaşılır. Dördüncü yinelemeden sonra sönüm faktörü seçilen minimum değerinde sabit olarak korunur (Loke ve Dahlin, 2002).

Gauss – Newton en küçük kareler yönteminde Jacobian matrisi bütün yineleme için yeniden hesaplanır. Görünür özdirenç değerlerini hesaplanmasında kullanılan sonlu farklar yöntemi (Dey ve Morrison, 1979) veya sonlu elemanlar yöntemi (Sasaki, 1989; Silvester ve Ferrari, 1990) McGillivray ve Oldenburg (1990) denklem yöntemi yardımı ile jacobian matris değerlerini hesaplamada da kullanılabilir.

Hesaplama zamanının azaltılması amacıyla, Loke ve Barker (1996a) Jacobian matris değerlerinin hesaplanması için quasi – Newton yöntemini kullanmışlardır (Broyden, 1965). Jacobian matris değerleri analitiksel olarak hesaplanan homojen bir yer modeli model başlangıcı olarak kullanılır. Daha sonraki herbir yinelemede Jacobian matrisi geliştirilmiş denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$B_{i+1} = B_i + u_i p_i^T \quad (3.21)$$

$$\left. \begin{array}{l} u_i = \frac{(\Delta y_i - B_i p_i)}{p_i^T p_i} \\ \Delta y_i = y_{i+1} - y_i \\ B_{i+1} \end{array} \right\} \text{(i+1). yineleme için yaklaşık jacobian matrisi.}$$

$y_i$ : i. yineleme için model yanıtı.

$\Delta y_i$ : i. yineleme için model yanıtında değişim miktarı.

B: Jacobian matrisi.

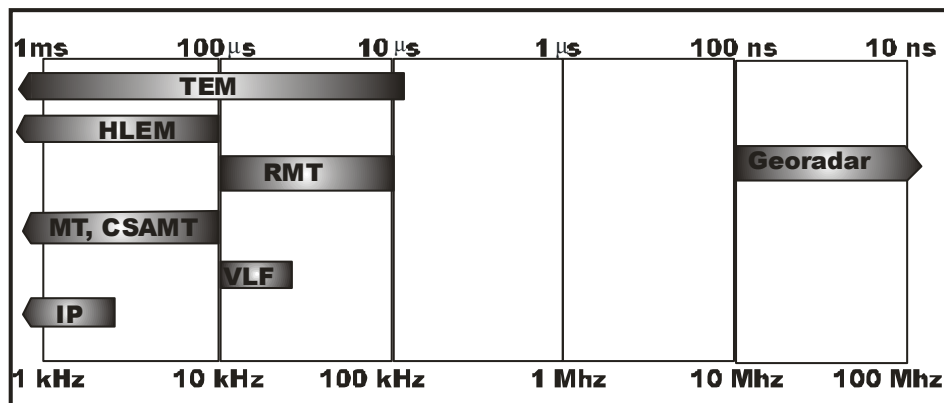
Teoride, quasi – Newton yönteminin yakınsama oranı Gauss – Newton yöntemine göre daha yavaştır (Burden ve diğ., 1981). Quasi – Newton yöntemi Gauss – Newton yöntemiyle kıyaslandığında daha çok yineleme gerektirmesine rağmen, yineleme başına düşen zaman çok daha azdır. Küçük özdirenç kontrastları (10:1'den daha az) olan modeller için iki yöntemde de sonuçlarda önemli farklar gözlenmezken, Quasi – Newton yönteminin hesaplama zamanı çok daha azdır (Loke ve Barker, 1996a).



### 3.2 ELEKTROMANYETİK-VLF YÖNTEMİ

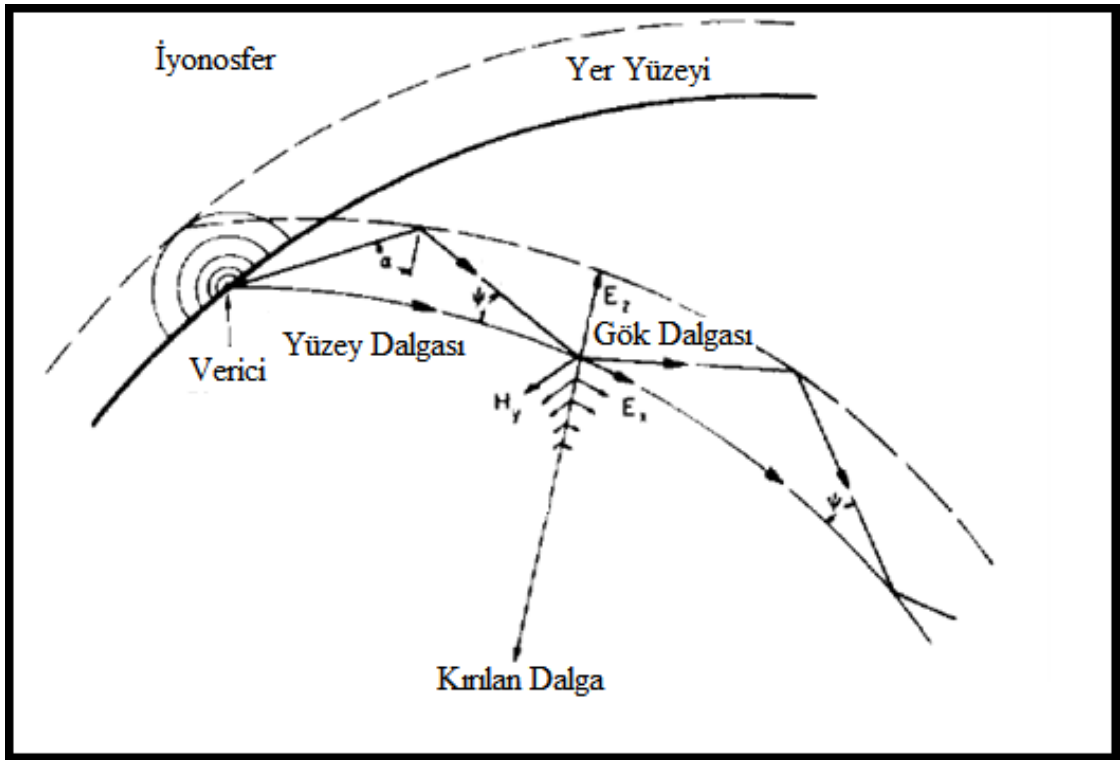
1920'lerden sonra çok büyük uzaklıklarla haberleşmek amacıyla kurulan ve yayın frekansları 15-30 kHz frekans aralığında değişen çok alçak frekanstaki (Very Low Frequency) radyo vericileri sığ derinliklerin araştırılması için elektromanyetik-VLF yönteminin gelişmesine yol açmıştır (Fisher ve diğ., 1983; Bayrak ve İlkışık., 1995; İlkışık ve diğ., 1995; Bayrak ve diğ., 1996; Tezkan, 1999; Beamish, 2000). Yeryüzüne yakın zeminlerin öz dirençlerinin 5-1000 Ohm m arasında değiştiği dikkate alındığında; VLF yönteminin pratik araştırma derinliği 5-100 m arasındadır. Bu yöntem, 1960'lardan başlayarak iletken maddelerin araştırılmasında özellikle çevre kirliliği, hidrojeoloji, maden ve mineral araştırmaları için kullanılmıştır (Paal, 1965; Paterson ve Ronka, 1971; McNeill ve Labson, 1991; McNew ve Arav, 1995; McCaffrey ve diğ., 1995; Benson ve diğ., 1997; Tezkan, 1999; Beamish, 2000; Bayrak, 2002; Hutchinson ve Barta, 2002; Eze ve diğ., 2004; Oskooi ve Pedersen, 2005; Liu ve diğ., 2006; Moon ve diğ., 2006; Gürer ve diğ., 2008).

Jeofizikte elektromanyetik indükleme yöntemleri kaynaklarına göre yakın ve uzak alan olarak iki sınıfa ayrılır (McNeill, 1990). VLF (VLF – R, VLF – EM) yöntemi uzak kaynaklı elektromanyetik yöntemlerinden biridir. Şekil 3.7 bazı elektromanyetik yöntemlerin kullanılan frekans ve zaman aralıklarını göstermektedir.



Şekil 3.7. Bazı elektromanyetik yöntemlerinin frekans ve zaman aralıkları (Tezkan, 1999).

Elektromanyetik-VLF yöntemi, 15 – 30 kHz frekans aralığında çok düşük frekansları kullanan ve 0.1 ve 1.0 MW arasında yayın yapan dünyanın çeşitli yerlerinde konumlanmış güçlü radyo vericilerinden yararlanır (Tablo 3.2) (Arcone, 1979). Kaynak alanları askeri haberleşme tarafından karşılanan bu vericiler, yayılma doğrultusuna dik yönde ( $x$ ), yatay manyetik  $H_y$  ve dikey elektrik  $E_z$  bileşenlerinden oluşan bir birincil elektromanyetik alan yayarlar (Paal, 1965; Tabbagh ve diğ, 1991; Tezkan, 1999; Beamish, 2000; Oskooi ve Pedersen, 2005). Şekil 3.8 yer – iyonosfer arasında VLF dalgalarının yayılım mekanizmasını göstermektedir (Arcone, 1979).



Şekil 3.8. Yer – iyonosfer arasında radyo dalgası yayılım mekanizması (Arcone, 1979).

Tablo 3.2. Elektromanyetik-VLF frekanslarında (15-30 kHz) yayın yapan bazı radyo istasyonları (Bayrak ve İlkışık, 1995; Hill,2005; Sidstation,2009; SMeter, 2010; ABEM, 2010).

KOD	İSTASYON	f (kHz)	GÜÇ	ENLEM	BOYLAM
UIK	Vladivostok, RUSYA	15			
FUO	Bordeaux, FRANSA	15,1	500	44 <sup>0</sup> 65'N	0 <sup>0</sup> 48'W
GBR	Rugby, İNGİLTERE	16	750	52 <sup>0</sup> 20'N	1 <sup>0</sup> 11'W
JXZ	Heigeland, NORVEÇ	16,4	350	66 <sup>0</sup> 25'N	13 <sup>0</sup> 01'E
JXN	Novik, NORVEÇ	16,4	45	66° 58' N	13° 52' E

<b>VTX</b>	Vijaya Narayanam, HİNDİSTAN	17		8° 23' N	77° 45' E
<b>UMS</b>	Moscow, RUSYA	17,1	1000	55°49'N	38°01'E
<b>SAQ</b>	Grimeton, İSVEÇ	17,2		57° 06' N	12° 23' E
<b>NDT</b>	Yosami, JAPONYA	17,4	50	34°58'N	137°01'E
<b>Channel one (NOV)</b>	ABD	17,9 18,0 23,1 25,7 26,9 27 27,2 27,5 27,7			
<b>RDL</b>	Krasnodar, Nizhniy, Novgorod, Arkhangelsk, Taşkent, Özbekistan, Molodechno, Belarus ve Kalinigrad, RUSYA	18,1			
<b>RLO</b>	Ryazan, RUSYA	18,1			
<b>RKS</b>	Murmansk, RUSYA	18,1			
<b>UFQE</b>	Matotchkinchar, RUSYA	18,1			
<b>VTX</b>	Güney Turunelveli, Kanyakumari Yolu, HİNDİSTAN	18,2			
	Rhauderfern, ALMANYA	18,5	500		
<b>NTS</b>	Woodside, Victoria, AVUSTRALYA	18,6		38° 28' S	146° 56' E
<b>RDL ve RKS</b>	RUSYA	18,9			
	Criggeon, İNGİLTERE	19			
<b>GBZ</b>	Anthorn, İNGİLTERE	19,6	500	54° 54' N	3° 16' W
<b>UGE</b>	Arkhangelsk, RUSYA	19,7			
<b>TBA</b>	Antalya, TÜRKİYE	19,8 21,8		36°53'N	30°43'E
<b>NWC</b>	Harold E. Holt, West Cape, Exmouth, AVUSTRALYA	19,8		21° 48' S	114° 09' E
<b>VLF</b>	Güney Kutbu	20	6000W verici gücü 500W ERP		
<b>ICV</b>	Isola di Tavolara, İTALYA	20,27	43	40° 55' N	9° 43' E

<b>RJH63, RJH66, RJH69, RJH77, RJH99, RAB99</b>	Krasnodar, RUSYA; Bişkek, KIRGIZİSTAN; Molodechno, BEYAZ RUSYA ; Arkhangels, RUSYA; Nizhniy Novgorod, RUSYA	20,5 23,0 25,0 25,1 25,5			
<b>3SA, 3SB</b>	ÇİN	20,6			
<b>FTA</b>	Sainte Assise, FRANSA	20,9	500	48° 32' N	2° 34' E
<b>RDL</b>	Krasnodar Krai, RUSYA; Taşkent, ÖZBEKİSTAN	21,1			
<b>GYA</b>	Londra, İNGİLTERE	21,37	120		
<b>NPM</b>	Pearl Harbour, Lualualei, Hawai, ABD	21,4		21° 25' N	158° 09' W
<b>NSS</b>	Annapolis, Maryland, ABD	21,4	400	38°59'N	76°27'W
<b>GQD</b>	Skelton, İNGİLTERE	22,1		54° 43' N	2° 52' W
<b>NDT</b>	Ebino, JAPONYA	22,2		32° 04' N	130° 49' E
<b>NWC</b>	Exmouth, AVUSTRALYA	22,3	1000	21°49'S	114°09'E
<b>HWU</b>	Rosnay, FRANSA	18,3 21,75 22,6		46° 42' N	1° 14' E
<b>DHO38</b>	Rhauderfehn, ALMANYA	23,4		53° 04' N	7° 36' E
<b>NPM</b>	Luluslei, HAWAİ, ABD	23,4	600	21°25'N	158°09'W
<b>NAA</b>	Cutler, ME, ABD	24	1000	44° 38' N	67° 16' W
<b>NLK</b>	Oso Washi Jim Creek, Washington, ABD	24,8	250	48° 12' N	121° 55' W
<b>PWB</b>	Belem, BREZİLYA	25			
<b>NML</b>	La Moure, ND, ABD	25,2	500	46° 21' N	98° 20' W
<b>CAA2A</b>	Santiago, ŞİLİ	26,6			
<b>TBB</b>	Bafa, TÜRKİYE	26,7		37° 24' N	27° 19' E
<b>RDL</b>	RUSYA	27,3			
<b>NOV</b>	Atlantik Okyanusu, ABD	27,6 29,3			
<b>NOV</b>	Pasifik Okyanusu, ABD	27,9 29,4			
<b>NAU</b>	Aguada, PORTO RİKO	28,5	100	18°23'N	67°11'W
<b>NOV</b>	ABD	29,6			
<b>PWI</b>	Recife, BREZİLYA	30			

Yer içindeki indüksiyon,  $H_y$  bileşenini değiştirir ve bir yatay elektrik alan ( $E_x$ ) yaratır.  $H_y$  ve  $E_x$  bileşenlerinin birlikte ölçümü görünür öz direncin hesaplanmasını sağlar. Yerden veya havadan yapılabilen uygulamalarda kullanılan sistemin özelliklerine bağlı olarak, radyo dalgasının düşey manyetik vektörünün ölçü noktasındaki gerçel ve sanal bileşenleri, meyil açısı, toplam manyetik alan şiddeti ve elektrik alan (yerdeki uygulamalarda), elektrik ve manyetik alanlar arasındaki faz farkı ölçülebilir. (İlkışık ve diğ., 1995; Başokur, 2003).

VLF yöntemi ölçülen parametrelerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Birincisi VLF – EM olarak adlandırılır ve sadece polarize olmuş manyetik alanın bileşenleri ölçülür. İkincisi ise VLF – R isimlendirilir ve VLF alanın bir yatay manyetik ve bir yatay elektrik bileşeni ölçülür. Normal olarak elektrik bileşeni hat boyu ile dik, tahmin edilen 2–B yapının doğrultusu ile paralel olmalıdır (Oskooi ve Pedersen, 2005).

Elektromanyetik – VLF yöntemi indüklemeli bir arama yöntemidir. Prensip olarak; uygun radyo vericilerinin bulunması durumunda E – polarizasyon ve H – polarizasyon modlarının her ikisinin de kullanılması mümkündür. Fisher ve diğerleri (1983) ve Beamish (1994, 2000)'e göre, 2–B bir yaklaşım tutarlılığı sağlamak amacıyla yönlü VLF verisi 2–B indüksiyonun iki temel modlarından biri ile uyumlu olmalıdır. E – polarizasyon modu (veya TE modu) durumunda elektrik alan doğrultuya paraleldir. H – polarizasyon modu (veya TM modu) durumunda manyetik alan doğrultuya paraleldir. Beamish (2000), anomali doğrultularının bilinmediği yerlerde ayrı vericilerden ölçüm alınmasını önermektedir.

E – polarizasyon modu VLF – R ve VLF – EM verilerini sağlamaktadır ve anomali dalgaboyları H – polarizasyon modundan daha büyük olmaktadır. H – polarizasyon modunda, VLF – EM alanı üretmez ve böylece VLF – R ve VLF – EM ölçümlerinin kombinasyonu mod teşhisinin bir aracı olarak kullanılabilir (Beamish, 2000).

Yer altında iletken yapı varlığında indüklenmiş akımlar tarafından üretilen ikincil alanlar birincil alana bir faz gecikmesiyle eklenirler ve toplam VLF alanı eliptik olarak kutuplaşır. Polarizasyon elipsinin büyük ekseninin yatayla yaptığı  $\alpha$  tilt açısı (%) ve

küçük eksenin büyük eksene oranı (%)  $\varepsilon$  eliptiklik Smith ve Ward (1974) tarafından aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$\alpha = \mp \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2(H_Z/H_Y) \cos \Delta\phi}{1-(H_Z/H_Y)^2} \right] \quad (3.22)$$

$$\varepsilon = \frac{H_Z H_Y \sin \Delta\phi}{H_1^2} \times 100 \quad (3.23)$$

burada  $H_1 = | H_Z e^{i\Delta\phi} \sin\alpha + H_Y \cos\alpha |$  ve  $\Delta\phi = \phi_Z - \phi_Y$  olarak  $\phi_Z$  ve  $\phi_Y$  sırasıyla  $H_Z$  ve  $H_Y$ 'nin fazlarıdır. Bu polarizasyon parametrelerinin her ikisi yüzeysel iletkenlikte yanal değişimler tarafından etkilenir.

İkincil manyetik alan bileşenleri nispeten birincil manyetik alana kıyasla küçük olduğu zaman gerçel ( $H_{Zr}$ ) ve sanal ( $H_{Zi}$ ) tepkiler polarizasyon elipsinin tilt açısı ( $\alpha$ ) ve eliptiklik ( $\varepsilon$ ) ile ilişkilidir. Tilt ( $\alpha$ ) açısının tanjantı, düşey ikincil manyetik alanın gerçel bileşenin birincil yatay toplam alana oranına iyi bir yaklaşımdır,

$$Re(H_Z/H_Y) = \tan \alpha \times 100 \quad (3.24)$$

Eliptiklik ( $\varepsilon$ ); düşey ikincil manyetik alanın sanal bileşenin birincil yatay toplam manyetik alana oranına iyi bir yaklaşımdır (Paterson ve Ronka,1971):

$$Qu(H_Z/H_Y) = \varepsilon \times 100 \quad (3.25)$$

gerçel ve sanal bileşenler toplam VLF vericisinin birincil alanının yüzdesi olarak tarif edilebilir.

Bu iki parametre; 'tipper'ın gerçel ve sanal kısımları olarak adlandırılır. Tipper vektörü (veya jeomanyetik transfer fonksiyonu) düşey ve yatay manyetik alan bileşenleri arasındaki doğrusal ilişkidir. Birincil alan düzlem dalga olarak düşünüldüğünde VLF vericilerinden yeterince uzun mesafelerde düşey ve yatay manyetik alan bileşenleri ( $H_z$ ,  $H_x$  ve  $H_y$ ) arasında aşağıdaki şekilde doğrusal bir ilişki vardır,

$$H_z = T_x H_x + T_y H_y \quad (3.26)$$

burada, T bileşenleri faz kayması içerebildiklerinden karmaşıktırlar. Karmaşık tipperlar;  $T_X$  ( $T_X=T_{Xr}+iT_{Xi}$ ) ve  $T_Y$  ( $T_Y=T_{Yr}+iT_{Yi}$ ) yerin yapısına bağlıdır (Pedersen ve diğ., 1994) Uygulamalarda ticari VLF cihazları sadece manyetik alanın düşey ve bir yatay birleşimini ölçer. 2-B bir yapı için, x yönü jeolojik uzanım yönü olarak düşünülebilir ve tercihen yönü VLF verici yönünde kullanılabilir. y eksenini profil yönüdür. Her iki konum için transfer fonksiyonu, tipper olarak adlandırılır,  $T_{Ysca}$  izleyen bağıntı ile verilir: (Oskooi ve Pedersen, 2005):

$$T_{Ysca} = \frac{H_z}{H_y} \quad (3.27)$$

burada düşey manyetik (Hz) alan tamamen ikincil orijinlidir, halbuki yatay manyetik alan (Hy) induksiyon sayesinde meydana gelir ve birincil ve ikincil alanların karışımıdır ve sadece  $T_x = 0$  iken tipper  $T_y = T_{ysca}$ 'ya eşittir (Pedersen ve diğ., 1994; Pedersen, 2002; Oskooi ve Pederson, 2005).

İki-boyutlu yer için, tipper, vericinin yönünden bağımsız ve tamamen yer altı yapısına bağlıdır (Pedersen ve diğ., 1994). Görünür öz direnç ( $\rho_a$ ) ve yeraltının yatay elektrik alan ve manyetik alan arasındaki faz açısı ( $\emptyset$ ) frekansın fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Cagniard, 1953),

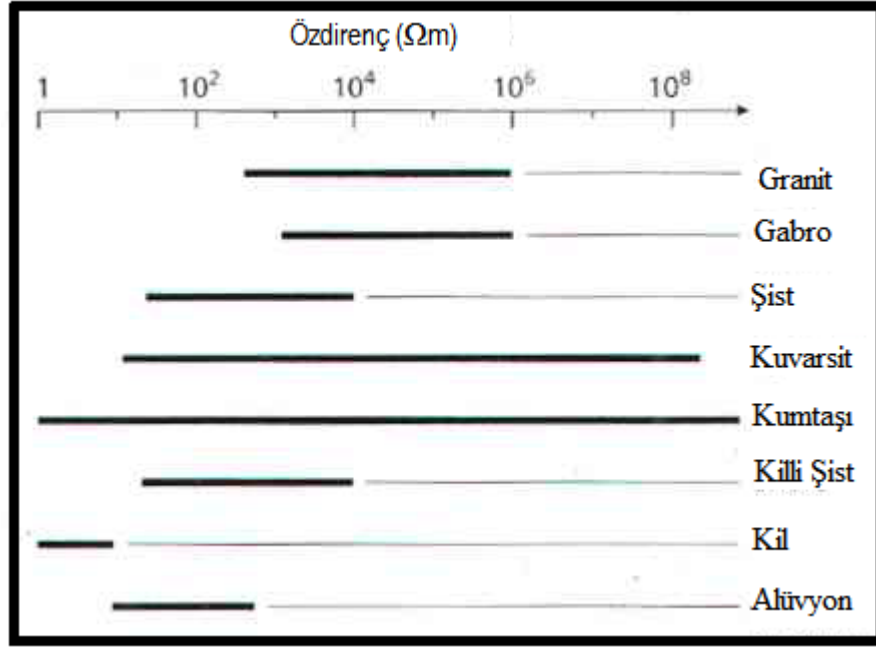
$$\rho_a = \left( \frac{1}{\omega \mu} \right) \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (\text{ohm m}) \quad (3.28)$$

$$\emptyset = \tan^{-1} \left[ \frac{\text{Im}(E_x/H_y)}{\text{Re}(E_x/H_y)} \right] \quad (\text{derece}) \quad (3.29)$$

burada  $\omega$  açısal frekans, ve  $\mu_0$  boşluğun manyetik geçirgenliğidir. Tek düze ve yön bağımsız yerde  $\rho_a$  gerçek öz dirençtir ve faz açısı  $45^\circ$ 'dir. Nüfuz derinliği iletken ortamda düzlem dalgalarının yayılımı için penetrasyon derinliği olarak tanımlanır ve izleyen şekilde ifade edilir,

$$d_n = \left( \frac{2\rho_a}{\omega \mu_0} \right) \approx 503 \left( \frac{\rho_a}{f} \right)^{1/2} \quad (3.30)$$

burada  $\rho$  ortamın öz direnci (Şekil 3.9) ve f ise Hertz olarak araştırma frekansdır (McNeill ve Labson; 1991).



Şekil 3.9. Kayaçlar ve sular için özdirenç değerleri (Kearey ve Brooks, 2002).

Elektromanyetik VLF verisi filtre metodlarıyla iyileştirilebilir. VLF veri – işlemden genellikle kullanılan iki doğrusal filtre yöntemi uygulanmaktadır (Fraser, 1969; Karous & Hjelt, 1983).

### 3.2.1. Fraser Filtresi

Fraser filtresi (Fraser; 1969), manyetik polarizasyon elipsinin tilt açısına uygulanan, alçak geçişli düzeltici operatörün fonksiyonudur. Fraser filtresi yatay türevleri hesaplar ve iletkenler üzerinde en yüksek değerleri verecek şekilde veriyi kontrol eder.

Filtre operatörü aşağıdaki kriterleri karşılamak amacıyla tasarlanmıştır:

- Meyil açısı verisinde 90° faz kayması olmalı ve böylece geçişler ve eğilmeler kontrol edilebilir büyüklükleri sağlayan zirvelere dönüştürülmüş olacaktır.
- Yerel anomalilerin çözünürlüğünü artırmak amacıyla doğru akım (DC) tamamen kaldırılmalı ve uzun dalga boyları azaltılmalıdır.



- İstasyondan – istasyona rastgele gürültüyü büyütmemelidir.
- Arazi personelinin hesaplamaları kolayca yapabilmesini sağlayacak basitlikte olmalıdır (Fraser, 1969).

İlk iki kriter basit farklar operatörü kullanılarak yapılır,

$$M_2 - M_1 \quad (3.31)$$

$M_1$  ve  $M_2$ , herhangi iki ardaşık veri noktalarıdır. Üçüncü kriter düzgünleştirilmiş veya alçak – geçişli operatör farklara uygulanır:

$$\frac{1}{4}(M_2 - M_1) + \frac{1}{2}(M_3 - M_2) + \frac{1}{4}(M_4 - M_3) \quad (3.32)$$

$M_1, M_2, M_3$  ve  $M_4$ , herhangi iki ardaşık veri noktalarıdır. Filtrelenmiş çıktı;

$$\frac{1}{4}(M_2 - M_1) + \frac{1}{2}(M_3 - M_2) + \frac{1}{4}(M_4 - M_3) = \frac{1}{4}[M_3 + M_4 - M_1 - M_2] \quad (3.33)$$

Sabitlerin elenmesiyle son kriter sağlanmış ve filtre aşağıdaki şekli almış olur;

$$F_{2,3}=(M_3+M_4)-(M_1+M_2) \quad (3.34)$$

fonksiyon  $M_2$  ve  $M_3$  meyil açısı istasyonlarının arasındaki orta noktaya çizilir (Fraser, 1969).

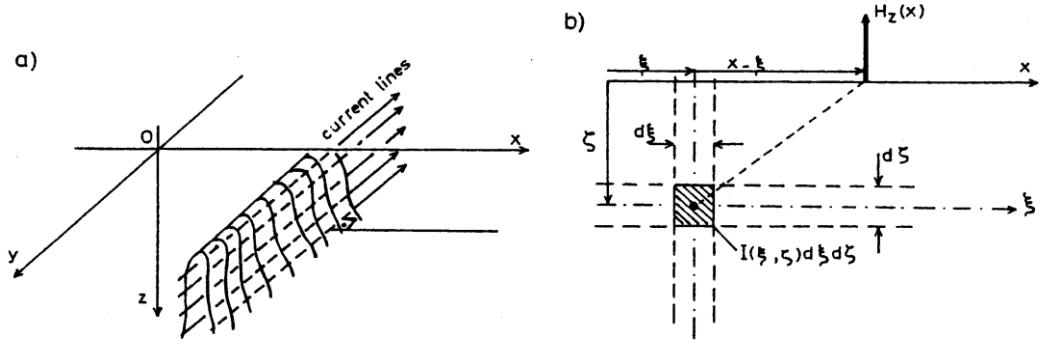
### 3.2.2. Karous & Hjelt Filtresi:

Elektromanyetik-VLF verisinin düşey manyetik alanın gerçel bileşeni Karous & Hjelt filtresi (Karous & Hjelt, 1983) ile filtrelenir. Filtrelenmiş veri yerdeki ikincil akımların bir gösterimi olarak düşünülebilir. Karous & Hjelt filtresi tekniği VLF verisinin ayırık doğrusal filtrelenmesine dayanır. Ölçü istasyonları arasında eşit uzaklıklı derinlikte konumlanmış değişen akım yoğunluklu ince yatay levhaların yeraltında 2-B akım

dağılımının (Şekil 3.11 a) yarattığı manyetik alanı (Şekil 3.11 b) tanımlamak için Biot-Savart yasasından yararlanır (Reitz ve Milford, 1966):

$$H_z(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\xi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{I(\xi, \zeta) \cdot (x-\xi)}{[(x-\xi)^2 + \zeta^2]} d\zeta \quad (3.35)$$

$I(\xi, \zeta)$ : akım yoğunluğu



Şekil 3.10. a) Koordinat sistemi ve akım çizgilerinin yönelimi ve b) Bir akım – yoğunluk elemanın manyetik alanı (Karous ve Hjelt, 1983).

Konvolüsyon integrali bağıntısı (3.35) akım yoğunluğunun  $\zeta = z$  derinlikte  $\Delta z$  genişlikli bir şeritle sınırlandırılması durumunda aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir,

$$\int_{-\infty}^{\infty} I(\xi, \zeta) d\zeta = I_a(\xi) \cdot \Delta z$$

$$H_z(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{I_a(\xi) \cdot \Delta z \cdot (x-\xi)}{[(x-\xi)^2 + z^2]} d\xi \quad (3.36)$$

Bu denklem doğrusal filtre teorisi kullanılarak akım yoğunluğu  $I_a$  için çözülebilir (Bendat ve Piersol, 1968).

Arazi verisi yalnızca ayırık noktalarda elde edildiğinden, 3.36 denkleminin ters çözümü sadece ayırık akım dağılımını verir.  $H_{zm}(x)$  verisinin  $\Delta x$  aralıklı eşit uzaklıklarda uygulanabilir olduğu varsayıldığında, akım dağılımı  $z = \Delta x$  derinliğinde yerleşik noktalarda hesaplanmış olacaktır (Karous ve Hjelt, 1983).

$$H_{zm}(x_i) = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \frac{I_a(\xi_j) \Delta z \cdot \Delta x (x_i - \xi_j)}{[(x_i - \xi_j)^2 + \Delta x^2]} \quad (3.37)$$

$$x_i = i \cdot \Delta x$$

$$\xi_j = (j + j_0) \cdot \Delta x$$

$$0 \leq j_0 < 1$$

$$H_i = \frac{2\pi}{\Delta z} H_{zm}(x_i)$$

$$I_a(\xi_j) = I_j$$

$$H_i = \sum_{j=-\infty}^{\infty} I_j K_{ij} \quad (3.38)$$

$$K_{ij} = \frac{i - j - j_0}{(i - j - j_0)^2 + 1}$$

İdeal ters filtre 3.38 nolu denklemin çözümünden bulunur. Teorik olarak filtre katsayılarının sayısı sonsuzdur, ancak uygulamada sınırlı bir sayı ile sınırlandırılmalıdır (Karous ve Hjelt, 1983):

$$H_i = \sum_{j=-\infty}^{\infty} I_j \cdot K_{ij} \quad (3.39)$$

$$I_j = \sum_{i=-n}^{n+1} K_{10}^{-1} \cdot H_{i+j} \quad (3.40)$$

Sonuçlar uygulamada aşağıdaki filtrenin iyi çalıştığını göstermektedir (Karous ve Hjelt, 1983):

$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{2\pi} \cdot I_a\left(\frac{\Delta x}{2}\right) = & -0.205H_{-2} + 0.323H_{-1} - 1.446H_0 + 1.446H_1 - 0.323H_2 + \\ & 0.205H_3 \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$H_i = H_{zm}(i \cdot \Delta x)$$

Bu tek bir akım hattı alanının ters çözümü için %8 den daha az hata veren en kısa filtredir. Arazi verisinin yorumunda ölçülmüş değerler filtrelenmeden önce mutlaka düzgünleştirilmelidir. Komşu olan değerler  $H_i$  ve  $I_a$ 'nın ortalaması alınmasıyla simetrik filtre aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır (Karous ve Hjelt; 1983):

$$\frac{\Delta x}{2\pi} I_{\alpha}(0) = -0.102H_{-3} + 0.059H_{-2} - 0.561H_{-1} + 0.561H_1 - 0.059H_2 + 0.102H_3$$

(3.42)

$$I(0) = \frac{1}{2} \left[ I\left(\frac{\Delta x}{2}\right) + I\left(-\frac{\Delta x}{2}\right) \right]$$

Filtre katsayıları tipperin gerçel ve sanal bileşenlerine ayrı ayrı uygulanarak akım yoğunluğuna karşılık gelen bileşenleri elde edilebilir. Farklı derinliklerdeki ( $\Delta x$ ,  $2\Delta x$ ,  $3\Delta x$ , vb...) ters filtrenin hesaplanması ile derinlikle akım yoğunluğunun değişimi izlenebilir (Karous ve Hjelt, 1983).

## 4. BULGULAR

Bursa ilinin Mustafakemalpaşa ilçesine bağlı Kestelek köyünde yer alan Eti Maden İşletmesi'ne bağlı Kestelek bor yatağı (Şekil 4.1) üzerinde iki ayrı alanda dipol – dipol dizilimi kullanılarak doğru akım (DC) özdirenç ve elektromanyetik – VLF ölçümleri alınmıştır.



Şekil 4.1. Doğru akım (DC) özdirenç ve elektromanyetik – VLF ölçümleri alınan Eti Maden İşletmesi'ne bağlı Kestelek bor yatağı.

### 4.1. DOĞRU AKIM (DC) ÖZDİRENÇ İLE VLF EKİPMANI VE VERİ TOPLAMA

#### 4.1.1. Doğru Akım (DC) Özdirenç Ekipmanı

Doğru akım (DC) özdirenç ölçümleri SAS (Signal Average System) – 2000 (Zobu, 2010) sinyal ortalamalı doğru akım özdirenç cihazı ile alınmıştır (Şekil 4.2). Bu cihaz

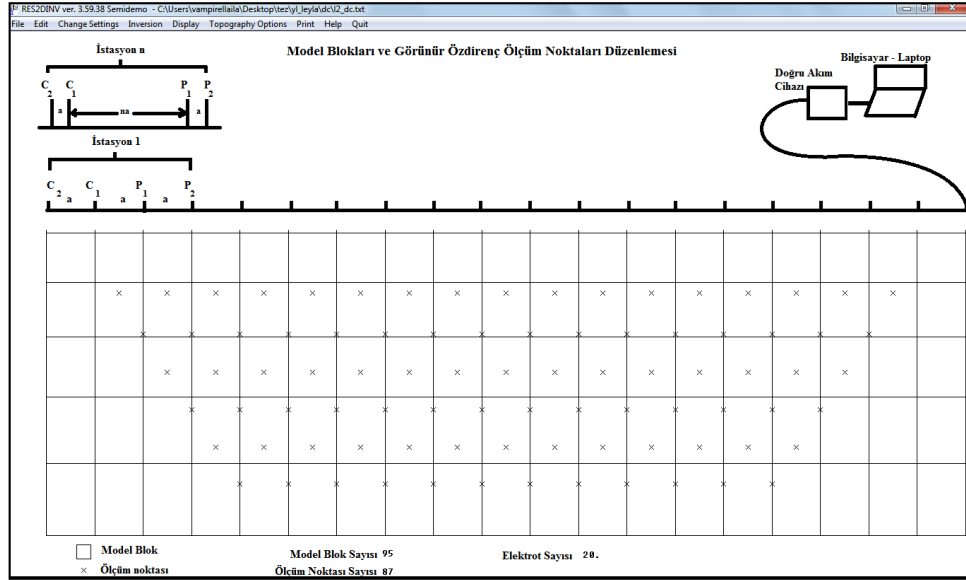
ile dipol – dipol, Schlumberger, Wenner dizilimlerinde ve SP ölçümleri alınabilmektedir. Sismik cihazlarda kullanılan sinyal yığıma ve ortalama alma yöntemleri SAS – 2000 doğru akım öz direnç cihazında da kullanılmıştır. Bu şekilde yüksek oranda sinyal/gürültü oranı elde edilmektedir. Cihaz tamamiyle mikro işlemci kontrollü çalışmaktadır. Bu sistemde yere önce pozitif yönde sonra negatif yönde akım verilerek gerilim farkları okunur ve ortalamaları alınarak potansiyel elektrotları arası gerilim farkı bulunur. Bu sırada sistem doğrusal SP sapma korelasyonu yaparak SP'nin ölçümlere girmesini engellediği gibi yerden gelen gürültülerde atılmaktadır. Yere akım verdikten sonra belli bir süre bekleyerek, transiyentlerin, IP etkilerinin ve kuplajların ölçümlere girmesini engellenmektedir. Gerekliğinde ölçme tekrarları ile veri kalitesi artırılabilir. Alınan ölçümler SDCard şeklindeki flash belleğe kaydedilerek hızlı ölçüm alınması sağlanmaktadır.

Arazide kullanılan ölçüm ekipmanları ise, 400'er m'lik (4 çelik, 3 bakır) iki adet akım kablosu, 100'er m'lik (çok telli bakır kablo) iki adet potansiyel kablosu, yirmi adet (her ölçüm noktası için) NiCr alaşımlı (40 cm x 1.3 cm) paslanmaz çelik çubuklar, dört adet elektrot bağlantı kablosu, bir adet şarj edilebilir DC akü (12 V ve 24 A), bir adet doğru



Şekil 4.2. Arazide doğru akım (DC) öz direnç yönteminde kullanılan SAS – 2000 cihazı (Zobu, 2010).

akım (DC) akü şarjörü, bir adet akü bağlantı kablosu, iki adet 1,5 kg'lık çekiç ve 200 m'lik metrajlanmış ip kullanılmıştır. Şekil 4.3'te arazide doğru akım (DC) öz direnç ölçü ekipmanı ile alınan dipol – dipol diziliminin ölçü noktaları gösterilmiştir.



Şekil.4.3. Andıran kesit oluşturmak amacıyla arazideki doğru akım (DC) öz direnç dipol-dipol ölçü düzeni.

#### 4.1.2. Elektromanyetik-VLF Ekipmanı

Elektromanyetik-VLF ölçümleri Kanada yapımı Scintrex EDA OMNI – PLUS VLF cihazıyla alınmıştır (Şekil 4.4). Cihaz mikroişlemci kontrollü ve otomatik ayarlama, sayısal veri alma, sinyal yığıma özellikleri vardır. Manyetik alan silindirik bir yuvaya yerleşik birbirine dik üç bobinle kaydedilir. Elektrik alan ise yere sabitlenmiş aralarında 5 m uzaklıklı bir çift elektrotla kaydedilir. VLF cihazı hafif ve pahalı olmayan ekipmanı, araştırma sahasında bir ölçü noktasında farklı VLF vericilerinden yayınlanan üç ayrı frekansta birden fazla parametreyi aynı anda ölçme işlemleri gibi avantajları dolayısıyla tercih edilen bir yöntemdir (Paterson ve Ronka, 1971; İlkışık ve diğ., 1995; Bayrak, 2002).



Şekil 4.4. Arazide elektromanyetik – VLF ölçümlerinde kullanılan Kanada yapımı SCIENTREX EDA OMNI PLUS cihazı.

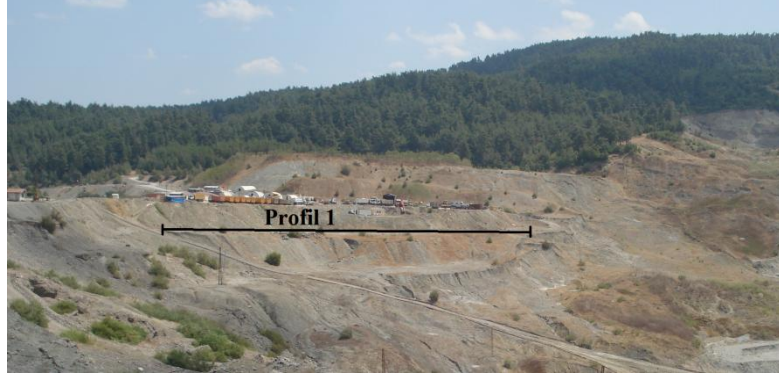
## 4.2. ELEKTRİK VE ELEKTROMANYETİK VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.2.1. Profil 1

Profil 1’de elektromanyetik – VLF ve doğru akım (DC) öz direnç ölçümleri aynı profil üzerinde alınmıştır (Şekil 4.5). Her iki yöntem ile elde edilen ölçüm sonuçları Profil 1 civarında (Şekil 2.4) Koçak ve Sözügüzel’in (1989) almış oldukları SK – 73 (Şekil 4.6 d ve Şekil 4.8) sondaj logu ile karşılaştırılmıştır. Bu sondaj logu alındıktan sonra bu civarda herhangi bir kazı yapılmamıştır. Bu sondaj logunun kot yüksekliği 49.39 m dir.

Profil 1’de doğru akım (DC) öz direnç ölçümleri dipol – dipol dizilimi uygulanarak alınmıştır. Bu profilde dipol elektrot aralığı  $a= 10$  m alınmıştır. 20 elektrot için toplam profil uzunluğu 190 m dir. Seviye düzeyi  $n= 6$  olarak alınmıştır (Şekil 4.6).

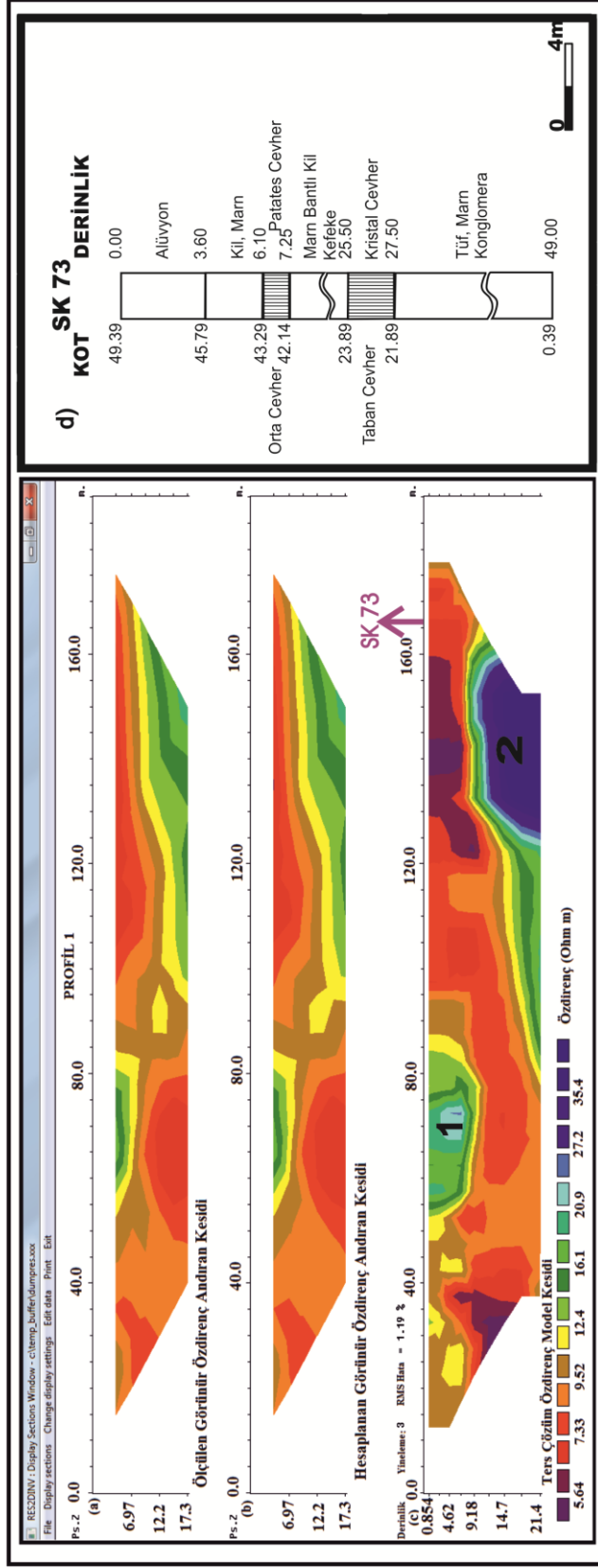




Şekil 4.5. Arazide doğru akım (DC) özdirenç ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin alındığı Profil 1'in konumu.

Doğru akım (DC) özdirenç verilerinin iki – boyutlu ters çözüm işlemi Loke ve Barker (1996a, b) tarafından geliştirilen RES2DINV yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki-boyutlu gerçek özdirenç modeli, arazi verisi ile model parametrelerinden hesaplanan verinin karşılaştırılmasıyla hesaplanmıştır. Arazide Profil 1 üzerinde dipol-dipol dizilimi ile ölçülen doğru akım (DC) özdirenç verisi ve iki – boyutlu özdirenç verisinden hesaplanan sentetik veri Şekil 4.6 a ve b de gösterilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan görünür özdirenç verilerinin uyumu iyi düzeydedir. Elde edilen 2–B özdirenç modelinin RMS'i ise % 1.19 dur.

Şekil 4.6 c'de Profil 1'in ters çözüm sonucu elde edilen iki-boyutlu (2–B) gerçek özdirenç modeli gösterilmiştir. Profil 1'in 55 m ile 85 m uzaklıkları arasında yer alan ve yaklaşık olarak 6 m derinliğe kadar devam eden orta özdirençli (>15 ohm m) (1 no'lu DC anomalisi) bir bölge bulunmaktadır. Ayrıca Profil 1'in 125 m ile 165 m uzaklıkları arasında yer alan ve 10 m derinden başlayıp 21.4 m derinliğe kadar devam eden yüksek özdirençli (>25 ohm m) geniş bir bölgenin (2 no'lu DC anomalisi) varlığı dikkat çekmektedir. Profil 1 de elde edilen doğru akım (DC) 2-B gerçek özdirenç modelinde görülen orta özdirençli bölge (1 no'lu DC anomalisi) (Şekil 4.6 c) iletken yapılar (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) içerisinde görülen bor cevherine işaret ettiği düşünülmektedir. Şekil 4.6 d'de ise Profil 1'i 166. m uzaklıkta kesen mekanik sondaj logu gösterilmektedir (SK-73) (Koçak ve Sözügüzel, 1989).



Şekil 4.6. Profil 1’de doğru akım (DC) öz direnç verilerinin a) Ölçülen görünür öz direnç andıran kesidi, b) Hesaplanan görünür öz direnç andıran kesidi, c) Ters çözüm sonucu elde edilen iki – boyutlu (2–B) gerçek öz direnç modeli ve d) Profil 1 civarında alınmış olan SK 73 mekanik sondaj logu (Koçak ve Sözügözel, 1989).

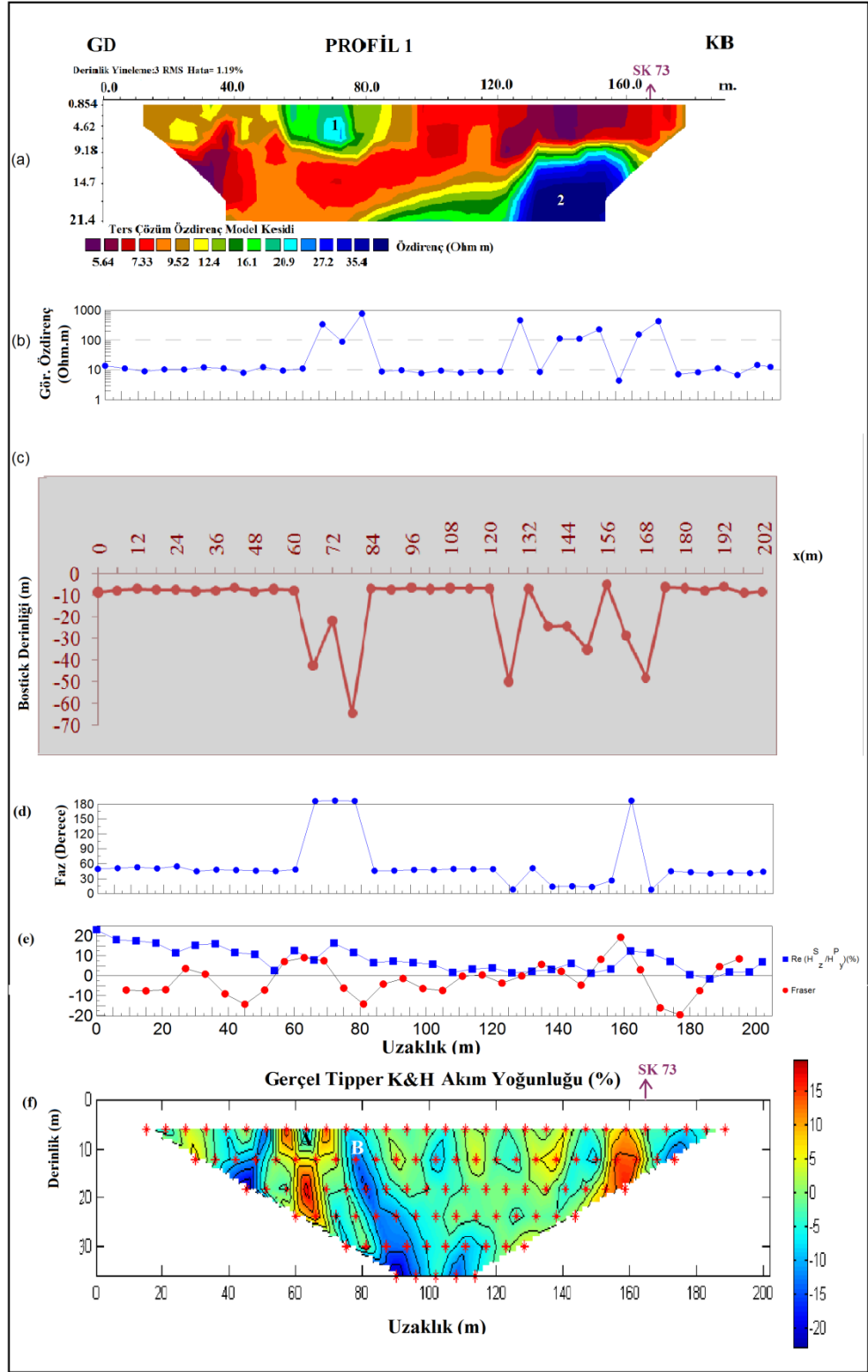
Profil 1’de elektromanyetik-VLF ölçümleri 6 m aralıklarla alınmıştır ve toplam profil uzunluğu 202 m dir. VLF ölçümleri 23.4 kHz (DHO38, Rhauferfeh, Almanya) frekansında yayın yapan radyo istasyonu kullanılarak alınmıştır. Bu profil’de radyo istasyonunun yönü bor cevherini dike yakın kesmektedir (Şekil 2.4). Elektromanyetik-VLF gerçel tipper verilerinin Fraser ve K&H filtre değerleri Sundararajan ve diğ. (2006) tarafından geliştirilen VLFPROS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Profil 1 boyunca elde edilen elektromanyetik – VLF parametreleri olan görünür özdirenç ( $\rho_a$ , ohm m) ve bundan elde edilen bostick derinliği (m), faz ( $\phi$ , derece), gerçel tipper ile Fraser filtre sonucu, gerçel tipperdan türetilen K&H akım yoğunluğu andıran kesidi Şekil 4.7 b, c, d, e ve f’de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 4.7 b ve d’de Profil 1 boyunca görünür özdirenç ortalama 10 ohm m ve faz  $45^\circ$  civarında değişirken, yaklaşık 65 m ve 77 m uzaklıkları civarında VLF görünür özdirenç ve faz oldukça yüksek değerler ( $>100$  ohm m ve  $>90^\circ$ ) almaktadır. Bu oldukça VLF yüksek özdirenç değerleri (Şekil 4.7 b) yüksek Bostick derinliklerine ( $\sim 50$  m) (Şekil 4.7 c) karşılık geldiğinden profil boyunca bu uzaklıklardaki daha sığ derinliklerden alınan DC özdirenç değerleri (Şekil 4.7 a) arasında özdirenç farkları oluştuğu düşünülmektedir. K&H gerçel tipper andıran kesitinde (Şekil 4.7 f) özellikle 65 m (A no’lu VLF anomali) ve oldukça geniş ve derinlere doğru devam eden 77 m uzaklıktaki (B no’lu VLF anomali) anomalileri doğru akım (DC) gerçek özdirenç modelindeki (Şekil 4.7 a) 55 m ile 85 m uzaklıkları arasında yer alan ve yaklaşık olarak 6 m derinliğe kadar devam eden orta özdirençli ( $>15$  ohm m) bölge ile örtüşmektedir. (K&H filtresinin sonucu seçilen bir derinlikte yüzey pozisyonuna karşılık gelen bağıl akım yoğunluğudur (Karous ve Hjelt, 1983). Benson ve diğerlerine (1997) göre K&H akım yoğunluğunun daha düşük değerleri daha yüksek özdirenç değerlerine karşılık gelmektedir.) Profil 1’de 125 m, 150 m ve 170 m uzaklıkları civarında VLF görünür özdirenç yüksek değerler ( $>100$  ohm ) almaktadır (Şekil 4.7 b). Bu anomaliler K&H gerçel tipper andıran kesitte (Şekil 4.7 e) oldukça düşük (negatif) bölgeler olarak görülürken doğru akım (DC) gerçek özdirenç modelinde (Şekil 4.7 a) 125 m ile 165 m uzaklıkları arasındaki 2 no’lu DC anomali bölgesi olan yüksek özdirençli ( $>25$  ohm m) geniş bölge ile örtüşmektedir. K&H gerçel tipper akım yoğunluğu andıran kesidi (Şekil 4.7 e) yaklaşık olarak 65 m, 77 m, 125 m, 150 ve 166

m uzaklıkları civarında pozitif geçiş (yani pozitiften negatife giden pikler) göstermektedir. Bu geçiş ise iletken ve yalıtkan yapı sınırını gösterdiğine (olası bor cevheri sınırına) işaret etmektedir. Profil 1'i 166. m'de kesen SK-73 mekanik sondaj logu (Şekil 4.7 a ve e) gerçel K&H akım yoğunluğu kesidinin pozitif geçiş yaptığı (iletken ve yalıtkan yapı sınırını gösterdiği) sıfır konturuna rastladığı dikkat çekmektedir. Şekil 4.7 d'de Profil 1 için gerçel tipper ve bunun Fraser filter sonuçları gösterilmektedir. VLF yönteminde gerçel tipper parametrelerinin profildeki işaret değiştirmeleri yeraltındaki iletken anomalilere işaret etmektedir (Paterson and Ronka, 1971). Fraser filtresi ise profil boyunca gerçel tipperin işaret değişim noktalarının iletkenin tam olarak yerini gösteren piklere çevirmektedir. Profil 1 boyunca gerçel tipper ve bunun Fraser filtre sonuçları belirgin anomaliler vermemiştir.

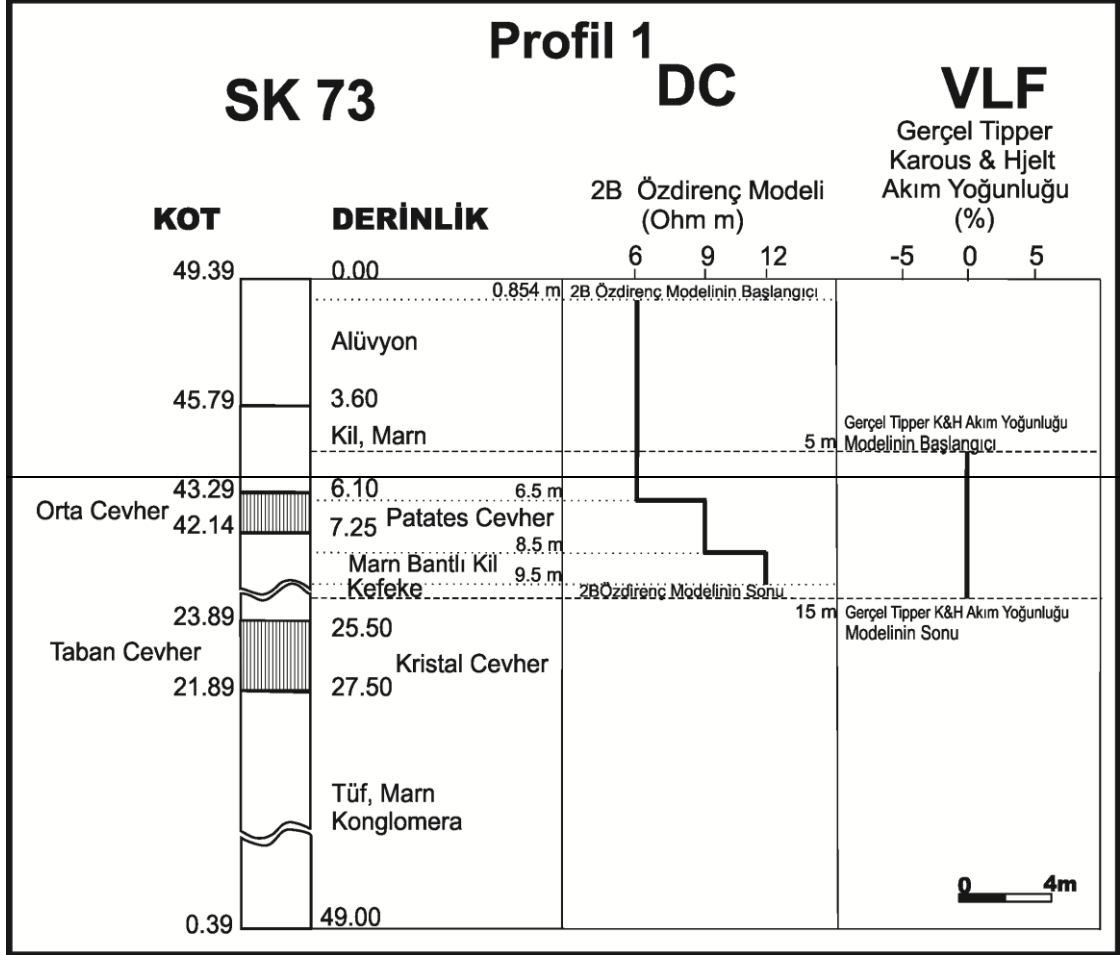
Şekil 4.8 de Profil 1 için SK 73 mekanik sondaj logunun (Koçak ve Sözügüzel, 1989); DC 2-B gerçel özdirenç modelindeki ve elektromanyetik-VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu andıran kesidindeki izdüşümü karşılaştırılmıştır. Jeoloji haritasına (Şekil 2.4) ve Profil 1 civarında yapılan mekanik sondaja (SK-73) (Şekil 4.8) göre, 6.1 m ile 7.25 m derinlikleri arasında patates cevherini (orta cevher) ve 25.5 m ile 27.5 m arasındaki derinlikte yer alan kristal cevheri (taban cevheri) yer almaktadır (Koçak ve Sözügüzel, 1989). 2-B doğru akım (DC) gerçel özdirenç modeli, SK-73 mekanik sondaj logunun 0.854 m ile 9.5 m derinlikleri arasındaki kısmı göstermektedir. Buna göre, alüvyon ve kil-marn bulunan katmanda özdirenç değeri ~6 ohm m'yi gösterirken; 6.5 m derinliğinde patates cevheri içinde 9 ohm m'ye çıkmaktadır. 8.5 m derinliğinde bulunan marn bantlı kil ve kefeke (kolemanitin su ve CO<sub>2</sub> ile altere olması sonucu oluşan kof yapılu kalsit) tabakasında 12 ohm m'ye yükselmektedir. Profil 1'de elde edilen doğru akım (DC) 2-B gerçel özdirenç modelinde görülen yüksek özdirençli bölge (2 numaralı DC anomalisi) (Şekil 4.6 c) iletken yapılar (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) içerisinde görülen bor cevherine işaret ettiği düşünülmektedir.

VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu kesidinde, SK-73 mekanik sondaj logunun 5 m ile 15 m arasındaki derinliğini göstermektedir. Buna göre; SK-73 mekanik sondaj



Şekil 4.7. Profil 1 de alınan doğru akım (DC) ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin değerlendirilmesi a) Doğru akım (DC) özdirenç verilerinin ters çözüm sonucu elde edilen iki – boyutlu (2-B) gerçek özdirenç modeli, b) VLF görünür özdirenç ( $\rho_a$ , ohm m), c) Profil 1 VLF bostick derinlikleri, d) VLF faz ( $\phi$ , derece), e) VLF gerçel tipper ile Fraser filtre sonucu ve f) VLF gerçel tipperdan türetilen K&H akım yoğunluğu andıran kesidi.

logu, gerçel tipper K&H akım yoğunluğu kesidinin pozitif geçiş (yani iletken ve yalıtkan yapı sınırını gösterdiği) yaptığı sıfır konturunun üzerinde bulunduğu dikkati çekmektedir. Bu ise iletken ve yalıtkan yapı sınırını gösterdiğini yani olası bor cevherinin sınırına işaret ettiği düşünülmektedir.



Şekil 4.8. Profil 1 civarında alınmış olan SK 73 mekanik sondaj logunun (Koçak ve Sözügüzel, 1989); DC 2-B gerçek özdirenç modelindeki ve elektromanyetik-VLF gerçek tipper K&H akım yoğunluğu andıran kesidindeki izdüşümü karşılaştırılması.

#### 4.2.2. Profil 2

Profil 2’de elektromanyetik – VLF ve doğru akım (DC) özdirenç ölçümleri aynı profil üzerinde alınmıştır (Şekil 4.9). Her iki yöntem ile elde edilen ölçüm sonuçları Profil 2 civarında (Şekil 2.4) Koçak ve Sözügüzel’in (1989) almış oldukları SK – 2 (Şekil 4.12

Şekil 4.10 d) sondaj logu ile karşılaştırılmıştır. SK – 2 sondaj logu sonra sondaj noktasının üzeri kazıldığından dolayı arazide doğru akım (DC) öz direnç ve VLF ölçümleri alındığı sırada ölçülen kot yüksekliği 24.67 m'dir.



Şekil 4.9. Arazide doğru akım (DC) öz direnç ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin alındığı Profil 2'nin konumu.

Profil 2'de doğru akım (DC) öz direnç ölçümleri dipol – dipol dizilimi uygulanarak alınmıştır. Bu profilde dipol elektrot aralığı  $a = 4$  m dir. 20 elektrot için toplam profil uzunluğu 76 m ve seviye düzeyi  $n = 6$  olarak alınmıştır (Şekil 4.10).

Doğru akım (DC) öz direnç verilerinin iki-boyutlu ters çözüm işlemi Loke ve Barker (1996a, b) tarafından geliştirilen RES2DINV yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki-boyutlu (2-B) gerçek öz direnç modeli, arazi verisi ile model parametrelerinden hesaplanan verinin karşılaştırılmasıyla hesaplanmıştır. Arazide Profil 2 üzerinde dipol-dipol dizilimi ile ölçülen doğru akım (DC) öz direnç verisi ve iki-boyutlu öz direnç verisinden hesaplanan sentetik veri Şekil 4.10 a ve b'de gösterilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan görünür öz direnç verilerinin uyumu iyi düzeydedir. Elde edilen 2-B öz direnç modelinin RMS'i ise % 2.6 dır.

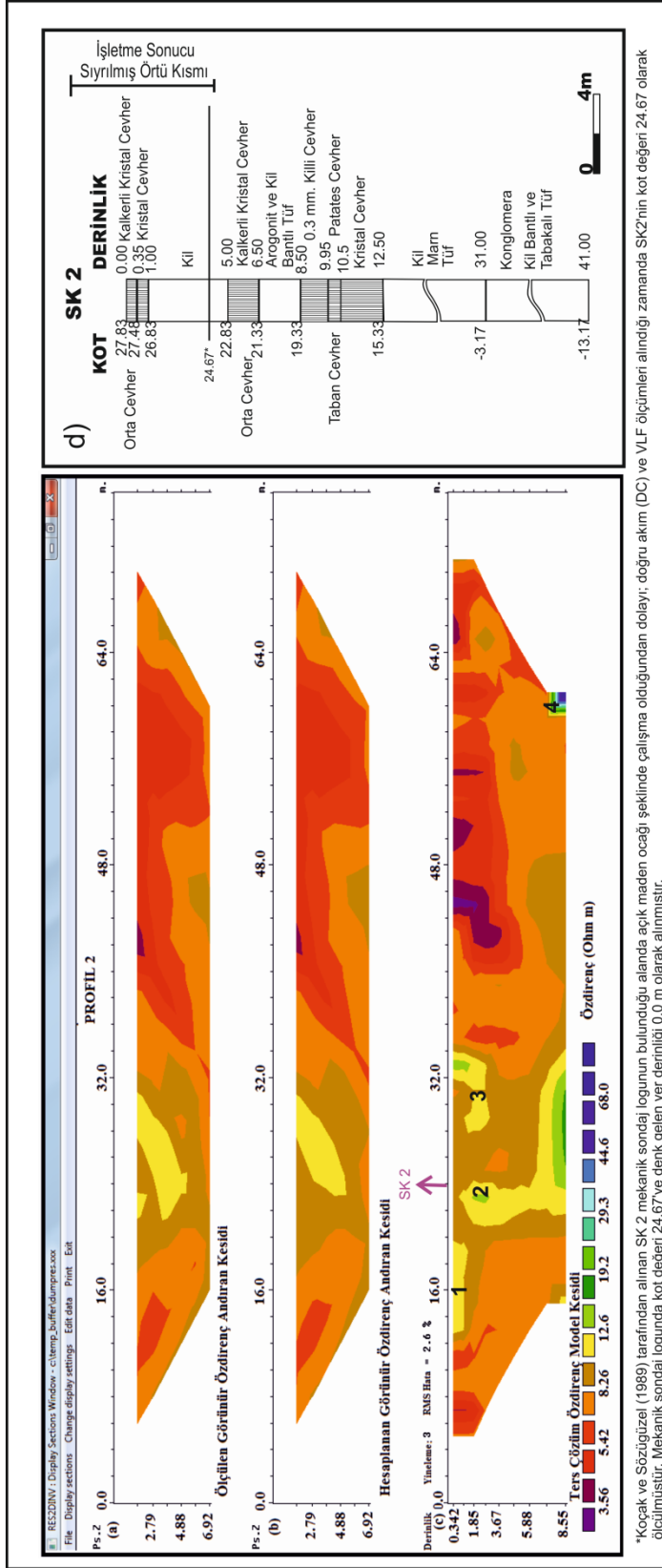
Şekil 4.10 c'de Profil 2'nin ters çözüm sonucu elde edilen iki-boyutlu (2-B) gerçek öz direnç modeli gösterilmiştir. Profil 2'nin 12 m ile 20 m uzaklıkları arasında yaklaşık olarak 1.5 m derinliğe kadar (1 no'lu DC anomalisi) ve profilin 28 m ile 34 m

uzaklıkları arasında yaklaşık 3 m derinliğe kadar devam eden özdirenç nispeten orta yükseklikte ( $>15$  ohm m) (3 no'lu DC anomalisi) yüzeye yakın iki anomali bölgesi bulunmaktadır. Ayrıca profil 2'nin 21 m ile 34 m uzaklıkları arasında 1.5 m derinden 3 m genişlikle başlayıp 8.55 m derinlikte 13 m genişliğe ulaşan orta özdirençli ( $>15$  ohm m) (2 no'lu DC anomalisi) geniş bir bölgenin varlığı dikkat çekmektedir. Ayrıca 60 m uzaklık civarında 8 m derinlikten başlayıp daha derinlere doğru devam ettiği tahmin edilen yüksek özdirençli yapının ( $>25$  ohm m) varlığı (4 no'lu DC anomalisi) görülmektedir. Profil 2 de elde edilen doğru akım (DC) 2-B gerçek özdirenç modelinde görülen orta özdirençli (1 ve 3 no'lu DC anomalileri) bölgeler ve yüksek özdirençli (4 no'lu DC anomalisi) (Şekil 4.10 c) iletken yapılar (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) içerisinde görülen bor cevherine işaret ettikleri düşünülmektedir. Şekil 4.10 d'de ise Profil 2'yi 24. m uzaklıkta kesen mekanik sondaj logu gösterilmektedir (SK-2; kot=24.67 m) (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

Profil 2'de elektromanyetik-VLF ölçümleri 4 m aralıklarla alınmıştır ve toplam profil uzunluğu 80 m dir. VLF ölçümleri 23.4 kHz (DHO38, Rhauferfeh, Almanya) frekansında yayın yapan radyo istasyonu kullanılarak alınmıştır. Bu profilde radyo istasyonunun yönü bor cevherini dike yakın kesmektedir (Şekil 2.4). Elektromanyetik-VLF gerçel tipper verilerinin Fraser ve K&H filtre değerleri Sundararajan ve diğ. (2006) tarafından geliştirilen VLFPROS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Profil 2 boyunca elde edilen elektromanyetik – VLF parametreleri olan görünür özdirenç ( $\rho_a$ , ohm m), ve bundan elde edilen Bostick derinlikleri, faz ( $\phi$ , derece), gerçel tipper ile Fraser filtre sonucu, gerçel tipperdan türetilen K&H akım yoğunluğu andıran kesidi Şekil 4.11 b, c, d, e ve f'de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 4.11 b ve d'de Profil 2 boyunca görünür özdirenç ve faz Profil 1'e benzer şekilde sırasıyla yaklaşık 10 ohm m ve faz  $45^\circ$  civarında değişirken, yaklaşık 12 m civarı ve 28 m ile profil sonuna kadar (80 m) devam eden uzaklıklarda VLF görünür özdirenç ve faz oldukça yüksek değerler ( $>700$  ohm m ve  $>90^\circ$ ) almaktadır. Bu oldukça VLF yüksek özdirenç değerleri (Şekil 4.7 b) yüksek Bostick derinliklerine ( $\sim 60$  m) (Şekil 4.11 c) karşılık geldiğinden profil boyunca bu uzaklıklardaki daha sığ derinliklerden alınan DC özdirenç değerleri (Şekil 4.11 a) arasında özdirenç farkları oluştuğu düşünülmektedir. K&H filtresinin çıktısı



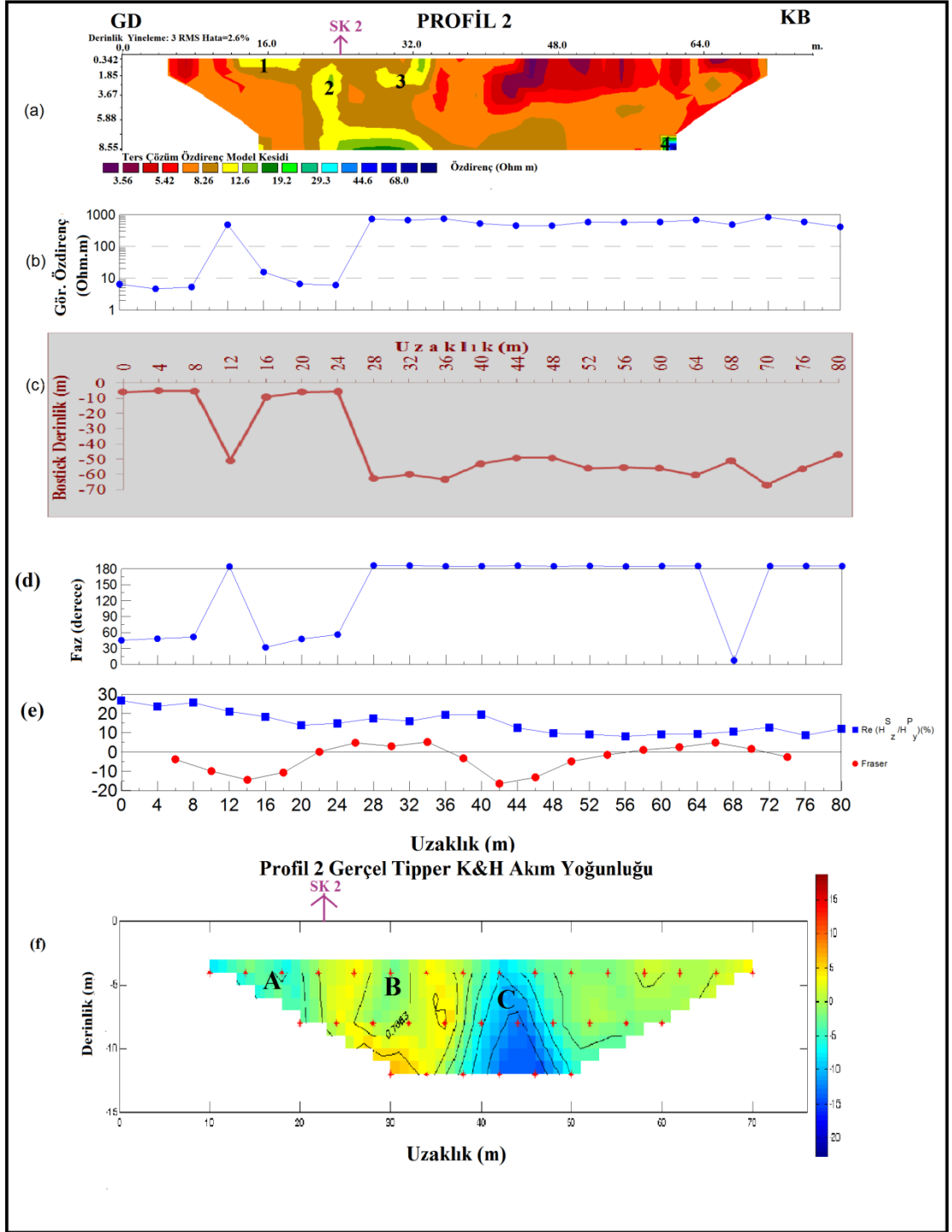


Şekil 4.10. Profil 2'de doğru akım (DC) öz direnç verilerinin a) Ölçülen görünür öz direnç andran kesidi, b) Hesaplanan görünür öz direnç andran kesidi, c) Ters çözüm sonucu elde edilen iki-boyutlu (2-B) gerçek öz direnç modeli ve d) Profil 2 civarında alınmış olan SK 2 mekanik sondaj loğu (Koçak ve Sözügüzel, 1989).

seçilen bir derinlikte yüzey pozisyonuna karşılık gelen bağıl akım yoğunluğudur (Karous ve Hjelt, 1983). Benson ve diğerlerine (1997) göre K&H akım yoğunluğunun daha düşük değerleri daha yüksek özdirenç değerlerine karşılık gelmektedir. Profil 2 boyunca 12 m uzaklıktaki VLF özdirenç anomalisi K&H gerçel tipper andıran kesitte (Şekil 4.11 f) düşük değerli negatif bölgeye (A no'lu VLF anomalisi) işaret etmektedir. Bu negatif anomali doğru akım (DC) gerçek özdirenç modelinde (Şekil 4.10 c ve 4.11 a) 12 m ile 20 m uzaklıkları arasında yer alan yüzeye yakın orta özdirençli (>15 ohm m) bölgeyle (1 no'lu DC anomalisi) örtüşmektedir. Profil 2'de K&H gerçel tipper andıran kesitinde (Şekil 4.11 f) 28 m ile 34 m uzaklıkları arasında yer alan negatif anomali bölgesi (B no'lu VLF anomalisi); doğru akım (DC) gerçek özdirenç modelinde (Şekil 4.10 c ve 4.11 a) 21 m ile 34 m uzaklıkları arasında 1.5 m derinden 3 m genişlikle başlayıp 8.55 m derinlikte 13 m genişliğe ulaşan orta özdirençli yüksek (>15 ohm m) geniş anomali bölgesiyle (2 no'lu DC anomalisi) örtüşmektedir. Profil 2 boyunca 38 m ile 52 m uzaklıklarda elde edilen K&H gerçel tipper andıran kesitte (Şekil 4.11 f) yüksek negatif değerli anomali bölgesi varlığı (C no'lu VLF anomalisi) görülmektedir. Bu yüksek özdirenç anomalisi doğru akım (DC) gerçek özdirenç modeli yeterli derinlik bilgisi sağlayamadığından belirgin değildir. K&H gerçel tipper akım yoğunluğu andıran kesidi (Şekil 4.11 f) yaklaşık olarak 12 m uzaklığı civarında pozitif geçiş (yani iletken ve yalıtkan yapı sınırını) göstermektedir. Bu ise olası bor cevherinin sınırına işaret etmektedir. 2 no'lu DC anomalisi ile çakışan K&H gerçel tipper andıran kesitindeki B no'lu VLF anomalisinin olası bor cevherinin yerini gösterdiği düşünülmektedir.

Profil 2'yi 24. m'de kesen SK-2 mekanik sondaj logu (Şekil 4.7 a ve f) gerçel K&H akım yoğunluğu kesidinin negatif geçiş yaptığı (yalıtkan ve iletken yapı sınırına) sıfır konturuna rastladığı dikkat çekmektedir.

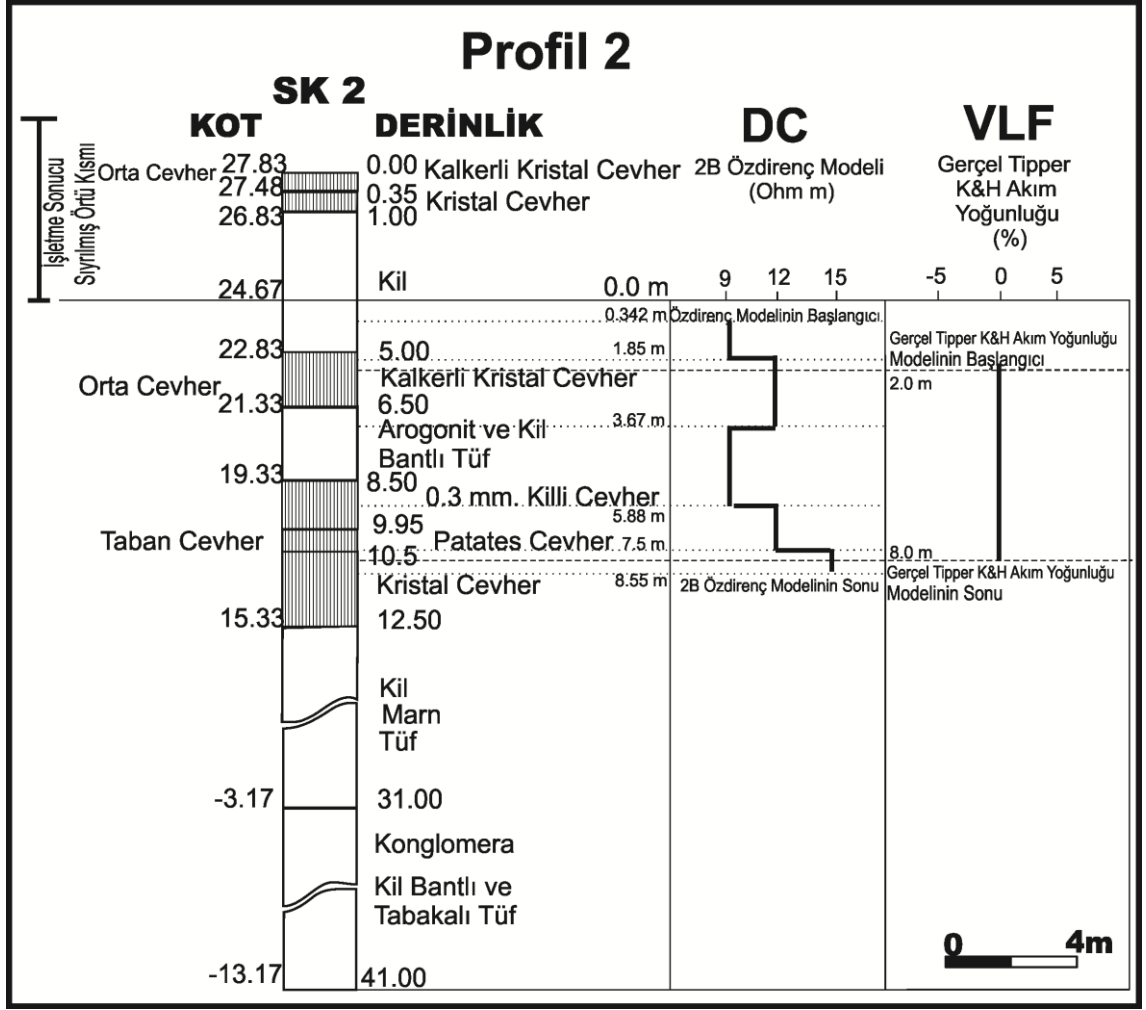
Şekil 4.11 e'de Profil 2 için gerçel tipper ve bunun Fraser filter sonuçları gösterilmektedir. VLF yönteminde gerçel tipper parametrelerinin profildeki işaret değiştirmeleri yeraltındaki iletken anomalilere işaret etmektedir (Paterson and Ronka, 1971). Fraser filtresi ise profil boyunca gerçel tipperin işaret değişim noktalarının iletkenin tam olarak yerini gösteren piklere çevirmektedir. Profil 2 boyunca gerçel tipper ve bunun Fraser filtre sonuçları belirgin anomaliler vermemiştir.



Şekil 4.11. Profil 2 de alınan doğru akım (DC) ve elektromanyetik – VLF ölçümlerinin değerlendirilmesi a) Doğru akım (DC) özdirenç verilerinin ters çözüm sonucu elde edilen iki – boyutlu (2-B) gerçek özdirenç modeli, b) VLF görünür özdirenç ( $\rho_a$ , ohm m), c) Profil 2 VLF bostick derinlikleri, d) VLF faz ( $\phi$ , derece), e) VLF gerçel tipper ile Fraser filtre sonucu ve f) VLF gerçel tipperden türetilen K&H akım yoğunluğu andıran kesidi.

Şekil 4.12’de Profil 2 için SK 2 mekanik sondaj logunun (Koçak ve Sözüğüzel, 1989); DC 2–B gerçek özdirenç modelindeki ve elektromanyetik–VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu andıran kesidindeki izdüşümü karşılaştırılmıştır. Jeoloji haritasına (Şekil 2.4) ve Profil 2 civarında yapılan mekanik sondaj loguna (SK-2, güncel kot=24.67 m) (Şekil 4.10 d) göre, Profil 2, 1.84 m ile 3.34 m derinlikleri arasında kalkerli kristal cevher (orta cevher), 5.34 m ile 6.79 m derinlikleri arasında 0.3 mm killi cevher (taban cevher), 6.79 m ile 7.34 m arasında patates cevher (taban cevher) ve 7.34 m ile 9.34 m arasında kristal cevher (taban cevher) araldanmasını kesmektedir (Koçak ve Sözüğüzel, 1989). 2–B doğru akım (DC) gerçek özdirenç modeli, SK–2 mekanik sondaj logunun 0.342 m ile 8.55 m derinlikleri arasındaki kısmını göstermektedir. Buna göre, kil bulunan katmanda özdirenç değeri ~ 9 ohm m’yi gösterirken; 1.85 m derinliğinde bulunan kalkerli kristal cevherde ~ 12 ohm m’ye çıkmaktadır. 3.67 m derinliğinde bulunan aragonit ve kil bantlı tuf tabakasında ~ 9 ohm m’ye düşmektedir. 5.88 m derinliğinde (0.3 mm killi cevher ve patates cevher) ~ 12 ohm m’ye yükselmektedir. Patates cevheri ile kristal cevher araldanmalarının sınırında bulunan 7.5 m derinliğinde özdirenç değeri ~ 15 ohm m çıkmaktadır. Profil 2’de elde edilen doğru akım (DC) 2-B gerçek özdirenç modelinde görülen yüksek özdirençli bölge (2 no’lu DC anomalisi) (Şekil 4.10 c) iletken yapılar (Gri Plaket Kil – Tuf – Marn) içerisinde görülen bor cevherine işaret ettiği düşünülmektedir.

Şekil 4.12 de VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu kesidinde, SK–2 mekanik sondaj logunun 2 m ile 8 m arasındaki derinliğini göstermektedir. Buna göre; SK–2 mekanik sondaj logu, gerçel tipper K&H akım yoğunluğu kesidinin (Şekil 4.11 f) negatif geçiş (yani yalıtkan ve iletken yapılarının sınırının) yaptığı sıfır konturunun üzerinde bulunduğu dikkati çekmektedir. Bu bir yalıtkan ortam ile iletken bir ortam (olası bor cevher ile Gri Plaket Kil – Tuf – Marn) arasındaki sınır arasındaki sınıra işaret ettiği düşünülmektedir.



Şekil 4.12. Profil 2'in civarında alınmış olan SK 2 mekanik sondaj logunun (Koçak ve Sözügüzel, 1989); DC 2-B gerçek özdirenç modelindeki ve elektromanyetik-VLF gerçel tipper K&H akım yoğunluğu andıran kesidindeki izdüşümü karşılaştırılması.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye dünya bor rezervlerinin yaklaşık %70'ine sahip ve bor yataklarından çıkarılan bor minerallerinin kaliteli ve yüksek tenörlü olmaları nedeniyle stratejik önemi büyüktür. İnceleme alanında iletken yapılar (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) içerisinde yer alan orta nispeten yüksek özdirençli bor cevheri araması yapıldığından Türkiye’de ve dünyada maden aramalarında başarılı şekilde kullanılan elektromanyetik – VLF ve doğru akım (DC) özdirenç yöntemleri tercih edilmiştir. Bu amaçla tez kapsamında Kestelek bor yatağı üzerinde iki profil boyunca elektromanyetik – VLF ve doğru akım (DC) özdirenç dipol – dipol ölçümleri alınmıştır. Elektromanyetik – VLF ve doğru akım (DC) özdirenç ölçümleri değerlendirilerek sonuçlar profil civarındaki mekanik sondaj logları ile (Şekil 4.8 ve Şekil 4.12) karşılaştırılmıştır.

Profil 1 üzerinde elde edilen doğru akım (DC) iki-boyutlu gerçek özdirenç modeli ile elektromanyetik – VLF K&H gerçel filtre parametreleri birlikte değerlendirildiğinde iletken bir ortamda (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn), özdirenci orta düzeyde (>15 ohm m) ve nispeten yüksek (>25 ohm m) bölgeler olasılıkla bor (orta ve taban) cevherine işaret etmektedir. Ayrıca bu özdirençli yapı anomalileri profil civarında daha önceden Koçak ve Sözügüzel (1989) tarafından yapılmış olan mekanik sondaj logundaki (SK-73) cevher derinlikleri ile genellikle uyum göstermektedir (Şekil 4.8). VLF özdirençlerinin Bostick derinlikleri (Şekil 4.7 c) 10 m ile 65 m arasında değişirken, DC özdirenç kesidinin (Şekil 4.7 a) maksimum derinliği 21.4 m civarındadır. Dolayısıyla, VLF yönteminde izlenen yüksek özdirençli bölgeler daha derinden gelen cevapla ilişkilidir.

Profil 2’in doğru akım (DC) iki-boyutlu gerçek özdirenç modeli ile elektromanyetik – VLF K&H gerçel filtre parametreleri birlikte değerlendirildiğinde Profil 1’e benzer şekilde iletken bir ortamda (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) özdirenci orta (>15 ohm m) ve nispeten yüksek (>25 ohm m) ve olası bor (taban) cevherine işaret eden yapı

anomalilerinin çoğunlukla örtüştüğü görülmektedir. Ayrıca bu öz dirençli yapı anomalileri Profil 2 civarında daha önce Koçak ve Sözügüzel (1989) tarafından yapılmış olan mekanik sondaj logundaki (SK-2) cevher derinlikleri ile genellikle uyum göstermektedir (Şekil 4.12). Ancak, arazi şartları nedeniyle elde edilen kısa profilli doğru akım (DC) gerçek öz direnç modelinde, elektromanyetik – VLF yöntemine göre yeterli derinlik bilgisi sağlanamamıştır. Bundan dolayı elektromanyetik – VLF K&H gerçel filtresinde görülen C no'lu VLF anomalisi (negatif akım yoğunluğu ve yüksek öz direnç anomalisi) DC 2-B gerçek öz direnç modelinde görülememiştir. VLF öz dirençlerinin bostick derinliği (Şekil 4.11 c) 10 m ile 60 m arasında değişirken, DC öz direnç kesidinde en büyük derinlik (Şekil 4.11 a) 8.55 m civarındadır. Dolayısıyla, VLF yönteminde izlenen yüksek öz dirençli bölgeler daha derinden gelen cevapla ilişkilidir.

Her iki profilde VLF K&H gerçel tipper akım yoğunluğu andıran kesidi sondaj logları ile birlikte incelendiğinde Profil 1'de SK-73 mekanik sondaj logu (Şekil 4.8), K&H gerçel tipper akım yoğunluğu kesidinin (Şekil 4.7 f) iletken (Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) yalıtkan (olası bor cevherine) pozitif geçiş yaptığı sıfır konturunun üzerinde bulunduğu dikkati çekmektedir. Profil 2'de ise SK-2 mekanik sondaj logu (Şekil 4.12), K&H gerçel tipper akım yoğunluğu kesidinin (Şekil 4.11 f) yalıtkan ortam ile iletken ortam (olası bor cevheri ile Gri Plaket Kil – Tüf – Marn) arasında bulunan sınırın üzerinde negatif geçiş yaptığı sıfır konturunun bulunduğu dikkati çekmektedir. Bu geçişler izlenerek olası cevher yerlerinin hızlı bir şekilde arazide belirlenebileceği görülmektedir. Yine her iki profilde gerçel tipper ve Fraser filtre sonucu profiller boyunca belirgin anomaliler vermemektedir.

Sonuç olarak, elektromanyetik – VLF parametreleri (görünür öz direnç ve K&H gerçel tipper akım yoğunluğu kesidi) ve doğru akım (DC) gerçek öz direnç modeli olası bor cevher yerlerinin belirlenmesinde birlikte değerlendirilebileceği görülmüştür. Profil uzunluklarının araştırma sahasının sınırlandırması nedeniyle doğru akım (DC) öz direnç ölçümlerinde (özellikle Profil 2'de) daha derindeki olası cevher anomalileri görüntülenemezken, elektromanyetik – VLF ölçümlerinde bu anomalilerinin izlerinin varlığı dikkat çekmektedir.

## KAYNAKLAR

- ABEM, 2010, *WADI VLF International Frequency List* [online], İsveç, <http://www.abem.se/products/wadi/vlf-freq.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 24 Haziran 2010].
- ARCONE, A. S., 1979, Resolution Studies in Airbone Resistivity Surveying at VLF, *Geophysics*, 44, 937 – 946.
- ATAN, O., 1981, *Devecikonağı (Bursa) Civarının Jeolojisi ve Bazı Formasyonların Sedimentolojik Özellikleri*, Yıl – Can Basımevi.
- BARKER, R. D, 1979, Signal Contribution Sections and Their Use In Resistivity Studies, *Geophysical Journal Of The Royal Astronomical Society*, 59 (1), 123 – 129.
- BARKER, R. D., 1989, Depth Of Investigation Of Collinear Symmetrical Four – Electrode Arrays, *Geophysics*, 54, 1031 – 1037.
- BAŞOKUR, A. T., 1992, Magnesia ve Meandrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsü'nde Jeofizik Araştırmalar, *T.C. Kültür Bak. Anıtlar ve Müzeler Gen. Müd. VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Bildirileri Kitabı*, 25-29 Mayıs 1992, Ankara: Ankara Basımevi, 71 – 80.
- BAŞOKUR, A. T., 2002, *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemlerin Ters-Çözümü*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Eğitim Yayınları, No: 4, ISBN 975-395-505-7, Ankara.
- BAŞOKUR, A. T., 2003, *Maden Aramalarında Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler [online]*, Ank. Üniv. Jeof. Müh., 21, Ankara (E-kitap, <http://jeofizik.ankara.edu.tr>) [Ziyaret Tarihi: 18.11.2008].
- BAŞOKUR, A. T., 2004, *Düşey Elektrik Sondajı Verilerinin Yorumu*[online], Ankara Üniv. Jeof. Müh., 11, Ankara (E-kitap, <http://jeofizik.ankara.edu.tr> ) [Ziyaret Tarihi: 18.11.2008].
- BAŞOKUR, A. T., 2007, Türev tabanlı parametre kestirim yöntemleri, *Harita Dergisi*, 138, 1-21.



- BAYKAL, E. D., 2003, *Hidrotermal ve Mikrodalga Enerjiyle, Lityum İçeren Boratlı Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- BAYRAK, M., 1993, *VLF Ölçümleri ve Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- BAYRAK, M., ve İLKIŞIK, O. M., 1995, Türkiye’de Elektromanyetik- VLF Yöntemi İle Sığ Araştırmalar, *Jeofizik*, 9 – 10, 143 – 148.
- BAYRAK, M., ZARİF, İ. H. ve A. TUĞRUL, 1996, Bir Heyelan Sahası üzerinde Elektromanyetik – VLF Ölçümler, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. – Mimarlık Fakültesi, 9. Mühendislik Sempozyumu, Jeofizik Müh. Bildirileri Kitabı*, 29 – 31 mayıs 1996, Isparta, 77 – 82.
- BAYRAK, M. ve NALBANT, S. S., 2001, Conductive Crust Imaged In Western Turkey By MT, *Geophysical Research Letters*, 28, 18, 3521 – 3524.
- BAYRAK, M., 2002, Exploration of Chrome Ore in Southwestern Turkey by VLF-EM, May, *Journal of the Balkan Geophysical Society*, Vol:5, No:2, 35 – 46.
- BAYRAKTAR, C., IŞIGANER, T., ÇETİN, A., BOZKURT, O., TAŞDEMİR, A., 1984, *Mustafakemalpaşa ve Civarının Jeolojisi*, M.T.A. Yay, Ankara.
- BAYSAL, O., 1972, *Sarıkaya (Kırka) Borat Yataklarının Mineralojik ve Jenetik İncelemesi*, Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 157s, Ankara.
- BEAMISH, D, 1994, Two – Dimensional, Regularized Inversion Of VLF Data, *Journal Of Applied Geophysics*, 32, 357 – 374.
- BEAMISH, D., 2000, Quantitative 2D VLF Data Interpretation, *Journal of Applied Geophysics*, 45, 33 – 47.
- BEARD, L. P. ve TRİPP A. C., 1995, Investigation The Resolution Of IP Arrays Using Inverse Theory, *Geophysics*, 60, 1326 – 1341.
- BENDAT, J. S. ve PERSOL, A. G., 1968, *Measurement and Analysis Of Random Data*, Wiley, New York.
- BENSON, A. K., PAYNE, K. L., STUBBEN, M. A., 1997, Mapping Groundwater Contamination Using DC Resistivity And VLF Geophysical Methods – A Case Study, *Geophysics*, 62, 80 – 86.
- BHATTACHARYA, P. K. ve PATRA, H. P., 1968, Direct Current Geoelectric Sounding, Principles And Interpretation, 135, *Elseiver*, New York.

- BİNGÖL, E., AKYÜREK, B. ve KORKMAZER, B., 1975, Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun Bazı Özellikleri, *Cumhuriyet'in 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri*, M.T.A. Enstitüsü, 70 – 77, Ankara.
- BOREN, 2010, *Bor Elementi Hakkında Genel Bilgiler* [online], Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara, <http://www.boren.gov.tr/icerik.php?id=24> [Ziyaret Tarihi: 16 Temmuz 2010].
- BROYDEN, C. G., 1965, A Class Of Methods For Solving Nonlinear Simultaneous Equations, *Mathematics Of Computation*, 19, 577 – 593.
- BURDEN, R. L., FAIRES, J. D. ve REYNOLDS, A. C., 1981, *Numerical Analysis*, Prindle, Webber and Schmidt, Boston, Massachusetts.0 – 534 – 98020 – 1.
- CAGNIARD, L., 1953, Basic Theory of The Magneto – Telluric Method of Geophysical Prospecting, *Geophysics*, 18, 605 – 635.
- CANDANSAYAR, M. E. ve BAŞOKUR, A. T., 2001, Detecting Small – Scale Targets By The 2D Inversion Of Two – Sided Three – Electrode Data, 12th EAGE Near Surface Congress, Helsinki, Finland (Expanded Abstract)
- CANDANSAYAR, M. E., 2008, Two – Dimensional Individual And Joint Inversion Of Three – And Four – Electrode Array DC Resistivity Data, *J. Geophys. Eng.*, 5, 290 – 300.
- CANITEZ, N., 1997, *Jeofizikte Modelleme*, Literatür Yay., Mecidiyeköy – İstanbul, 975 – 7860 – 64 – 6.
- CHAMBERS, J. E., WILKINSON, P. B., WELLER, A. L., MELDRUM; P. I.; OGILVY, R. D. ve CAUNT, S., 2007, Mineshaft Imaging Using Surface And Crosshole 3D Electrical Resistivity Tomography: A Case History From The East Pennine Coalfield, UK, *Journal of Applied Geophysics*, 62, 324 – 337.
- DAHLIN, T. ve ZHOU, B., 2004, A Numerical Comparison Of 2D Resistivity Imaging With 10 Electrode Arrays, *Geophys. Prospect.*, 52, 379 – 398.
- DEGROOT – HEDLİN, C. ve CONSTABLE, S. C., 1990, Occam's Inversion To Generate Smooth, Two – Dimensional Models From Magnetotelluric Data, *Geophysics*, 55, 1613 – 1624.
- DEY, A. ve MORRISON, H. F., 1979, Resistivity Modelling For Arbitrary Shaped Two – Dimensional Structures, *Geophysical Prospecting*, 27, 1020 – 1036.
- D. P. T. (DEVLET PLANLAMA TEŞKİLÂTI), 1977, *Özel İhtisas Raporu*.
- DRAHOR, M. G., SARI, C. ve ŞALK, M., 1999, Seferihisar Jeotermal Alanda Doğal Gerilim(SP) ve Gravite Çalışmaları, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1, 3, 97 – 112.

- DUR, İ., ERSÖZ, O., AKPINAR, M., KOÇAL, M., SAVAŞ, V., AKDENİZ, E., 1981, *Kestelek Kolemanit Tesis Müdürlüğü 1981 Yılı Jeofizik Etüd Raporu*, Eti Maden Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- ELLIS, R. G., FARQUHARSON, C. G. ve OLDENBURG, D. W., 1993, Approximate Inverse Mapping inversion Of The COPROD2 Data, *Geomangn. Geoelectr.*, 45, 1001 – 1002.
- ELLIS, R. G. ve OLDENBURG, D. W., 1994, Applied Geophysical Inversion, *Geophys. J. Int.*, 116, 5 -11.
- ETİ MADEN İŞLETMELERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2010, *Türkiye’de Bor Üretiminin Genel Tarihçesi* [online], ETİ Maden İşletmeleri Müdürlüğü, Ankara, [http://www.etimaden.gov.tr/tr/0\\_sayfa\\_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4\\_sayfa\\_a\\_3](http://www.etimaden.gov.tr/tr/0_sayfa_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4_sayfa_a_3) [Ziyaret Tarihi: 16 Temmuz 2010].
- EZE, C. L., MAMAH, L. I. ve ISRAEL – COOKEY, C., 2004, Very Low Electromagnetic(VLF – EM) Response From A Lead Sulphide Lode in The Abakaliki Lead/Zinc Field, Nigeria, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5, 159 – 163.
- FISHER, G., LE QUANG, B. V. ve MULLER, I., 1983, VLF Ground Surveys, A Powerful Tool For The Study Of Shallow Two Dimensional Structures, *Geophys. Prospect.*, 31, 977 – 991.
- FRASER, D.C., 1969, Contouring of VLF-EM Data, *Geophysics*, 34, 958 – 967.
- GÜRER, A., BAYRAK, M., GÜRER, Ö. F. ve ŞAHİN, S. Y., 2008, Delineation of Weathering in The Çatalca Granite Quarry with The Very Low Frequency (VLF) Electromagnetic Method, *Pure appl. geophys.*, 165, 429 – 441.
- GÜRER, A., KARAGÖZ, Ş. ve DUVARCI, E., 1991, *Etibank Kırka Boraks İşletmesi Müessesesi Sismik ve Elektrik Etüdü Raporu*, MTA Yay., Ankara.
- HELVACI, C., 1983, Türkiye Borat Yataklarının Mineralojisi, *Geo., Müh.*, 17, 37 – 54
- HELVACI, C., 1992, Mineral Assemblages and Formation of the Kestelek and Sultançayırı Borate Deposits, *Western Turkey, 29th International Geological Congress*, 24 Aug.-3 Sept., 1992, Kyoto, Japan.
- HELVACI, C., STAMATAKIS, M. G., ZAGOUROGLOU, C. ve KANARSIS, J., 1993, Borate Minerals and Related Authigenic Silicates in Northeastern Mediterranean Late Miocene Continental Basins, *Explor. Mining Geol.*, Vol 2, No 2, 171 – 178.
- HELVACI, C., 1994, Mineral Assemblages and Formation of the Kestelek and Sultançayırı, Borate Deposits, Western Turkey, *Proceedings of 29th International Geological Congress, Kyoto, Part A*, 245 – 264.

- HELVACI, C., ORTİ, F., 1998, Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite deposits (western Anatolia, Turkey), *Journal of Sedimentary Research*, 68, 1021 – 1033.
- HELVACI, C. ve ALONSO, R. N., 2000, Borate deposits of Turkey and Argentina, A Summary and Geological comparison, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9, 1 – 27.
- HELVACI, C., 2003, Türkiye Borat Yatakları-Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 5, 1, 4 – 41.
- HELVACI, C., MORDOĞAN, H., ÇOLAK, M. ve GÜNDOĞAN, İ., 2003, Presence and Distribution of Lithium in Borate Deposits and Some Recent Lake Waters of West – Central Turkey, *International Geology Review*, Vol 46, p 177 – 190.
- HELVACI, C., 2004, Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13 – 14 Mayıs 2004, İzmir ,sy 11 – 27.
- HILL, M., 2005, *Very Low Frequency (VLF) Radio Stations* [online], American Association Variable Star Observations (AAVSO), USA, <http://www.aavso.org/observing/programs/solar/vlfstati.txt> [Ziyaret Tarihi: 24 Haziran 2010].
- HUTCHINSON, P. J., BARTA, L. S., 2002, VLF Surveying To Delineate Longwall Mine Induced Fractures, *Society Of Exploration Geophysicists*, 21, 5, 491 – 493.
- İLKIŞIK, O. M., BAYRAK, M, BAŞARAN, S., BAŞOKUR, A. T. ve ULUGERGERLİ, E., 1995, Enez-Çataltepe Tümülsünde Elektromanyetik-VLF ve Elektrik Araştırmalar, *Jeofizik*, 9 – 10, 19 – 23.
- İ.T.Ü., 1982, *Etibank – Kestelek Kolemanit Arama ve Ön Değerlendirme Projesi*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Mineraloji – Maden Yatakları Kürsüsü.
- JAS, 2007, *Bursa Mustafakemalpaşa İlçesi Kestelek Köyü ETİ Maden İşletmesi Jeolojik Etüd Raporu*, Kasım, 2007, Bursa.
- KAROUS, M. and HJELT, S. E., 1983, Linear Filtering of VLF Dip Angle Measurements, *Geophysical Prospecting*, 31, 782 – 794.
- KEAREY, P. ve BROOKS, M., 2002, *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Science, Oxford, ISBN: 0 – 632 – 04929 – 4.
- KILIÇ, A. M., 2004, Bor Minerallerinin Türkiye açısından Önemi ve Gelecekteki Yeri, II. Uluslar Arası Bor Sempozyumu, 23 – 25 Eylül, 31 – 42, Eskişehir.

- KOCAEFE, S. ve ATAMAN, G., 1982, Batı Anadolu'nun Aktüel Tektoniği, *Yerbilimleri Dergisi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü Bülteni*, Sayı 9, 149 – 162, Ankara.
- KOÇAK, N. ve SÖZÜGÜZEL, H., 1989, *Kestelek Neojen Havzasının Jeolojik Etüdü*, Etibank Maden Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- KÖKSOY, M., ATAMAN, G., 1980, Güney Marmara Bölgesi Neojen Linyit Yatakları, *Yerbilimleri Dergisi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü Yayın Organı*, Sayı 5 – 6, 85 – 100, Ankara.
- LANCZOS, C., 1961, *Linear Differential Operators*, D. Van ostrand Co.
- LIU, H., LIU, J., YU C., YE, J. ve ZENG, Q., 2006, Intergrated Geological And Geophysical Exploration For Concealed Ores Beneath Cover in the Chaihulanzi Goldfield, North China, *Geophysical Prospecting*, 54, 605 – 621.
- LOKE, M. H. ve BARKER, R. D., 1996a, Rapid Least – Squares Iversio Of Apparent Resistivity Pseudosections By A Quasi – Newton Method, *Geophysical Prospecting*, 44, 131 – 152.
- LOKE, M. H., BARKER, R. D., 1996b, Practical Techniques For 3D Resistivity Surveys And Data Inversion, *Geophysical Prospecting*, 44, 499 – 523.
- LOKE, M. H., 2001, Tutorial: 2 – D and 3 – D Electrical Imaging Surveys, *Course Notes For USGS Workshop “2 – D and 3 – D Inversion And Modeling Of Surface And Borehole Resistivity Data”*, 13 – 16 March 2001, Storrs, CT.
- LOKE, M. H. ve DAHLIN, T., 2002, A Comparison Of The Gauss – Newton And Quasi – Newton Methods In Resistivity Imaging Inversion, *Journal Of Applied Geophysics*, 49, 149 – 162.
- M.T.A., 1982, *Dünyada ve Türkiye’de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeleri Bor Mineralleri*, Derleyen GÖNCÜ, N., M.T.A Yay., Sayı 187, Ankara.
- MCCAFFREY, R. J., MCELROY, W. J. ve LESLIE, A.G., 1995, Exploration Of A Lignite – Bearing Basin In Northern Ireland Using Ground Magnetic And VLF – EM Methods, *Geophysics*, 60, 2, 408 – 412.
- MCGILLIVRAY, P. R. ve OLDENBURG, D. W., 1990, Methods For Calculating Frechet Derivatives And Sensitivities For The Non – Linear Inverse Problem: A Comparative Study, *Geophysical Prospecting*, 38, 499 – 524.
- MCNEILL, J. D., 1990, Use Of Electromagnetic Methods For Groundwater Studies, in WARD, S. H. (ed.) *Geotechnical And Enviromental Geophysics*, 1, *Society of Exploration Geophysicists*, 191 – 218.

- MCNEILL, J. D. and LABSON, V. F., 1991, Geological Mapping Using VLF Radio Fields (ed. Nabighian, M.N.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, vol. 2; Application, Part B, pp. 521 – 640, SEG, Tulsa.
- MCNEW, E. R. ve ARAV, S., 1995, Surface Geophysical Surveys Of The Freshwater – Saltwater Interface In A Coastal Area Of Long Island, New York, *Groundwater*, 33, 615 – 626.
- MOON, C. J., WHATELEY, M. E. G. ve EVANS, A. M., 2006, *Introduction To Mineral Exploration*, Blackwell Publishing, Oxford, ISBN – 13: 978 – 1 – 4051 – 1317 – 5.
- OKAY, A. İ., SİYAKO, M. ve BÜRKAN, K. A., 1990, Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği (TPJD) Bülteni*, 2/1, Sy 83 – 121.
- OLDENBURG, D. W., LI, Y., 1994, Inversion Of Induced Polarization Data, *Geophysics*, 59, 1327 – 1341.
- OSKOOI, B. ve PEDERSEN, L. B., 2005, Comparison Between VLF And RMT Methods. A Combined Tool For Mapping Conductivity Changes In The Sedimentary Cover, *Journal Of Applied Geophysics*, 57, 227 – 241.
- ÖZPEKER, I., 1969, *Batı Anadolu Borat Yataklarının Mukayeseli Jenetik Etüdü*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- PAAL, G., 1965, Ore Prospecting Based VLF – Radio Signals, *Geoexploration*, 3, 139 – 147.
- PATERSON, N. R. and RONKA, V., 1971, Five years of surveying with very low frequency electromagnetics method, *Geoexplor.*, 9, 7 – 26.
- PEDERSEN, L. B., QIAN, W., DYNESIUS, L. ve ZHANG, P., 1994, An Airborne Tensor VLF System From Concept To Realization, *Geophysical Prospecting*, 42, 863 – 883.
- PEDERSEN, L. B., 2002, *Measurements with the VLF instrument*; Technical Short Note, Department of Earth Sciences, Uppsala University.
- PENROSE, R., 1954, A Generalized Inverse For Matrices, *Proc. Cambridge Phil.Soc.*, 51, 406 – 413.
- RAMALHO, E., CARVALHO, J., BARBOSA, S., SANTOS, F. A. M., 2009, Using Geophysical Methods to Characterize An Abandoned Uranium Mining Site, Portugal, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 69, Issue 1, page 14 – 33.
- REITZ, J. R. ve MILFORD, F. J., 1966, *Foundation Of Electromagnetic Theory*, Addison – Wesley Publishing, Tokyo.

- REYNOLDS, J. M., 1997, *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Pub., New York, 978 – 0471 – 968021.
- RODI, W. ve MACKIE, R. I., 2001, Non linear Conjugate Gradients Algorithm For 2 – D Magnetotelluric Inversion, *Geophysics*, 66, 174 – 187.
- ROBAIN, H., ALBOUY, Y., DUBAS, M., DESCLOITRES, M., CAMERLYNCK., C., MECHLER, P. ve TABBAGH, A., 1999, The Location of Infinite Electrodes in Pole – Pole Electrical Surveys: Consequences for 2D Imaging, *J. Appl. Geophys.*, 41, 313 – 333.
- ROY, A. ve APPARO, A., 1971, Depth Of Investigation In Direct Current Methods, *Geophysics*, 36, 943 – 959.
- SARIHAN, E., 2006, *Bor Sektörü Profili*, İstanbul Ticaret Odası, Aralık 2006, İstanbul.
- SASAKI, Y., 1989, Two – Dimensional Joint Inversion Of Magnetotelluric And Dipole – Dipole Resistivity Data, *Geophysics*, 54, 254 – 262.
- SASAKI, Y., 1992, Resolution Of Resistivity Tomography Inferred From Numerical Simulation, *Geophys. Prospect.*, 40, 453 – 464.
- SASAKI, Y., YONEDA, Y. ve MATSUO, K., 1992, Resistivity Imaging Of Controlled – Source Audio Frequency Magnetotelluric Data, *Geophysics*, 57, 952 – 955.
- SEATON, W. J. ve BURBEY, T. J., 2002, Evaluation Of Two – Dimensional Resistivity Methods In A Fractured Crystalline – Rock Terrane, *Journal Of Applied Geophysics*, 51, 21 – 41.
- SERTKAYA, G., 2007, *Kolemanit Atıklarından Biyoliç Yöntemi İle Borik Asit Eldesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı.
- SHARMA, P. V., 1997, *Environmental And Engineering Geophysics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 0521 – 57240 – 1.
- SID MONITORING STATION, 2009, *VLF Station Lists* [online], SID Monitoring Station, France, <http://sidstation.lionelloudet.homedns.org/stations-list-en.xhtml> [Ziyaret Tarihi: 24 Haziran 2010].
- SILVESTER, P. P. ve FERRARI, R. L., 1990, *Finite Elements For Electrical Engineers*, 2<sup>nd</sup> Edn., Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 0 – 521 – 37219 – 4.
- SMETER, 2010, *Very Low Frequency (VLF) Stations* [online], S – Meter Ham Radio Site, <http://www.smeter.net/stations/vlf-stations.php> [Ziyaret Tarihi: 24 Haziran 2010].

- SMITH, B. D. ve WARD, S.H., 1974, On the computation of polarization ellipse parameters, *Geophys.*, 39, 867 – 869.
- SUNDARARAJAN, N., BABU, V. R., PRASAD, N. S., SRINIVAS, Y., 2006, Short Note, VLFPROS – A Matlab Code For Processing Of VLF – EM Data, *Computer Geosciences*, 32, 1806 – 1813.
- ŞENGÖR, A. M. C., YILMAZ, Y. ve SUNGURLU, O., 1984, Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: Nature and Evolution of the Western Termination of Paleo – Tethys, *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17, 77 – 112.
- TABBAGH, A., BENDERITTER, Y. ANDRIEUX, P., DECRIAUD, J. P. and GUERIN, R., 1991, VLF Resistivity Mapping and Verticalization of the Electric Field, *Geophysical Prospecting*; 39, 8, 1083 – 1097.
- TEZKAN, B., 1999, A Review Of Environmental Applications Of Quasi – Stationary Electromagnetic Techniques, *Survey In Geophysics*, 20 , 201 – 375, 1999.
- WAIT, J. R., 1963, The Mode Theory Of VLF Radio Propagation For A Spherical Earth And Concentric Anisotropic Ionosphere, *Can. J. Of Phys.*, 41, 299 – 315, 819, 2267.
- WAIT, J. R., 1970, *Electromagnetic Waves in Stratified Media*, New York, Pergamon Press.
- WARD, S. H., 1990, Resistivity And Induced Polarization Methods, *Geotechnical And Environmental Geophysics*, 1, Soc. Explor. Geophys., Tulsa, 147 – 189.
- WATANABE, T., 1964, Geochemical Cycle And concentration of boron in the earth's crust, *V.I. Verdenskii Inst. Geochim. And Anal. Chem. U.S. S. R.* 2: 167 – 177.
- WENNER, F., 1912, a, The Four Terminal Conductor And The Thompson Bridge, *US Bureau Of Standards Bulletin*, 8, 559 – 610.
- WENNER, 1912, b, A Method Of Measuring Earth Resistivity, *US Bureau Of Standards Bulletin*, 12, 469 – 478.
- YALÇINKAYA, S., AVŞAR, Ö. P., 1980, *Mustafakemalpaşa (Bursa) ve Dolayının Jeolojisi*, M. T. A. Rapor No. 6717, M.T.A Yay., Ankara.
- ZOBU, M., 2010, *Metz Elektronik Jeofizik Cihaz Projeleri SAS – 2000 Resistivite Cihazları*, İstanbul, [http://www.metzelektronik.com/index\\_files/resistivite.htm](http://www.metzelektronik.com/index_files/resistivite.htm), [Ziyaret Tarihi: 06.07.2010]
- ZOHDY, A. A. R., 1974, Electrical Methods, In Applications Of Surface Geophysics To Groundwater Investigation, Book 2, Chapter D1, *US Department Of The Interior*, 5 – 66.



## ÖZGEÇMİŞ

2 Ekim 1985 yılında İstanbul – Üsküdar’da doğdum. İlkokula Bursa Gemlik Gazi İlköğretim Okulu’nda başladım. Kocaeli Gölcük Değirmendere Donanma İlköğretim Okulu’nda tamamladım. Ortaokula Kocaeli Gölcük Değirmendere Anadolu Lisesi’nde başladım. Bursa Gemlik Celâl Bayar Anadolu Lisesi’nden mezun oldum. 2003 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimime başladım. 2006 yılında kurum stajımı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi UDİM Araştırma Merkezi’nde yaptım. Temmuz 2007’de lisans öğrenimimi bitirdim. 2007 – 2008 eğitim yılının birinci döneminde başladığım İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında çalışmalarına devam etmekteyim.