

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARTALDERE KÖYÜ(ELAZIĞ) JEOTERMAL SAHASININ JEOFİZİK
(ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE SİSMİK) YÖNTEMLERLE İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış ATEŞ
(101116103)

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği
Programı: Uygulamalı Jeoloji

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.02.2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.04.2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG



Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Sema TETİKER

: Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN



NİSAN-2017

ÖNSÖZ

“Kartaldere Jeotermal Sahasının Jeofizik (Elektrik Özdirenç ve Sismik) Yöntemlerle İncelemesi” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) bilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanması, arazi ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkı ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarındaki değerli katlarından dolayı sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN’a, ve Anabilim dalındaki diğer saygıdeğer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca arazi ve büro çalışmalarında yanımda olan ProJeo Mühendislik eski ve yeni takım arkadaşlarıma, mesleki yaşantımda bilgi birimime katkısı olan tüm hocalarıma ve meslektaşlarıma, değerleri arkadaşım Jeofizik Yüksek Mühendisi Serdar Feyzi’ye, maddi manevi her daim yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Barış ATEŞ

ELAĞIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....	XI
SİMGELER LİSTESİ.....	XIII
KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. İnceleme Alanı Coğrafik Konumu ve Özellikleri.....	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Jeoloji.....	6
2.1.1. Guleman Ofiyolitleri (JKg).....	8
2.1.2. Hazar Grubu(KThs)	8
2.1.3. Maden Karmaşığı (Tm).....	9
2.1.4. Palu Formasyonu (Qpa)	10
2.1.5. Alüvyonlar (Qal)	10
2.1.6. İnceleme Alanının Jeolojisi.....	11
2.2. Yapısal Jeoloji.....	13
2.3. Hidrojeoloji.....	15
2.3.1. Akifer Formasyonlar	15
2.3.2. Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları	17

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Elektrik Resistivite Tomografi (ERT) Yöntemi	18
3.2. Sismik Kırılma ve İki Boyutlu Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi	25
3.2.1. Sismik Kırılma Yöntemi Tomografi	26
3.2.2. İki Boyutlu Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi	31
3.3. Arazi Çalışmaları	40
3.2.1. Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Yöntemi Veri Alımı	40
4.1.2. Sismik Kırılma Tomografi ve İki Boyutlu Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi Veri Alımı	43
4. BULGULAR	46
4.1. Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Yöntemi Veri İşlemleri ve Bulgular	46
4.2. Sismik Kırılma Tomografi ve İki Boyutlu Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi Veri İşlemleri ve Bulgular	56
5. SONUÇLAR.....	63
6. KAYNAKLAR.....	66
7. ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARTALDERE JEOTERMAL SAHASININ JEOFİZİK (ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE SİSMİK) YÖNTEMLERLE İNCELEMESİ

Barış ATEŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2017

Kartaldere jeotermal sahasının jeofizik (elektrik öz direnç ve sismik) yöntemlerle incelemesini konu alan bu çalışmanın amacı, Kartaldere köyünün (Elazığ) kuş uçuşu 2.5 km güney batısından bulunan yüzeye kaynak olarak ulaşan, yaklaşık 24 C⁰ sıcaklığa sahip sıcak ve mineralli suyun yüzeye ulaşana kadar izlediği yolun yüzeyden itibaren yaklaşık ilk 100 m'sini jeofizik yöntemlerle incelenip jeolojik ve hidrojeolojik olarak yorumlanmasıdır. Bu kapsamda sahada gözlemsel olarak kaynak çıkış noktası, oluşum koşulları, sahadaki jeolojik birimler incelenmiş bu bilgiler ışığında sahada yapılacak jeofizik araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde saha incelemelerinde yaklaşık 270 m mesafede Doğu-batı uzanımlı iki noktada kaynaklar tespit edilmiştir. Bu kaynak çıkış noktalarında karbonat çökellerinin oluşturduğu traverten oluşukları gözlenmiştir. Saha incelemelerinde gözlenen mineralli su çıkışlarından sahanın batı kesiminde olan Kaynak-1, sahanın doğusunda gözlenen ise Kaynak-2 olarak isimlendirilmiştir. Kaynak nokta koordinatları Jeoloji Haritası (MTA-K42-K43 paftalarının) üzerine işaretlenerek, kaynak çıkış noktasının yakın çevresindeki formasyonlar ve fay sistemleri irdelenmiştir.

Kaynak-1 çıkış lokasyonunun kuzeyinde, Halosen yaşlı alüvyon yelpazesi, taraça (Q₂); tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil birimlerinin olduğu, kaynak-1 çıkış lokasyonunun kuzeyinde ise; Plio-Kuvaterner yaşlı Palu formasyonuna ait çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşları litolojileri bulunmaktadır. Kaynak noktaların Doğu Anadolu fay zonunun ana kolu üzerinde olduğu ve aynı zamanda fay zonu'nun iki formasyonun dokanağını oturşturduğu tespit edilmiştir. Bu iki formasyonunun sahada gözlenen litolojileri sahada yapılan jeofizik çalışmalarla tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda sahada Kaynak-1 noktasında, Doğu Anadolu fay zonunu yaklaşık olarak dik kesecek şekilde bir birine paralel 3 profilde elektrik öz direnç tomografi, 1 profilde sismik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak-2 noktasında ise 1 profilde sismik ölçüm alınmıştır.

Sahada toplanan jeofizik veriler çeşitli veri işlem teknikleri değerlendirildikten sonra elde edilen fiziksel değerler jeolojik olarak yorumlanmış ve sahada bulunan formasyonlar da gözlenen litolojiler saptanmaya çalışılmıştır. Alüvyon yelpazesinde; çakıllı-kumlu killi birimler olduğu, Palu formasyonunun da ise yüzeye yakın kesimlerde kumlu killi birimler, derinlerde kumtaşı birimi olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanında gözlenen formasyonlar ve olası litolojileri incelenmiş bunlardan soğuksu akiferlerinin Alüvyon Yelpazesi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde kaynakları Doğu Anadolu fay zonuna bağlı olarak gelişmiş olduğu ancak, kaynağın bulunduğu kesimlerdeki soğuk su akiferlerinde bulunan soğuk suların kaynağa karışıp soğumasını hızlandırarak çıkış noktasında çökel oluşturduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, Kartaldere Köyü, Hidrojeoloji, Jeofizik, Sıcak ve Mineralli Sular, Jeotermal, Çok Elektrotlu Rezistivite, Sismik tomografi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE GEOTHERMAL AREA OF KARTALDERE BY GEOPHYSICS (RESISTIVITY AND SEISMIC) METHODS

Bariş ATEŞ

Fırat University Institute of Science

Department of Geological Engineering

2017

The aim of this study investigate geologic and hydrogeological interpretation of Kartaldere Geothermal Area that hot and mineral water with a temperature of about 24 C0 reaching the surface of the first 100 m from the surface of the way reaching to the surface with geophysics methods located at 2.5 km Southwest as the crow flies of Kartaldere Village. In this scope, spring exit point, formation conditions and geological units were investigated observationally and geophysical surveys performed. Two springs were detected at about 270 m in east-west direction in the study area and its close environment. Travertine formations were observed consisting of carbonate sediments at these springs exit points. From the mineral water springs that observed in field investigations called as Spring-1, which is in the western part of the field and Spring-2, which is observed in the east of the field. The hot and mineral water spring point coordinates that detected on the field marked on the Geological Map (MTA-K42-K43 sheets) and spring exit point and close environment formations and fault systems have been semtinized.

It has been determined that Holocene alluvial fan, Terrace (Q2); unconsolidated gravel, sand, silt and clay units at the north of the Spring-1 exit location. It is determined at the north of the Spring-1 exit location; The lithologies on the side of Murat River are braided stream assumed to be Pleistocene age and the Palu formation (Qpa), which is composed of alluvial fan deposits, is farther away from the rivers. It has been determined that the Spring points are located on the main line of the East Anatolian Fault Zone and it formed contact of two formations at the same time. These two formations and lithological units observed in the study area have been tried to be determined by geophysical surveys. For that purpose, Electrode resistivity tomography measurements were performed with three electrodes at the

Spring-1 point, seismic refraction measurements were performed at 1 profile as perpendicular to the East Anatolian Fault Zone. Seismic refraction measurements were performed at 1 profile at the Spring-2 point.

Obtained values interpreted as geologically and tried to detect lithology in the field after applying various data processing techniques. It is thought that sandstone unit belonging to the Palu formation (Qpa) which is supposed to be composed of the alluvium fan deposits. The units observed in the field were investigated and they were identified as Allogeneic fan of cold aquifer units. The results of the studies show that the springs were developed depending on the East Anatolian Fault Zone, however it is thought that cold water contained in cold water aquifers mixes with the spring and accelerates the cooling, which leads to have formed sediments at the exit point.

Keywords: Elazığ, Kartaldere Village, Hydrogeology, Geophysics, Hot and Mineral Waters, Geothermal, Multi-Electrode Resistivity, Seismic tomograph.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.	2
Şekil 2.1. İnceleme alanı genel jeoloji haritası 1/100 000 ölçekli MTA jeoloji haritası.....	7
Şekil 2.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi jeoloji haritası 1/100 000 ölçekli MTA Jeoloji haritası	12
Şekil 2.3. İnceleme alanı 1/250 000 ölçekli Diri Fay haritası(Elazığ NJ37-7, MTA-2012)	14
Şekil 2.4. İnceleme Alanı Diri Fay haritası (yerbilimler.mta.gov.tr)	15
Şekil 3.1. Yarı sonsuz homojen ortamda akım ve potansiyel çizgilerinin dağılımı (Stummer, 2003; Van Nostran ve Cook, 1966).	19
Şekil 3.2 a) Wenner, b) Wenner-Schlumberger, c) dipol-dipol, d) pol-pol ve e) pol-dipol dizilimlerinde kullanılan elektrotların yüzeydeki dağılımı ve dizilimlere ait geometrik faktör (k) hesabı (Berge, 2011).	20
Şekil 3.3 Basitleştirilmiş Wenner-Schlumberger dizilim şeması ve k dizilim katsayısı	21
Şekil 3.4-a) Çok elektrotlu elektrik resistivite verisinin Wenner dizilimine göre toplanması, b) 3-boyutlu çalışmalar için serilim geometrisi (Griffiths ve Barker, 1993).....	23
Şekil 3.5 Sismik dalgaların yeraltında ilerleme görüntüsü(Ortan,2015).....	26
Şekil 3.6. Sismik Kırılma dalgalarının yer içindeki yayılımı ve zaman-uzaklık grafiği	26
Şekil 3.7. P dalgasının yayılım doğrultusu ve partikül hareketi (Allen, 2007).	27
Şekil 3.8. S dalgasının yayılım doğrultusu ve partikül hareketi (Allen, 2007)	27
Şekil 3.9. Kırılan dalganın yayılım geometrisi (Dobrin ve Savit, 1976).....	28
Şekil 3.10. Kırılan ve kritik açıyla kırılan sismik dalganın ışın geometrisi (Allen, 2007) .	29
Şekil 3.11. Sismik dalganın yer içinde izlediği yol (Uyanık, 2002)	29
Şekil 3.12. Doğrudan, yansıyan ve kırılarak gelen dalgaların uzaklık– zaman grafiği (Uyanık, 2002).....	30
Şekil 3.13. Sismik kırılma çalışmalarından elde edilen P dalgası hız değişim kesiti (Ateş vd, 2016).....	30
Şekil 3.14. Love ve Rayleigh dalgalarının ilerleme şeklini gösteren görüntü (Bolt, 1976)	31
Şekil 3.15. Homojen yarı sonsuz ortamda Rayleigh dalgasının retrograde ve prograde hareketi (Ortan,2015).....	31

Şekil 3.16 Yüzey Dalgasının Çok-Kanallı Analizi (MASW) yönteminin veri toplama uygulaması gösterimi (MASW, b.t).	33
Şekil 3.17. Faz hızı hesabı (Hayashi, 2003)	34
Şekil 3.18 Homojen ortamda faz hızı sabit (A), derinlikle homojen ortamda faz hızının dalga boyuyla değişimi (B) (Socco ve Strobbia, 2004)	35
Şekil 3.19 Farklı frekans ve fazlı iki harmonik eğrinin toplamından oluşan dalga treni. (Strobbia, 2002).....	36
Şekil 3.20 Örnek MASW kayıt görüntüsü	37
Şekil 3.21 Örnek dispersiyon eğrisi grafiği (Park ve Miller, 2005).....	37
Şekil 3.22 a)1B Masw ters çözüm akışı, b) 2B Masw ters çözüm akışı (Çatlıoğlu,2015)..	38
Şekil 3.23 İki boyutlu MASW hız dağılım kesiti (Park ve Miller, 2005).	39
Şekil 3.24. Çok elektrotlu rezistivite ölçüm lokasyon planı.....	41
Şekil 3.25. Sahada uygulanan Wenner elektrot dizilim geometrisi.	43
Şekil 3.26. Sismik çalışmalar lokasyon planı.....	44
Şekil 4.1. a- Ert-1 profili uydu görüntüsü, b- Ert-1 profili modellenmiş elektrik öz direnç yapı kesiti, c- Ert-1 yorumlanmış elektrik öz direnç yapı kesiti.....	47
Şekil 4.2. a- Ert-2 profili uydu görüntüsü, b- Ert-2 profili modellenmiş elektrik öz direnç yapı kesiti, c- Ert-2 yorumlanmış elektrik öz direnç yapı kesiti.....	49
Şekil 4.3. a- Ert-3 profili uydu görüntüsü, b- Ert-3 profili modellenmiş elektrik öz direnç yapı kesiti, c- Ert-3 yorumlanmış elektrik öz direnç yapı kesiti.....	51
Şekil 4.4. Kanak-1 çevresi 3-boyutlu elektrik öz direnç blok diyagram görünüşleri.	53
Şekil 4.5. Alüvyon yelpazesi formasyonu gösteren elektrik öz direnç blok diyagramı	55
Şekil 4.6. a- Sis-1 profili uydu görüntüsü, b- Sis-1 profili modellenmiş P dalgası hız kesiti, c- Sis-1 profili yorumlanmış P dalgası hız kesiti.....	57
Şekil 4.10. a- Sis-1 profili uydu görüntüsü, b- Sis-1 profili modellenmiş S dalgası hız kesiti, c- Sis-1 profili yorumlanmış S dalgası hız kesiti.....	58
Şekil 4.8. a- Sis-2 profili uydu görüntüsü, b- Sis-2 profili modellenmiş P dalgası hız kesiti, c- Sis-2 profili yorumlanmış P dalgası hız kesiti.....	60
Şekil 4.9. a- Sis-2 profili uydu görüntüsü, b- Sis-2 profili modellenmiş S dalgası hız kesiti, c- Sis-2 profili yorumlanmış S dalgası hız kesiti.....	62

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Sayfa No

Foto 4.1. Çalışmalarda kullanılan çok elektrotlu rezistivite cihaz (Metz Eletronik)	42
Foto 4.2. Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Çalışmalarından görünüm. Ert-2 lokasyonu bakış yönü KB	42
Foto 4.3. Sismik çalışmalar Kullanılan Mühendislik Sismmetresi	45
Foto 4.4. Sistmg-1 lokasyonu ölçü alımından görünümü, a-) Bakış yönü GB, b-) Bakış yönü KD	45



SİMGELER

Ca	:Kalsiyum
HCO₃	:Bikarbonat
K	:Potasyum
Mg	:Magnezyum
Na	:Sodyum
c	: Dalganın faz hızı
E	: Elastisite modülü
E1	: Elektrik alan
f	: Frekans
h	: Yükseklik
Hz	: Hertz
I	: Akım
J	: Akım yoğunluğu
K	:Geometrik faktör
k	: Dalga sayısı
Rp	: Dalganın kırılma açısı
SH	: S dalgasının yatay bileşeni
SV	: S dalgasının düşey bileşeni
t	: Zaman
T	: Periyot
VSP	: Düşey sismik profil
Vp	: P (boyuna) dalga hızı
Vs	: S (kayma) dalga hızı
Vr	: Rayleigh dalga hızı
Z	: Derinlik
W	: Su muhtevası
μ	: Sıkışmazlık (bulk) modülü
ω	: Açısal frekans
σ	: Poisson oranı
ρ	: Özdirenç
λ	: Lamé Sabiti, Dalga Boyu
ΔV	: Ölçülen potansiyel fark

KISALTMALAR

DSİ	:Devlet Su İşleri
DAFS	:Doğu Anadolu Fay Sistemi
MTA	:Maden Teknik Arama
pH	:Hidrojen iyonu konsantrasyonu
°C	:Santigrat derece
ERT	:Elektrik Özdirenç Tomografi
SİS	:Sismik Ölçümler

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı son zamanlarda tüm dünya ülkelerinin başlıca sorunudur. Nüfusun hızla artması, sanayinin ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte açığa çıkan enerji ihtiyacı insanoğlunu yeni enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Kömür, petrol gibi fosil enerji kaynaklarının ilerideki yüzyıllarda tükenme olasılığı vardır. Bu bakımdan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu amaçla son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmış ve araştırılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de jeotermal enerjidir. Yerkürenin farklı derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı 20°C den fazla olan ve çevresindeki yeraltı sularına göre daha fazla mineral, gaz ve tuz içeren sıcak su ve buharın yeryüzüne çıkarılarak kullanılması jeotermal enerji olarak tanımlanır (Eroğlu, 2008). Jeotermal enerjinin fosil enerji kaynaklarına göre birçok avantajı vardır. Jeotermal enerji ekonomik, temiz, yenilenebilen, yerli, dışa bağımlılığı olmayan bir enerji kaynağıdır. Bu özelliklerinden dolayı dünyada ve ülkemizde kullanım alanları oldukça gelişmiştir. Jeotermal enerjinin kullanım alanları yaygın olarak elektrik üretimi, ısıtma (sera, konut, hayvan çiftlikleri), endüstriyel uygulamalar ve kaplıca tedavileridir.

Bir jeotermal alanın oluşabilmesi için ısı kaynağı, gözenekli bir hazne kaya, geçirimsiz örtü kaya ve yeterli su beslenmesi gerekmektedir. Jeotermal akışkan içeren hazne kaya ve onu çevreleyen ortam jeofizik yöntemlerle kolayca algılanıp haritalanabilecek fizikî özelliklere sahiptir. Jeotermal alanların en çarpıcı özelliği çevrelerine göre yoğun sıcak ortam içermeleridir, bu nedenle ısının kayaların fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen jeofizik yöntemler arama faaliyetlerinin temelini oluşturmaktadır (Şener vd., 1986).

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, Elazığ İli Maden İlçesi Kartaldere Köyü sınırları içerisinde, yüzeye kaynak olarak ulaşan yaklaşık 24°C sıcaklığa sahip sıcak ve mineralli suyun yüzeye ulaşana kadar izlediği yolun yüzeyden itibaren yaklaşık ilk 100 m'sini jeofizik yöntemlerle incelenip jeolojik ve hidrojeolojik olarak yorumlanmasıdır. Bu kapsamda saha gözlemsel olarak kaynak çıkış noktası, oluşum koşulları, sahadaki jeolojik birimler incelenmiş bu bilgiler ışığında sahada yapılacak jeofizik çalışmalar yapılmış, jeofizik çalışmalardan elde edilen fiziksel bulgular jeolojik ve hidrojeolojik olarak yorumlanarak kaynak noktalarının geometrileri incelenmiştir.

1.2. İnceleme Alanı Coğrafi Konumu ve Özellikleri

Çalışma alanı Elazığ İli Maden İlçesi Kartaldere Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Kartaldere Köyü bağlı bulunduğu ilçe olan Maden 'e 36 km mesafededir. İnceleme alanı Elazığ il merkezinin güneydoğusunda ve 65 km uzağında 38.5474-38.5527 enlemleri, 39.586639.5944 boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı ve çevresinde farklı araştırmacılar tarafından yapılmış, bölgenin genel jeoloji, tektoniği, sedimantolojisi ve hidrojeolojik özelliklerinin incelendiği bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda kısaca verilmiştir.

Rigo de Righi ve Cortesini (1964) Maden yöresindeki yaptıkları çalışmalarda, Hazar Grubunu; Geç Kretase-Paleosen yaşta fliş türü çok kalın kumtaşı ve şeyllerden oluşan birimler ve onun üzerinde bulunan Paleosen-Eosen yaşlı bazik lavlar, kireçtaşları, marnlar ve kırmızı kireçtaşlarından oluşan birimleri ise Maden Birimi tanımlanmıştır.

Özkaya (1975, 1978 ve 1982), Guleman-Maden-Ergani yöresindeki çalışmalarında Guleman Grubu'nu "Guleman Ultrabazikleri ve Serpantinitle" olarak adlandırmış ve Jura-Kretase yaşını vermiştir. Aynı bölgedeki fliş niteliğindeki Simaki Formasyonu'nu Hazar Grubu'na dahil etmiştir.

Hempton v.d. (1983), Hazar Gölü civarında yaptıkları çalışmada; Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan gölün doğrultu atımlı faylar üzerinde gelişen bir çek-ayır havza olduğu fikrini ileri sürmüşlerdir.

Özkan (1983, 1984 ve 1985), Guleman Grubu ofiyolitlerinin metamorfizma koşullarını ve yapısal özelliklerini inceleyen araştırmacı, ofiyolit yüksek olmayan basınç ve düşük sıcaklıklarda metamorfizmaya uğradığını kabul etmektedir. Araştırmacı, metamorfizmanın, ofiyolit Üst Kretase'deki yerleşmesi ve Miyosen'deki aktarılması sırasında gelişmiş olabileceğini savunmuştur.

Çetindağ (1985), Elazığ-Kovancılar-Palu civarlarının hidrojeolojisini incelediği çalışmada, Kırkgeçit, Karabakır formasyonlarının su taşıdığını ve bunların diğer formasyonlarla dokanaklarında küçük debili kaynakların oluştuğunu belirtmiştir.

Çetindağ (1989), "Elazığ Ören Çay Havzası'nın Hidrojeolojik İncelemesi" konulu doktora tez çalışmada yaklaşık 350 km² 'lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve inceleme alanında bulunan kaynak, adi kuyu ve sondaj kuyularının besleme, köken ve fiziko-kimyasal özelliklerini açıklamıştır.

Kaya (1992), Gezin çevresinde yaptığı çalışmada Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti oluşturduğunu bunların üzerinde açılı uyumsuzlukla bulunan Maastrichtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu'nun alttan üste doğru; kırmızı çakıltaşlarıyla temsil olunan Ceffan

Formasyonu, fliş özelliğindeki Simaki Formasyonu ve kireçtaşlarından oluşan Gehroz Formasyonu olmak üzere üç formasyondan meydana geldiğini belirtmiştir. Çalışma alanının içinden geçen doğrultu atımlı sol yönlü Doğu Anadolu Fayı'nın burada yaklaşık 5-6 km genişliğinde bir zon şeklinde olduğunu belirtmiştir.

Gürocak (1993), Sivrice çevresinde yaptığı incelemede, bölgede Pütürge Metamorfikleri, Yüksekova Karmaşığı, Simaki Formasyonu, Maden Karmaşığı, Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ve güncel alüvyonların yüzeyleme verdiklerini, bölgedeki kırıklı yapıların ise Doğu Anadolu Fayı ve gravite fayları olduğunu belirtmiştir.

Çetindağ (1996), Haringet Havzası'nda yapmış olduğu çalışmada havzadaki yeraltı sularının kökenini, fiziko-kimyasal karakterlerini ve yan kayaçlarla ilişkilerini araştırmıştır. Kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ olduğunu, incelenen suların Schoeller' in içilebilme diyagramına göre; 1. ve 2. kalite devamlı içilebilen sular bölgesinde gruplandıklarını belirtmiştir.

Öztekin (1998), Elazığ ili içme ve kullanma suları üzerinde yapmış olduğu çalışmasında bölgede su taşıyan formasyonların Keban Metamorfikleri, Elazığ Magmatikleri, Seske Formasyonu, Kırkgeçit Formasyonu, Pliyosen çakıltıtaşları ile silt ve kumtaşları olduğunu belirtmiştir. Yazar, çalışmasında bu birimlerden beslenen sularda baskın iyonların Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3 olduğunu magmatik kayaçlardan beslenen suların mineralizasyonunun sedimanter kayaçlardan beslenenlere oranla daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Çetindağ ve Öztekin Okan (2004), Uluova akiferleri üzerinde yapmış oldukları hidrojeoloji çalışmasında, Elazığ İl merkezinin güneydoğusundaki Uluova'da serbest akiferde; Na-Cl ve Na- HCO_3 fasiyesi, basınçlı akiferlerde ise Ca – HCO_3 , Mg - HCO_3 ve Na - HCO_3 fasiyeslerinin geliştiğini ve ovada Hazar Gölü suyu ile sulama yapılmasından kaynaklanan Na kirliliğinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

Aksoy v.d. (2007), “Hazar Gölü Havzası: Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS' nin), SE Türkiye, Negatif Çiçek Yapısı” başlıklı çalışmalarında; Doğu Anadolu Fay Sistemi ve bölgenin tetonizması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Doğu Anadolu Fay Sisteminin (DAFS) kuzeybatıda Anadolu ve güneydoğuda Arap-Afrika levhaları arasında yer alan, ortalama 30 km genişlikte, 700 km uzunlukta ve KD-gidişli, sol yanal doğrultu atımlı

büyük bir makaslama kuşağı olduğu, DAFS kuzeydoğuda Karlıova ilçesi ile güneybatıda Karataş (Adana)–Samandağ (Antakya) arasında yer aldığı, Hazar Gölü bölgesinde, DAFS’ın beş fay kuşağından oluştuğu ve bunların kuzeyden güneye doğru Elazığ, Uluova, Sivrice, Adıyaman ve Lice-Çermik fay kuşakları olduğu belirtilmiştir.

Yiğit E. (2016), Gezin(Elazığ) çevresinde yaptığı çalışmasında bölgedeki kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların HCO^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ olduğunu, incelenen suların Sholler’in içilebilme diyagramına göre; 1. ve 2. kalite devamlı içilebilen sular bölgesinde gruplandıklarını belirtmiştir.

2.1. Jeoloji

İnceleme alanının içerisine alan 1/100 000 lekli MTA DAF Boyu Jeoloji Haritası (K42-K43 paftalarının) alışma alanını kapsayan kısmı üzerine inceleme alanı ve kaynağın çıkış noktası koordinatlı olarak işaretlenip şekil 2.1. de verilmiştir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan formasyonlar hakkında zet bilgiler aşağıda konu başlıkları halinde sunulmuştur.



2.1.1. Guleman Ofiyolitleri (JKg)

Birimi; Sungurlu (1974), Çüngüş - Maden – Hazar civarında “Guleman ultramafikleri”; Açıkbaz ve Baştuğ (1975), Cacaş-Hani yöresinde “Şimşin Karmaşığı”; Özkaya (1978), Maden – Ergani - Guleman yöresinde “Bahro ultrabazikleri ve serpantinileri”; Erdoğan (1982), Aktaş ve Robertson (1984), Bingöl (1984, 1986) ile Perinçek (1979) “Guleman Grubu”; Özkan (1982), “Guleman ofiyoliti” olarak adlandırmışlardır (Kaya, 1992). Birim en yaygın olarak, Elazığ ilinin 50 km güneydoğusunda, Guleman civarında gözlenmektedir.

Çalışma alanında birim Hazar Gölünün doğusunda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF) içerisindeki Tembel Tepe çevresinde ayrıca çalışma alanının kuzeydoğusunda Küçükova ve Yeşilova köyleri yakın çevresinde yüzeylenmektedir. Küçükova ve Yeşilova köyü çevresinde Guleman Grubu’nu diskordansla Maden Karmaşığı’na ait birimler örtmektedir (Kaya, 1992).

Çalışma alanında Doğu Anadolu Fay Zonu içerisindeki ve yakın çevresinde Guleman Ofiyolitleri, tektonizmadan dolayı serpantinleşmiş, killeşmiştir. Özellikle çalışma alanı içerisinde bulunan Tembel Tepe’de yüzeyleyen Guleman Ofiyolitleri dünit, verlit, piroksenit, olivinli, klinopiroksenli gabro, bantlı gabro, lertzolit ve gabroları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır. İnceleme alanında birimin yaşı Üst Jura-Alt Kretase olarak kabul edilmiştir (Kaya,1992).

2.1.2. Hazar Grubu(KThs)

Birim ilk defa “Hazar Birimi” olarak Rigo De Righi ve Cortesini (1964) tarafından adlandırılmıştır. Özkaya (1978), Ergani-Maden yöresinde yaptığı çalışmada, gri renkli, volkanik katkılardan yoksun fliş özelliğindeki kumtaşı-şeyl-marn aralanmasından oluşan istifi “Hazar Formasyonu” olarak adlandırıp Baykan Grubu’na dahil etmiştir. Sungurlu (1975), birimi grup seviyesinde ele alıp inceleyerek; alttan üste doğru Simaki Formasyonu, onun yanal devamı niteliğindeki Şebgen Formasyonu ve en üstte de Gehroz Formasyonu olmaz üzere Hazar Grubu’nu üç formasyona ayırmıştır.

Perinçek (1979a, 1979b) ve Tuna (1979), birimi “Hazar Karmaşığı” olarak adlandırmışlardır. Aktaş ve Robertson (1984), ise birimi “Hazar Grubu” olarak isimlendirmişler ve grubu alttan üste doğru konglomeratik özellikteki Cefan Formasyonu, kumtaşı-şeyl-marn aralanmasından oluşan fliş özelliğindeki Simaki Formasyonu ve pembe gri renkli pelajik kireçtaşlarından oluşan Gehroz Formasyonu olmak üzere üç

formasyona ayırmışlardır. Hazar Grubu'nun en iyi görüldüğü yer, Elazığ ilinin yaklaşık 25 km güneydoğusundaki Hazar Gölü'nün kuzeyi ve kuzeydoğusudur. Ayrıca Palu ve Arıcak arasındaki bölgede de geniş bir yayılım sunmaktadır. Hazar Grubu inceleme alanında Gezin'in batı girişi ile Plajköy köyünün doğu ve güneyinde geniş bir yayılıma sahiptir.

Bölgede çalışma yapan araştırmacıların Hazar Grubu için verdikleri Maestrihtyen-Alt Eosen yaşı bu çalışmada da benimsenmiştir (Kaya, 1992).

2.1.3. Maden Karmaşığı (Tm)

Birim ilk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964), tarafından "Maden Birimi" olarak adlandırılmıştır. Özkaya (1972), birimi "Sason-Baykan Grubu" olarak tanımlarken, Sungurlu (1974) ve Baştuğ ve Açıkbaş (1974), aynı birim için "Baykan Karmaşığı" ismini kullanmışlardır. Erdoğan (1977, 1982) "Maden Grubu" olarak tanımlarken, Özkaya (1978) Maden civarında yaptığı çalışmada, birimi Baykan Karmaşığı'na dâhil etmiş ve alttan üste doğru Hazar, Gehroz, Maden ve Davudan Formasyonlarına ayırmıştır.

Perinçek (1979b) tarafından "Maden Karmaşığı" olarak tarafından adlandırılmıştır. Perinçek (1979b) ve Sungurlu ve diğ. (1985) birim alttan üste doğru Cefan, Arbo, Melefan ve Karadere formasyonlarına ayırmışlardır.

Çalışma alanında Maden Karmaşığı'na ait birimler, Hazar Gölü doğusunda Doğu Anadolu Fay Zonu içerisindeki Konkuran Tepe'de yüzeyleme vermektedir. Birim, sedimanter kayalar içerisinde gözlenen volkanitlerden dolayı karışık bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada da birim Maden Karmaşığı olarak adlandırılmıştır (Kaya, 1992). Maden Karmaşığı çalışma alanında bazalt, andezit, kırmızı-pembe, gri renkli kireçtaşı, volkanik ara katkılı yeşil-gri-kırmızı renkli şeyl ve kumtaşlarından oluşmaktadır.

Bölgede çalışmış bütün araştırmacılar (Özkan, 1982; Kaya, 1992) tarafından fosil bulgularına dayanılarak verilen Orta Eosen yaşı bu çalışmada da benimsenmiştir (Özkan, 1982).

2.1.4. Palu Formasyonu (Qpa)

Kaba kumtaşı ve çakıltası ile temsil edilen birim ilk olarak Çetindağ(1985) tarafından Kovancılar-Palu karayolu üzerinde tespit edilmiş ve adlandırılmıştır.

Bu formasyonun yaşı;

a) Seyidili köyü, Palunun kuzeyinde kendisinden daha yaşlı (Üst Kretase yaşında ofiyolit karmaşığın üzerine,

b) Kasar tepe ve doğusunda kendisinden daha yaşlı (Eosen-Oligosen yaşında) Kırkgeçit formasyonu üzerine,

c) Seyidili KD sunda yine kendisinden daha yaşlı(Miyosen yaşında) Alibonca formasyonu üzerine, transgresif halde aşıl uyumsuzlukla gelmesi ve bunları örtmesi, bu formasyonlardan geç olduğuna, ayrıca çimentolanmamış olması ve malzemesini bu formasyonlardan almış olması; bu formasyonun yaşının en azından Plio-Kuvaterner olabileceği düşündürmektedir (Çetindağ,1985).

Palu-Gözeli arasında yüzeylenen birimin tip kesit yeri Palu'nun yakın kuzeyindeki çakıl ocaklarıdır. Birim, birim çakıltalarının genellikle kırmızımsı açık kahve renkli kumtaşı düzeylerini kapsar. Çakılların taşınma yönü günümüz Murat nehrinin akışına uygun olup nehrin kenarında seki çökelleri şeklindedir. Formasyon, altta Karabakır, Hacımekke formasyonları ile diğer daha yaşlı birimlerin üzerinde aşıl uyumsuz olarak gelir, kalınlığı 20-70 m olup batıya doğru giderek incilir ve merceklenir (MTA,2008).

2.1.5. Alüvyonlar (Qal)

İnceleme alanında Pliyo-Kuvaterner yaşlı ve güncel olmak üzere iki tür alüvyon birim vardır. Pliyo -Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, inceleme alanında özellikle tektonizmanın yoğun olduğu Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde, Kızıltepe köyünün kuzeydoğusu ile güneyindeki bölgede, Hatunköy'ün kuzeyi ve güneyindeki alanlarda geniş bir yayılım gösterir.

Birim daha yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Kötü boylanmalı çakıl, kum, kil ve silt ile temsil olunan birimde taneler gevşek tutturulmuştur. Tabaklanmanın az belirgin olduğu bu alüvyonların duruşu yataydır. Alüvyonlar içerisinde birime yaş verecek fosile rastlanmamıştır. Ancak bulundukları stratigrafik konuma dayanarak bunlara Pliyo-Kuvaterner yaşı verilmiştir.

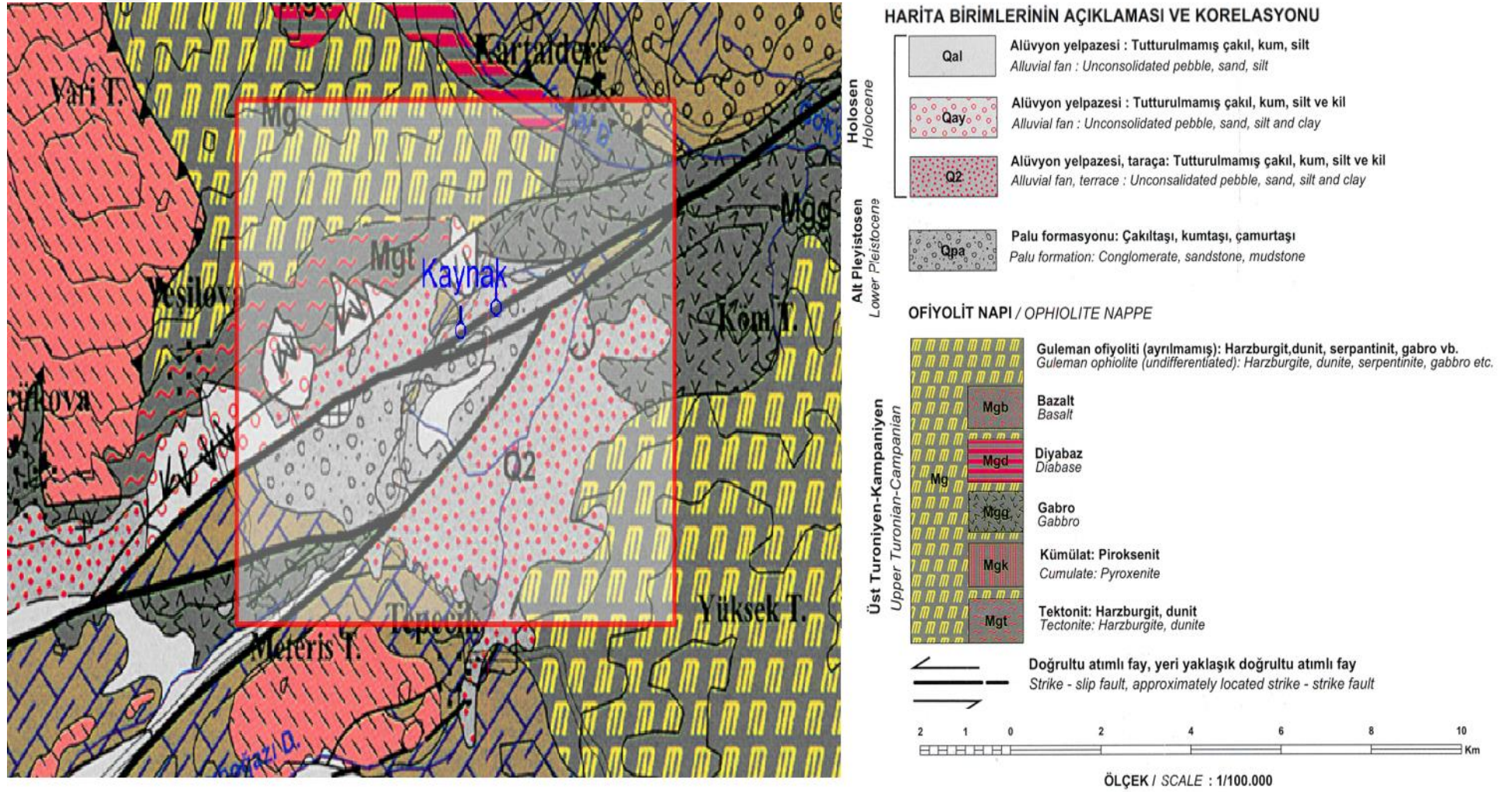
İnceleme alanında güncel alüvyonlar özellikle dere yataklarında gözlenmektedir. Çalışma alanında bulunan Zıkkım, Kahraman ve Sadık dereleri boyunca, dere yataklarının göle

dökölme alanlarına yakın arazi eğimin azaldığı ve genişlediği bölgelerinde gözlenen birim çakıl, kum ve silt boyutundaki, tutturulmamış ve gevşek tutturulmuş malzemelerden oluşmuştur. Bunlar Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonları uyumsuz olarak örtmektedir.

2.1.6. İnceleme Alanının Jeolojisi

Sahada tespit edilen sıcak ve mineralli su kaynak nokta koordinatları 1/100 000 ölçekli MTA DAF Boyu Jeoloji Haritası (K42-K43 paftalarının) üzerine işaretlenerek Şekil 2.2 de verilmiştir. Kaynak çıkış noktası ve yakın çevresindeki formasyonlar 1/100 000 ölçekli MTA DAF Boyu Jeoloji Haritasına (K42-K43 paftalarının) göre tespit edilmiştir.





Şekil 2.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi jeoloji haritası 1/100 000 ölçekli MTA Jeoloji haritası

İnceleme alanında tespit edilen sıcak ve mineralli su kaynaklarının Şekil 2.2 de Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde olduğu gözlenmiştir. Şekil 2.2 deki kaynak lokasyonları ve jeolojik formasyonlar incelendiğinde; Kaynak lokasyonlarının kuzeyinde, Holosen yaşlı Alüvyon Yelpazesi(Q₂); tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil birimlerinin olduğu tespit edilmiştir. Kaynak çıkış lokasyonlarının kuzeyinde ise; Palu formasyonu (Q_{pa}) olduğu saptanmıştır. Palu Formasyonu'nda ise çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşları litolojileri gözlenmektedir. Fay zonunun formasyon dokanağı oluşturduğu gözlenmiştir. İnceleme alanındaki bu iki formasyonunun sahada gözlenen litolojik birimlerinin tespiti ise sahada yapılan jeofizik çalışma sonuçlarının yorumlanması ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

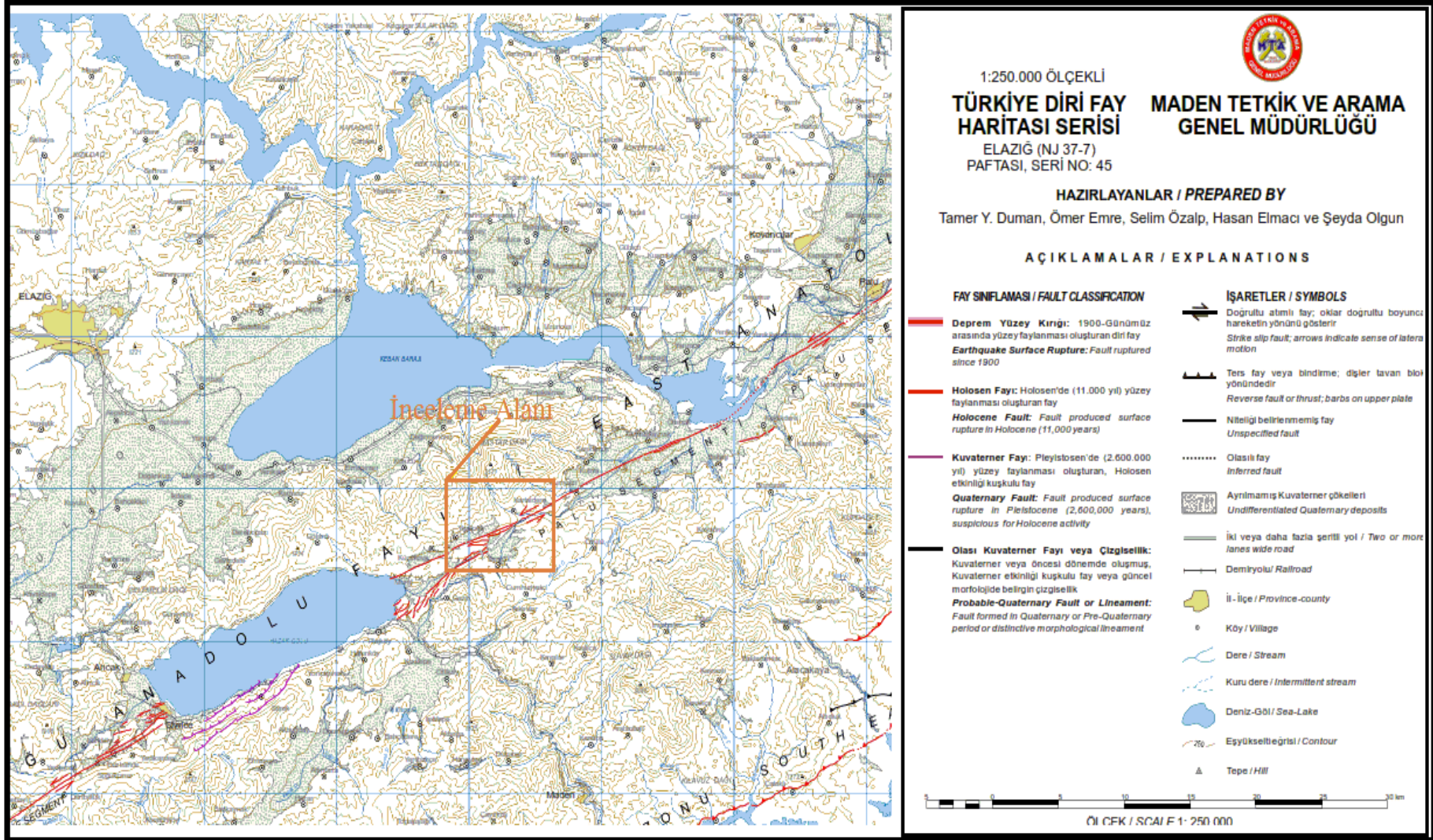
2.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı KD-GB uzanımlı Doğu Anadolu Fay zonu üzerinde yer almaktadır. Türkiye'nin neotektonik rejimi, Orta Miyosen'de başlayan Arap-Afrika ve Avrasya levhaları arasındaki kıtasal çarpışma ve bunun devamında Anadolu bloğunun batıya doğru hareketi ile kontrol edilmektedir (Ketin, 1948; McKenzie, 1970, 1972; Devey ve Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Jackson ve McKenzie, 1988).

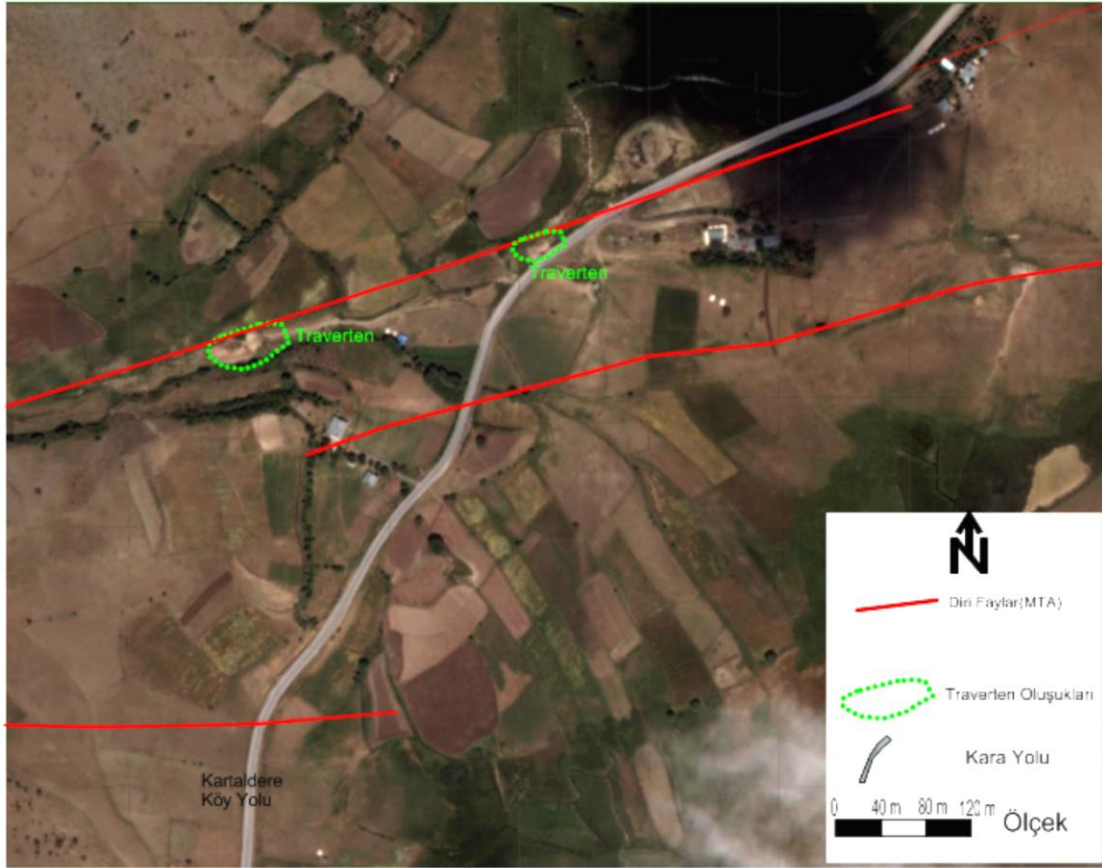
Genel olarak bakıldığında depremselliği en yüksek olan birinci derece deprem bölgelerinin, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı çevresi ve Batı Anadolu bölgesindeki graben sistemi çevresinde yoğunlaştığı görülür (Karaman, 2006).

Doğu Anadolu Fay Zonu yaklaşık 400 km uzunlukta olup doğrultu atımlı sol yönlü bir faydır. Karlıova bileşim noktasından başlar Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Pütürge, Çelikhan, Gölbaşı, Kahramanmaraş, Türkoğlu, Islahiye, Antakya doğusundan geçerek ülkemiz sınırlarından çıkar ve daha güneyde Ölü Deniz Fayı olarak devam eder (Karaman, 2006).

Hazar Gölü'nün kuzeydoğusundaki alanda inceleme yapan Kaya (1992) bölgede ana fayın gölün kuzey kenarına yakın olan fay olduğunu belirtmektedir. Bu durum Doğu Anadolu Fayı'nın Hazar Gölü'nün bulunduğu alanda kademeli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Faylar inceleme alanında sırtlara paralel vadiler oluştururlar ve morfolojik olarak arazide belirgin bir çizgisellik sunarlar (Gürocak, 1993).



Şekil 2.3. İnceleme alanı 1/250 000 ölçekli Diri Fay haritası(Elazığ NJ-37-7, MTA-2012)



Şekil 2.4. İnceleme alanı diri fay haritası (yerbilimler.mta.gov.tr)

2.3. Hidrojeoloji

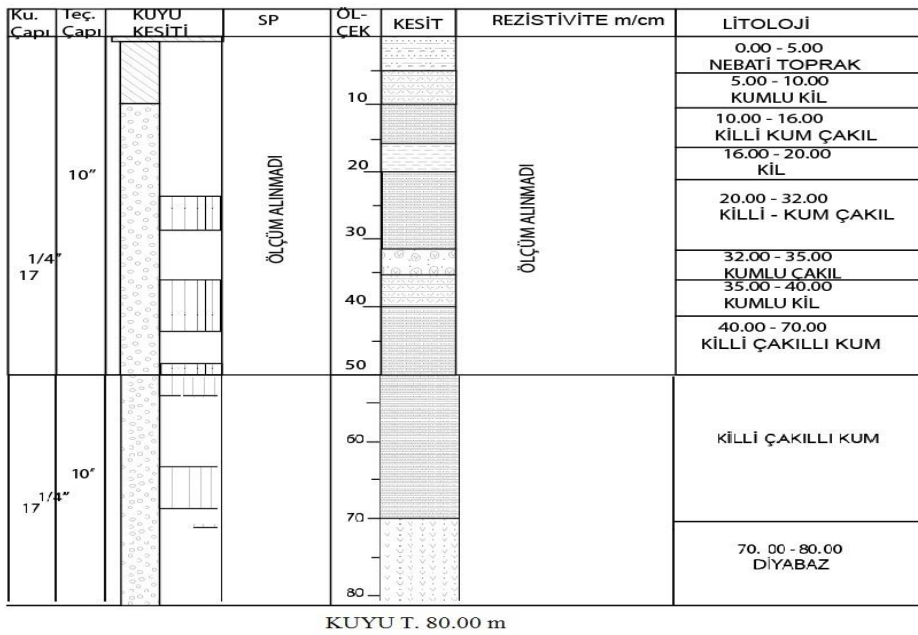
Kaynak-1 noktasının hemen güneyinde debisi yaz aylarında oldukça düşen bir dere ve yaklaşık 100 m kuzeyinde ise drenaj hendeği bulunmaktadır. Kaynak lokasyonlarının kuzey kesimlerinde bulunan Alüvyon yelpazesi üzerinde farklı kesimlerinde açılmış direnaja hendeklerinin varlığı ve bitki örtüsünün çevreye göre daha sık olmasından sahanın bu kesimlerinde yeraltı su seviyesinin çok sık olduğu düşünülmektedir.

2.3.1. Akifer Formasyonlar

Çalışma alanında yeraltı suyu taşıyan birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyon, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı'na ait sedimanter birimler ve bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak ikincil geçirimsizlik kazanan Guleman ofiyolitlerine ait kayalar ile Maden Karmaşığı'na ait volkanitlerdir.

Gezin ve yakın çevresinde Pliyo – Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile güncel dere alüvyonları oldukça yüksek verimli gözenekli akiferleri oluşturmaktadır. Alüvyon malzeme bölgede yayılım gösteren Guleman Ofiyolitleri, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı birimlerinden oluşan çakıl ve blokları ile kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Alüvyonu oluşturan çakıllar yuvarlaklaşmış olup kötü boylanmalıdır. Çalışma alanında bulunan keson kuyuların derinlikleri 6 m ile 13 m arasındayken sondajların derinlikleri ise 50-90 m arasında değişmektedir. Alüvyon akifer içerisinde Gezin Belediyesi'ne ait 2 adet sondaj kuyusu bulunmakta olup beldenin içme ve kullanma suyu bu kuyulardan sağlanmaktadır. Kuyuların derinlikleri 60 ve 70 m olup her ikisinin de debisi 25 L/s' dir. Alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyu loğuna göre bölgede alüvyon kalınlığı yaklaşık 70 m olup, alüvyonda yaklaşık 10 m derinliğe kadar kumlu kil, derinlere doğru gidildikçe killi kum- çakıl, kumlu çakıl, kumlu kil, killi çakıllı kum serileri hakimdir (Şekil 2.3.1). Bu sondaj kuyusunun statik seviyesi 2.10 m, dinamik seviyesi ise 3.55 m olup debisi 9 L/s' dir (Yiğit, 2016).

Kuyu No: 58550

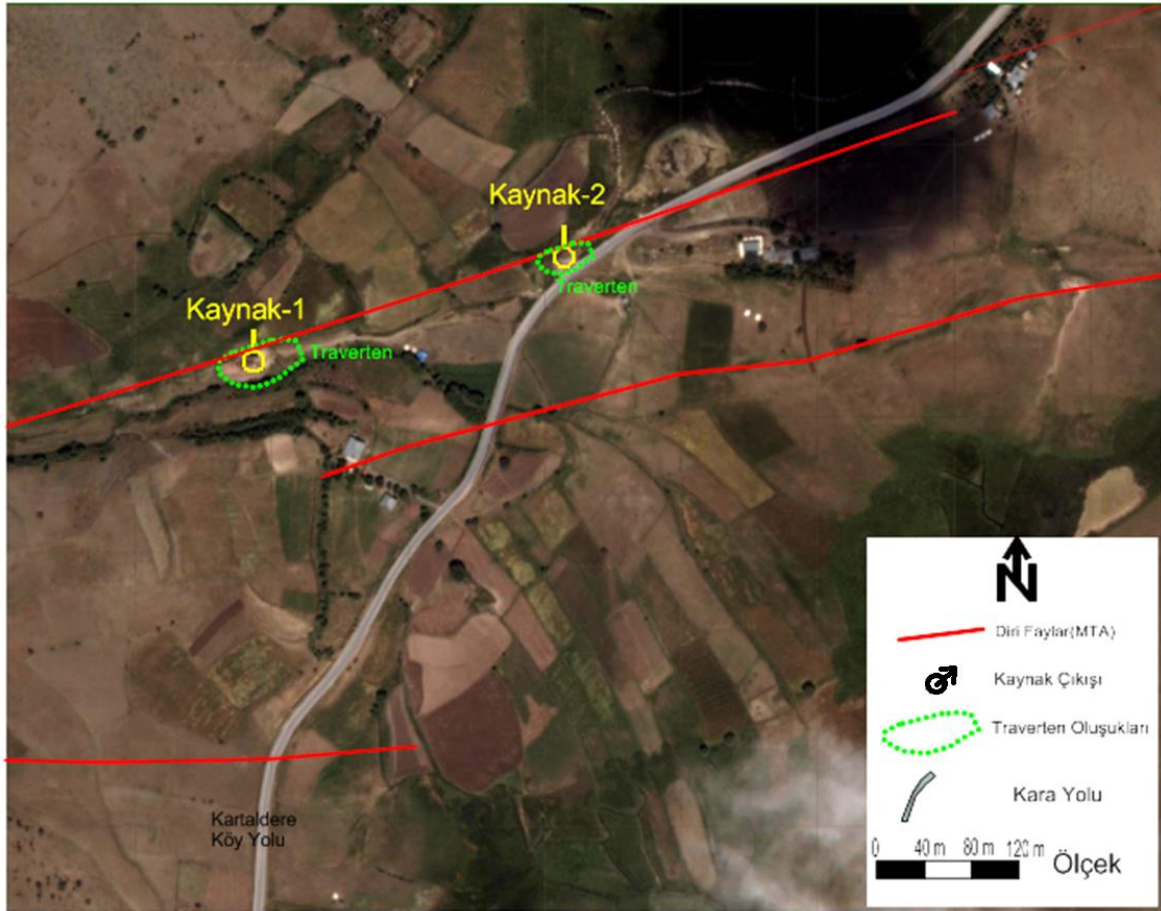


Şekil 2.5 Hazar Gölü doğusundaki alüvyonda DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyusu logu (Yiğit, 2016).

İnceleme alanında Holosen yaşlı tutturulmamış, çakıl, kum, siltli ve kil birimleri soğuk yeraltı suyunu taşıyan akifer özelliğindedir.

2.3.2. Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları

İnceleme alanı ve yakın çevresinde saha incelemelerinde Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde yaklaşık Doğu-batı uzanımlı yaklaşık 270 m mesafede iki noktada kaynak tespit edilmiştir. Bu kaynak çıkış noktalarında karbonat çökellerinin oluşturduğu traverten oluşukları gözlenmiştir. Saha incelemelerinde gözlenen mineralli su çıkışlarından sahanın batı kesiminde olan Kaynak-1, sahanın doğusunda gözlenen ise Kaynak-2 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 2.6). Kaynak-1 olarak isimlendirilen mineralli suyun sıcaklığı ortalama 24⁰ C olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.6 Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen kaynak yerleri(yerbilimleri.mta.gov.tr).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

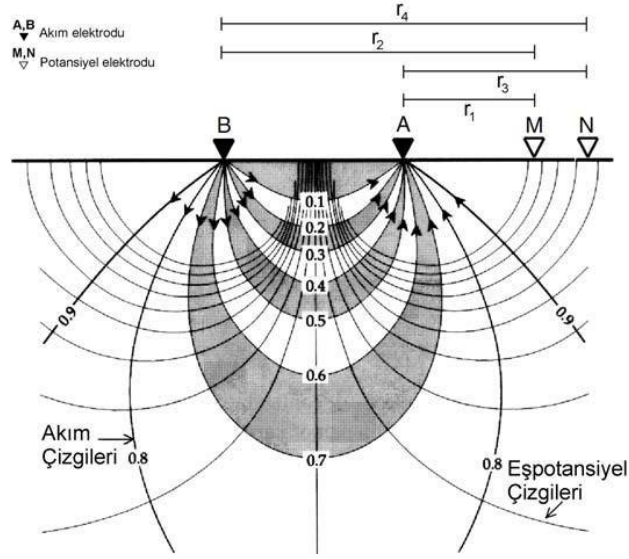
3.1. Elektrik Resistivite Tomografi (ERT) Yöntemi

Belirli periyotlarla uygulanan elektrik resistivite yöntemi, zamana bağlı elektrik resistivite görüntüleme ‘Time-Lapse Electrical Resistivity (TL-ERT)’ son yıllarda sığ yeraltı sorunlarının araştırılmasında büyük önem taşımaya başlamıştır (Legaz vd, 2009). Ayrıca heyelan olgusu ERT çalışmalarının zamansal değişimlere bağlı olarak incelenmesi ile de farklı bir boyuta taşınmaktadır ve heyelan olgusu böylece 4 boyutlu olarak incelenebilmektedir.

Elektrik resistivite çalışmaları ilk olarak 1912 yılında Wenner tarafından kullanılan yöntem, sonraki yıllarda Schlumberger tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin uygulanış şekli; yere iki elektrot yardımıyla akım verilmesi ve bu akımın oluşturduğu potansiyel farkı ölçmek için iki potansiyel elektrot kullanılmasıyla gerçekleştirilir ve yeraltının resistivite dağılımı saptanmaya çalışılır.

Klasik bir yöntem olan doğru akım elektrik özdirenç yöntemi, jeolojik sorunların çözümünde başvurulmuş başlıca yöntemler arasında yer almaktadır. Kayaçların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklılıklarından yararlanılarak, jeolojik yapının belirlenmesi, elektrik özdirenç yöntemlerinin uygulamasındaki temel amaçtır. Bu yöntem, mühendislik yapılarının zemin araştırmalarında, yeraltı suyu ve çevre kirliliği araştırmalarında, yeraltı suyu ve jeotermal enerji aramalarında, maden aramalarında, arkeolojik aramalarda ve petrol aramalarında da kullanılmaktadır (Özdemir, 2008).

Yere elektrik akımı verildiğinde, yüzey altındaki herhangi bir iletkenlik değişimi, akımın yer içindeki akışını değiştirmekte ve bu da elektriksel potansiyel dağılımını etkilemektedir. Potansiyel fark yeraltının fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki farklılığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Potansiyel değişimleri okumak için elektrotlar yeryüzüne farklı şekillerde yerleştirilir ve yerleşim şekillerine dizilim adı verilmektedir. Uygulama sırasında yere verilen akımın değeri akım elektrotları (A ve B) arasına bağlanan ampermetre ve bu akımın etkisiyle oluşan potansiyel farkı da potansiyel elektrotları (M ve N) arasına bağlanan voltmetre ile ölçülmektedir (Şekil 3.1). Yöntem özellikle tomografik anlamda oldukça yararlı sonuçlar üretmekte ve yorumlamaya önemli katkılar sağlamaktadır.



Şekil 3.1. Yarı sonsuz homojen ortamda akım ve potansiyel çizgilerinin dağılımı (Stummer, 2003; Van Nostran ve Cook, 1966).

Elde edilen değerlerden Ohm yasası yardımıyla yeraltının görünür rezistivite değerine ulaşılır. Ohm yasasının vektör formundaki eşitliği;

$$J = \sigma \cdot E \quad (3.1)$$

ile verilir. Formülde σ , yapının iletkenliği; J , akım yoğunluğu ve E , elektrik alan şiddetidir. Yapının iletkenliği ve ortam özdirenci arasındaki bağıntı $\rho = 1/\sigma$ olarak tanımlanmaktadır. Çalışmalarda elektrik alan potansiyeli ölçülmektedir ve elektrik alan-alan şiddeti arasındaki bağıntı ise;

$$E = -\nabla \Phi \quad (3.2)$$

ile tanımlanır. (3.1) ve (3.2) denklemlerinden;

$$J = -\sigma \cdot \nabla \Phi \quad (3.3)$$

elde edilir.

Akım kaynakları nokta kaynak olarak davranış göstermektedir. Akım kaynağının (I), akımı çevreleyen ΔV hacim elemanı üzerinde (x_s, y_s, z_s) koordinat yönlerinde akım çevresinde oluşturacağı potansiyel dağılım Dey ve Morrison (1979) tarafından aşağıdaki denklemle ortaya koyulmuştur (Berge, 2005).

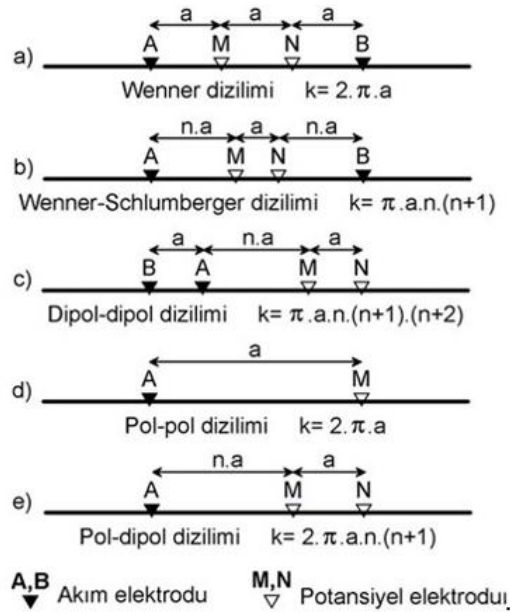
$$\nabla \cdot J = (1/\Delta V) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (3.4)$$

Denklemden verilen δ , Dirac Delta fonksiyonu olmak üzere (3.3) denklemi aşağıdaki şekilde tekrar düzenlenebilir.

$$-\nabla \cdot [\sigma(x, y, z) \cdot \nabla \Phi(x, y, z)] = (I/\Delta V) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (3.5)$$

Bu denklem nokta akım kaynağında oluşan potansiyel dağılımı veren eşitliktir. Bu denklemin çözümü ile potansiyel dağılım modellenenir ve bu teknik elektrik rezistivite yönteminde “Düz-Çözüm Modellemesi” olarak adlandırılır.

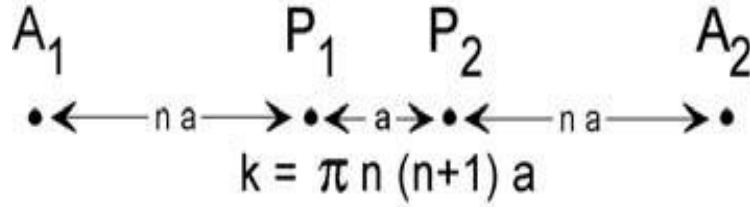
Yöntemin uygulanmasında kullanılan 4 adet elektrotun birbirlerine göre uzaklıklarının değiştirilmesine bağlı farklı dizilim türleri ortaya çıkmaktadır. Araştırmaların amacına bağlı olarak kullanılan dizilim türleri oldukça önem taşımaktadır. Böylece herhangi bir yer modeli için hesaplanan ya da ölçülen görünür rezistivite değerleri farklı elektrot dizilimlerine göre değişik sonuçlar verecektir. Bu nedenle araştırmanın amacına uygun elektrot diziliminin seçimi araştırmanın başarısını artıracaktır. Literatürde tanımlanan yüzden fazla elektrot dizilimi süperpozisyon, odaklanma ve doğrusallık özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Slazai ve Szarka, 2008). Rezistivite çalışmalarda Wenner, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol ve sol yönlü pol-dipol olmak üzere sıklıkla kullanılan beş dizilim bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 a) Wenner, b) Wenner-Schlumberger, c) dipol-dipol, d) pol-pol ve e) pol-dipol dizilimlerinde kullanılan elektrotların yüzeydeki dağılımı ve dizilimlere ait geometrik faktör (k) hesabı (Berge, 2011).

Wenner-Schlumberger diziliminde resistivite değeri dizilimin orta noktasına atanmakta ve yerleşim düzeninde ‘a’ ve ‘n’ ayrı ayrı veya birlikte artırılmasıyla derinlik seviyelerinden bilgi alınmaktadır. Dizilim sisteminde ‘n=1’ olması durumunda Wenner dizilimi elde

edilmektedir. Dizilime ait duyarlılık kesiti incelendiğinde; potansiyel elektrotları arasında kalan pozitif alanın Wenner diziliminden daha dar ve derine doğru yayvan olduğu görülmektedir (Şekil 3.3). Bu durum dizilimin hem yatay hem de düşey süreksizliklere karşı duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.3 Basitleştirilmiş Wenner-Schlumberger dizilim şeması ve k dizilim katsayısı.

Elektrik rezistivite yönteminde son yıllarda ortaya çıkan hızlı ve duyarlılığı yüksek ölçüm cihazları yardımıyla veri değerlendirmede sayısal yöntemlerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Veri işleme çalışmalarında sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede 2 ve 3 boyutlu düz ve ters-çözüm modellemeleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu şekilde yeryüzünden yeraltının değişik derinlik seviyeleri için yapılan ölçülerle yeraltının iki ve üç boyutlu tomogramları oluşturulabilmektedir.

Bu teknik kullanılarak yapılan değerlendirmede ortam heterojenitesinin sadeleştirme yapılmadan çözüme katılması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kompleks yeraltı yapıları bu şekilde kolayca modellenabilmektedir. Son yıllarda elektrik rezistivite tomografi yönteminin iki boyutlu anlamda kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle mühendislik ve çevresel sorunlar ile birlikte değişik jeolojik sorunların çözülmesi ve arkeolojik amaçlı uygulamaların ağırlığı da her geçen gün artmaktadır.

Elektrik resistivite yönteminde ters-çözüm çalışmalarıyla yeraltının gerçeğe yakın rezistivite dağılımı elde edilir. Bu yönde geliştirilen ters-çözüm algoritmaları (deGroot-Hedlin ve Constable, 1990; Sasaki, 1992; Loke ve Barker, 1996a,b; Günther ve diğer., 2006) yeraltının tomografik görüntülerinin 2 ve 3-boyutta elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ters-çözüm değerlendirmeleriyle tomografi görüntülerine benzer sonuçlar elde edilmesi, bu tip uygulamaların elektrik rezistivite tomografisi olarak ta adlandırılmasına yol açmıştır. ERT ters-çözümünde amaç sınırlı sayıda görünür rezistivite verisinden yeraltı modeli olan rezistivite dağılımına ulaşmaktır. Bu durum çözülecek sorunların doğrusal olmayan ters-çözüm sorunu olmasına sebep olmaktadır. Bu tür sorunların çözümü, gözlenen

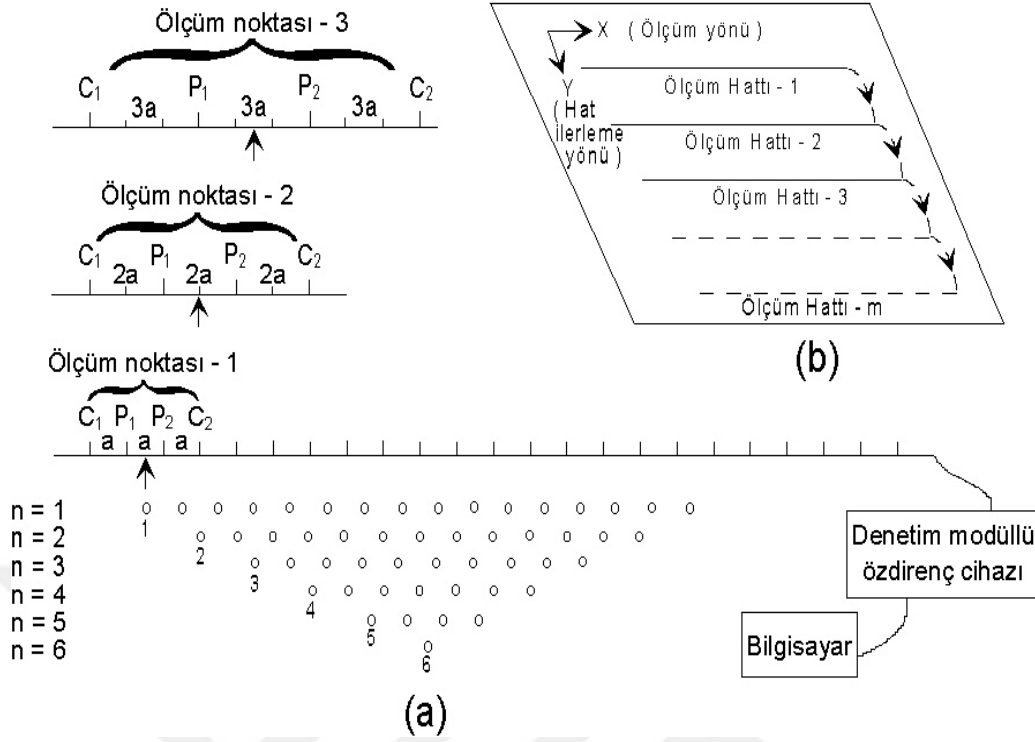
ve kuramsal görünür rezistivite verisi arasındaki farkın yinelemeli bir yolla küçüklenmesini sağlayarak bir başlangıç modelinin iyileştirmesini gerektirmektedir. Başlangıç modelinden kuramsal verinin elde edilmesi ve yinelemeler sonucu model parametrelerinin iyileştirilmesiyle yeniden bir kuramsal verinin üretilmesinde ise düz-çözüm aşamasına gereksinim duyulur.

Tomografik yaklaşım teknikleri olarak da adlandırılan bu yinelemeli işlem elektrik rezistivite verisinin değerlendirilmesinde 1980'lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır (Tripp ve diğer., 1984; Sasaki, 1992; Loke ve Barker, 1996a, 1996b).

Yeraltı homojen bir ortam olarak düşünüldüğünde ve farklı geometrik şekillerde yapılar ve süreksizlik sistemleri için oluşturulan modeller için analitik yöntemler kullanılmaktadır. Fakat heterojen bir ortam söz konusu olduğunda gelişmiş güzel bir rezistivite dağılımı oluşacak ve çözüm için sayısal teknikler kullanılacaktır. Yeraltının belirli sayıda yatay katman ile sınırlandırıldığı durumlarda bir boyutlu çalışmalarda uygulanan doğrusal süzgeç yöntemleri çözüme ulaşmakta kullanılmaktadır (Koefoed, 1979). İki ve üç boyutlu çalışmalarda, sonlu-farklar ve sonlu-elemanlar yöntemleri kullanılmaktadır.

Jeoloji amaçlı yeraltı araştırmalarında günümüzde elektrik rezistivite tomografi yaygın şekilde kullanılmaktadır. Son 20 yıl içerisinde bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesine bağlı olarak rezistivite veri toplama sistemleri de gelişmiştir. Sistem içerisinde; rezistivite cihazı, bilgisayar, elektrotları denetleyen bir anahtar devre, elektrot kabloları, bunların bağlantıları ve elektrotlardan oluşur (Van Overmeeren ve Ritsema, 1988; Griffiths ve diğer., 1990; Griffiths ve Barker, 1993; Dahlin, 2001).

Elektrot aralıkları araştırmanın amacına bağlı olarak düzenlenmektedir. Çalışmalar sırasında elektrotların bağlandığı kablolar çalışma alanına serildikten sonra, elektrotlar yere çakılır ve kablolar elektrotlara bağlanarak sistem ölçüme hazır duruma getirilir. Ölçümler istenilen dizilim türleri için kısa süre içinde gerçekleştirilir ve ölçüm hattı bir sonraki hatta kaydırılır. Böyle bir sistemi oluşturan ana elemanlar ve ölçüm sistemi Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4-a) Çok elektrotlu elektrik resistivite verisinin Wenner dizilimine göre toplanması, **b)** 3-boyutlu çalışmalar için serilim geometrisi (Griffiths ve Barker, 1993).

Jeofizik çalışmalarda düz-çözüm ve ters-çözüm olmak üzere iki modelleme türü kullanılmaktadır. Düz-çözüm modelleme tekniği ile yeraltının fiziksel koşullarına benzetilen model ile bu modelin yüzeyde oluşturacağı model yanıtı belirlenmeye çalışılmaktadır. Geometrik ve fiziksel parametrelerden oluşan yeraltı modeli araştırma sorunlarına göre belirlenmekte ve bunlara ek olarak düz-çözüm işlemine tanıtılan başlangıç değerleri ve sınır koşulları ile matematiksel bir fiziki model oluşturulmaktadır (Canitez, 1997). Analitik, integral ve sayısal yöntemler kullanılarak model yanıtı elde edilmekte ve böylece 1, 2 ve 3 boyutlu düz-çözüm modelleri elde edilebilmektedir. Ölçülen veriden yeraltını oluşturan modele ait parametrelere ters-çözüm yöntemi ile ulaşılmaktadır. Ters-çözüm işlemi, düz-çözüm işlemi sonucu kuramsal modelden elde edilen yapay veri ile ölçülen verinin karşılaştırılması ilkesine dayanmaktadır. İki veri arasındaki yanılgıyı en küçük yapan modelin yeraltını temsil ettiği kabul edilir.

Ters-çözüm işleminde birden fazla kuramsal modele ait yapay verinin denenmesi gerektiğinden, bu işlemler yinelemeli bir yol ile yapılmaktadır (Berge, 2011). Başlangıç parametrelerinde tanımlanan yineleme sayısı ve çakışma ölçütlerine bağlı olarak işlem sonlandırılır.

Elektrik rezistivite ters-çözüm teknikleri, yinelemeli olarak elde edilen görünür rezistivite verisi ile hesaplanan görünür rezistivite verisi arasındaki farkın bir ölçütü olan veri RMS uyumsuzluk değerini en küçükleyerek verilen bir başlangıç modelini iyileştirmeye çalışır. Hesaplanan görünür rezistivite verisi ile elde edilen görünür rezistivite verisi arasındaki farkları en aza indirmek için yapılan yineleme işleminin sayısı, ön kestirim değerlerinin gerçeğe yakınlığı ve verinin gürültü içeriği ile ilişkilidir. Ters-çözüm sonucunun farklı yeraltı modellerinin aynı model tepkisine ulaşması (çözümün tekil olmaması), model seçimi veya ön kestirim değerlerinin gerçeğe yakın olmaması, kullanılan farklı ters-çözüm parametrelerine (kullanılan çözüm tekniği, sönüm faktörü vb.) göre farklı sonuçların elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı çözümden uzaklaşmaktadır (gerçek yer altı modeline yaklaşmama durumu). Bu nedenle, jeolojik koşullar çerçevesinde kabul edilebilir bir çözümün bulunabilmesi ve yeraltının gerçekçi temsili için model seçimi oldukça önemlidir. Bunun için sentetik yeraltı modelleri oluşturularak, bu modellerin düz- çözüm hesaplaması sonucunda elde edilen görünür rezistivite verilerini ters çözüm işlemine girdi olarak vermek ve işlem sonuçlarını tasarlanan sentetik model ile karşılaştırarak uygun çözümü elde etmek gerekir. Yöntemin değişik algoritmalar ve yeraltı modelleri için sınanması ve farklı elektrot dizilimlerine bağlı olarak soruna yaklaşımı üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Sasaki, 1992; Olayinka ve Yaramancı, 2000; Candansayar ve Başokur, 2001; Dahlin ve Zhou, 2004; Drahor vd, 2004, 2005).

Elektrik Öz direnç Tomografi(ERT) çalışmaları sonucunda elde edilen ters-çözüm modellerinde görüntü kalitesini artırmak ve veri kayıplarından kaynaklı model darlığını gidermek amacıyla DOI (dept of investigation-araştırma derinliği) indeks çalışması değerlendirme aşamasında başlangıç modeli olarak tanımlanmıştır. Bu alandaki ilk tanımlar Oldenburg ve Li tarafından 1999 yılında verilmiş ve ilk çalışmalar Marescot ve diğerleri tarafından 2003 yılında yapılmıştır. Q_A ve Q_B gibi iki farklı model olması durumunda, modelin her bir hücresi için DOI indeks (R) hesabı aşağıdaki 3.6 bağıntısı yardımı ile yapılmaktadır (Oldenburg ve Li, 1999).

$$R_{AB}(x, z) = \frac{q_A(x, z) - q_B(x, z)}{q_A - q_B} \quad (3.6)$$

DOI indeksli ve standart yineleme sonucu endekslerin sıfıra yaklaşması ve modellerin benzer elektrik resistivite değerlerini üretmesi beklenmektedir. Fakat modelin DOI indeks uygulanmış bölümleri araziden toplanan veri kadar duyarlı değildir. İki başlangıç modelinin

seçimi ve sönümlenme faktörünün etkisini azaltmak için 3.7 bağıntısında R_{max} kullanılarak elde edilen maksimum R_{AB} değeri ile DOI indeks normalleştirilebilmektedir.

$$R(x, z) = \frac{q_A(x, z) - q_B(x, z)}{R_{max}(q_A - q_B)} \quad (3.7)$$

Sıfıra yaklaşan DOI indeks değerleri ile yüksek duyarlık değerleri korale edilmektedir. DOI indeks değeri 0,1'den büyük seçilen modeller için düşük duyarlık değeri sunan alanlarda ters-çözüm sonucu elde edilen görüntüde yer alacağından düşük duyarlık değerli alanların yorumlamalarına dikkat edilmelidir (Marescot ve diğer., 2003; Oldenburg ve Li, 1999, Robert vd, 2011).

3.2. Sismik Kırılma ve İki Boyutlu Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi

Deprem dalgalarının kayıt edilmesiyle ortaya çıkan iki tür sismik dalga vardır. Bunlar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sismograflara ilk olarak cisim dalgaları ve sonrasında yüzey dalgaları ulaşır (Şekil 3.5). Cisim dalgaları kendi içerisinde P ve S olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 3.5). İlksel dalga olan P (Primary, Pressure), yayılım doğrultusunda küresel olarak hareket eden ve uzak mesafelere ulaşan bir dalgadır. P dalgasını ikincil olan S (Secondary, Shear) dalgası izler. Hareket dalga hareketine dik doğrultudadır ve birbirine paralel olan bu dalgalar hareket yönünde polarize olmuş dalgalardır. Bu dalga sıvı ortamlarda yayılım göstermez. Yüzey dalgaları da kendi içerisinde Love ve Rayleigh olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.14). Love dalgası kesme dalgası yatay bileşeninin (S H) hava-yer ara yüzeyinde oluşmakta ve yayılma doğrultusuna dik ve yatay yönde bir titreşim hareketi yapmaktadır. Rayleigh dalgası yerin serbest yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Rayleigh dalgası sıkışma dalgası (P) ve kesme dalgası (SV) dalgalarının girişimiyle oluşmakta ve elips şeklinde hareket yönünün tersinde ve yayılım doğrultusunda hareket etmektedir (Xia ve diğer., 2004). Rayleigh dalgasının bu hareketine retrograde hareket denir ve bu hareket belirli bir derinliğe kadar geçerlidir. Belirli bir derinlikten sonra prograde hareket etmektedir (Şekil 3.5).

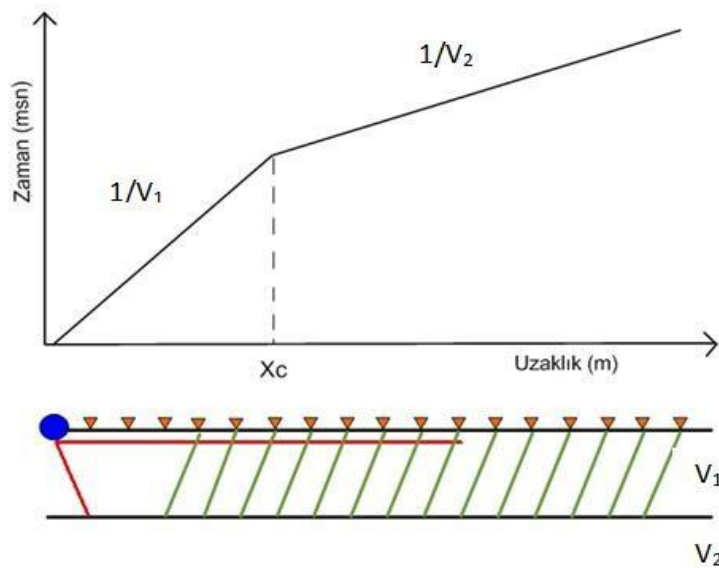


Şekil 3.5 Sismik dalgaların yeraltında ilerleme görüntüsü(Ortan,2015)

3.2.1. Sismik Kırılma Yöntemi Tomografi

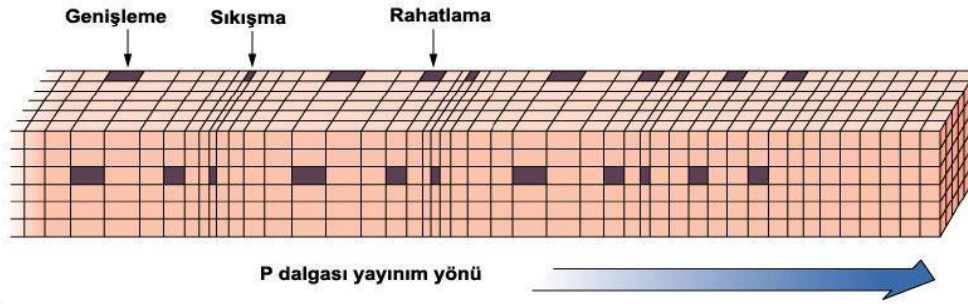
Yerin farklı özelliklere sahip jeolojik birimlerini, mekanik anlamda tanımlamak ve bu birimlerin dinamik yükler altında davranışını önceden kestirmek için uygulanan en etkili jeofizik yöntem sismik kırılma yöntemidir. Bununla birlikte sismik kırılma çalışması ile yer altındaki tabakaların kalınlıkları, eğimi, kırık ve fay zonları, tabakaların sismik hızları ile buna bağlı olarak elastik ve dinamik parametreleri, suya doygunluğu belirlenmektedir.

Sismik kırılma yöntemini arazide uygularken bir noktadan yere darbe yapılarak sismik enerji oluşturulur. Kaynaktan çıkan sismik dalga her yöne yayılmaya başlar. Dalgalar kırılarak, yansıyor ya da doğrudan jeofonlara (algılayıcılara) ulaşır. Her bir jeofon (algılayıcının) mesafesi için ilk varış zamanları kullanılarak, zaman-uzaklık grafiği çizilir. Grafikte doğruların eğimi, o tabakaya ait sismik dalga hızı verir (Şekil 3.6).



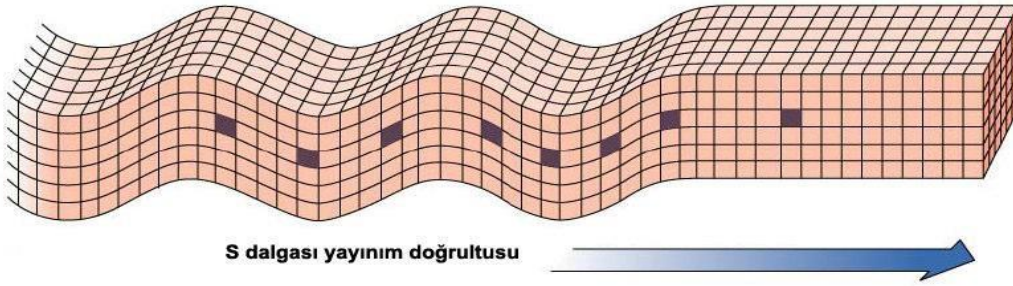
Şekil 3.6. Sismik Kırılma dalgalarının yer içindeki yayılımı ve zaman-uzaklık grafiği

Sismik kırılma yöntemi ile üretilen ve incelenen dalgalar P (boyuna) ve S (enine veya kayma) dalgalarıdır. P dalgalarının partikül hareketi, yayılım doğrultusuna paraleldir ve sıkışma, genişleme hareketi ile yayılır (Şekil 3.7.). Her türlü ortamda yayılma özelliğine sahiptir ve en hızlı yayılan dalga türüdür. P dalgasının analizi sonucu oluşturulan sismik kesitlerle yerin yapısal durumu ortaya konulur.



Şekil 3.7. P dalgasının yayılım doğrultusu ve partikül hareketi (Allen, 2007).

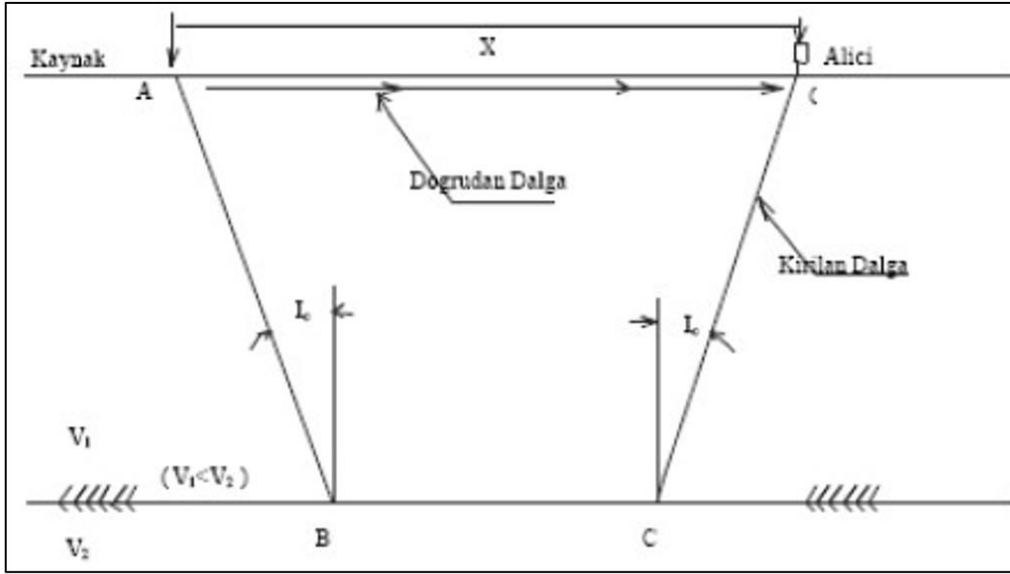
S dalgalarında ise partikül hareketi, yayılım doğrultusuna diktir. S dalgaları makaslama hareketi yaparak yayılırlar (Şekil 3.8). Dalganın iki bileşeni vardır. Bunlardan partikül hareketi yatay düzlemde olanı SH, dikey düzlemde olanı ise SV adını alır.



Şekil 3.8. S dalgasının yayılım doğrultusu ve partikül hareketi (Allen, 2007)

S dalgaları yayıldığı ortamın kayma dayanımını belirlemede en önemli parametredir. Kayma dayanımı olmayan su ve havada yayılmazlar. S dalga hızı ile zeminin dayanımı doğru orantılı olarak değişir. Hızın düşük olduğu ortam gevşek, dayanıksız zemindir. S dalga hızının 750 m/sn yi geçtiği ortamlar mühendislik anlamında kaya birim olarak tanımlanır.

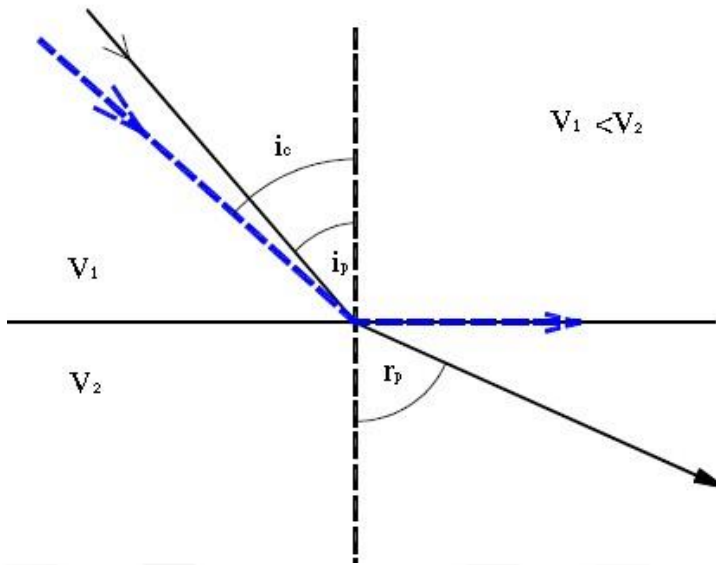
Sismik kırılma yönteminde, P ve S dalgalarının yer içinde yayılım geometrisi Şekil 3.9.’de gösterilmektedir.

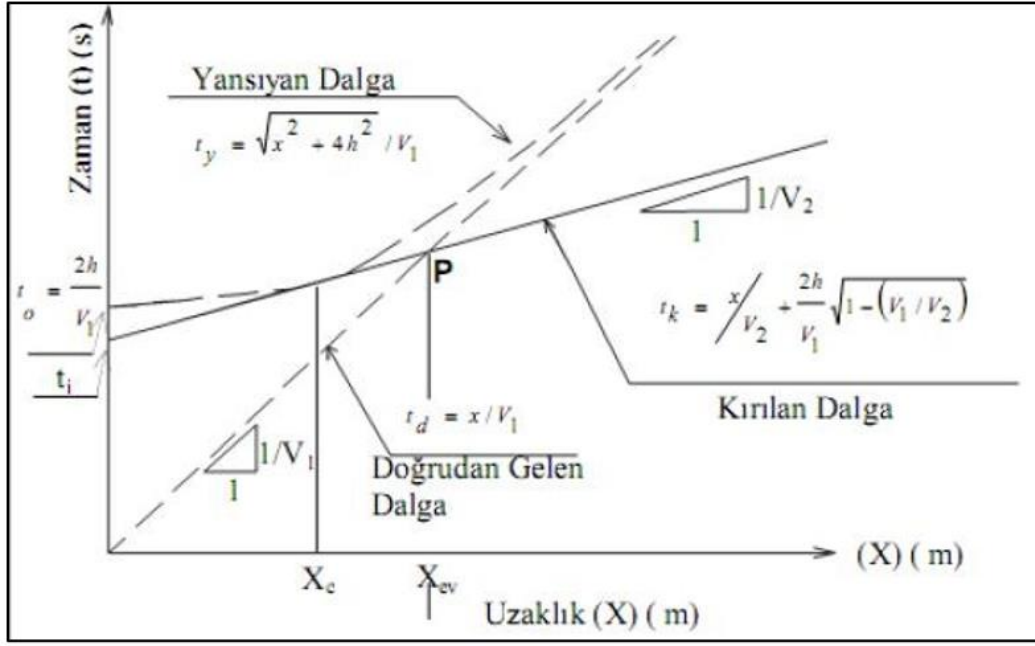


Şekil 3.9. Kırılan dalganın yayılım geometrisi (Dobrin ve Savit, 1976)

Şekil 3.9’da, h yüzey tabakasının kalınlığını nitelemektedir. A noktasından bir darbe vurulduğunda sismik dalgalar oluşur ve bütün yönlerde yayılırlar. Sismik kırılma yöntemi için şu iki nokta önemlidir. Biri, yüzeyde yayılarak ve C’ noktasına ulaşan doğrudan dalga ve diğeri A noktasından B, C ve C’ noktasına ulanan kritik açı ile kırılan dalgadır.

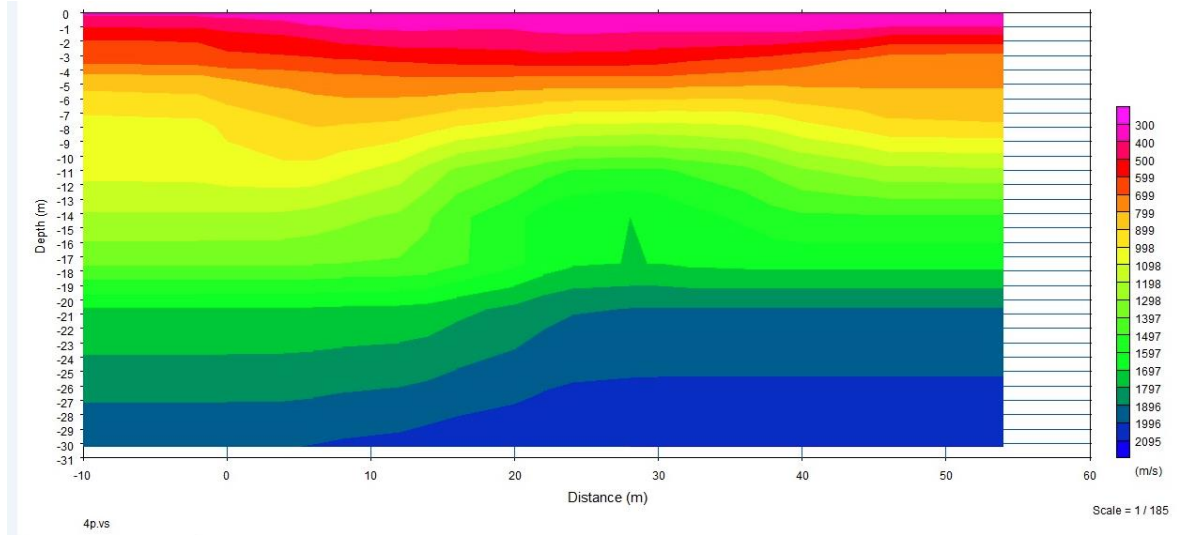
Doğrudan dalganın seyahat zamanı, bağıntısı ile verilir. Burada kırılan dalganın seyahat zamanını belirlemek için verilen kritik açıya ihtiyaç vardır. Snell yasasına göre kırılma, açılma açıları ile iki ortamın kantağında kırılan dalga yayılım hızı arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir. Snell yasasına göre dalga yayılımı için kırılan dalganın kırılma açısı $=90^\circ$ dir. O halde kritik açı olacaktır. Kırılan dalga, ikinci tabakanın hızı ile yayılmaktadır (Şekil 3.10).





Şekil 3.12. Doğrudan, yansıyan ve kırılarak gelen dalgaların uzaklık– zaman grafiği (Uyanık, 2002)

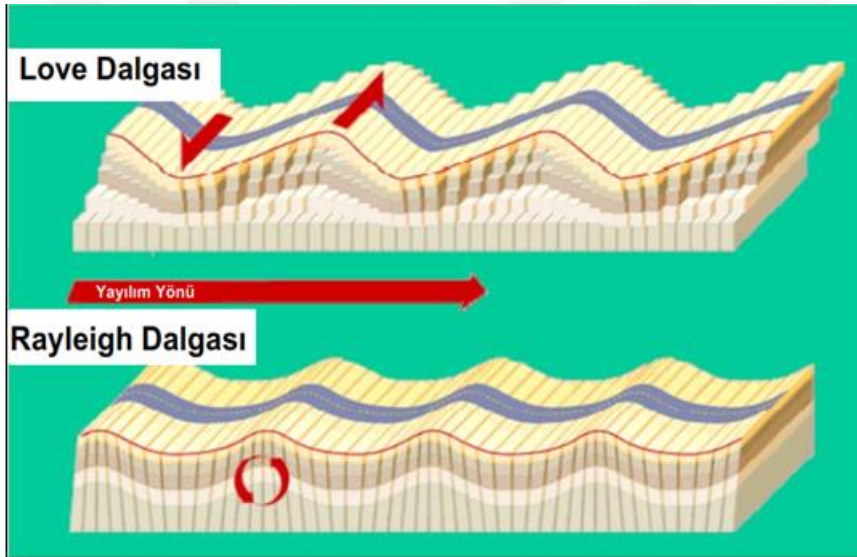
Yapılan sismik kırılma çalışma verileri üzerinde gerekli veri işlem tekniklerinin ardından üretilen ve kayıt edilen cisim dalgasının yayılım karakteristiğini, ortamın iletim hızını yansıtan, derinliğe bağlı hız değişim kesitleri elde edilir (Şekil 3.13).



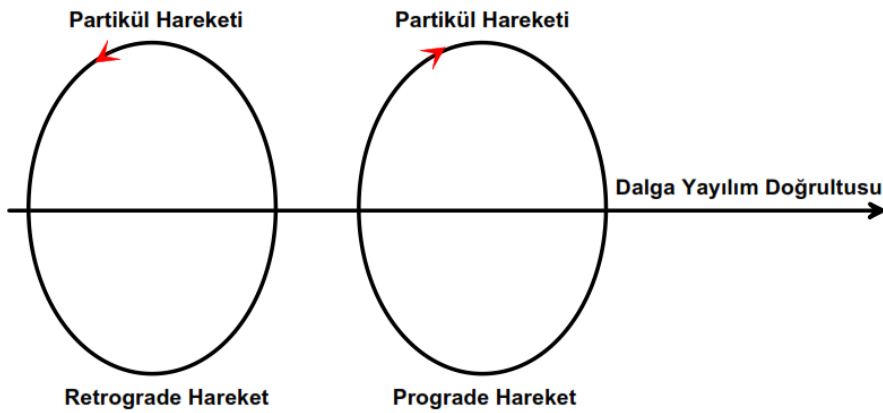
Şekil 3.13. Sismik kırılma çalışmalarından elde edilen P dalgası hız değişim kesiti (Ateş vd, 2016).

3.2.2. İki Boyutlu Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi

Yüzey dalgaları da kendi içerisinde Love ve Rayleigh olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.14). Love dalgası kesme dalgası yatay bileşeninin (SH) hava-yer ara yüzeyinde oluşmakta ve yayılma doğrultusuna dik ve yatay yönde bir titreşim hareketi yapmaktadır. Rayleigh dalgası yerin serbest yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Rayleigh dalgası sıkışma dalgası (P) ve kesme dalgası (SV) dalgalarının girişimiyle oluşmakta ve elips şeklinde hareket yönünün tersinde ve yayılım doğrultusunda hareket etmektedir (Xia ve diğer., 2004). Rayleigh dalgasının bu hareketine retrograde hareket denir ve bu hareket belirli bir derinliğe kadar geçerlidir. Belirli bir derinlikten sonra prograde hareket etmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.14. Love ve Rayleigh dalgalarının ilerleme şeklini gösteren görüntü (Bolt, 1976)



Şekil 3.15. Homojen yari sonsuz ortamda Rayleigh dalgasının retrograde ve prograde hareketi (Ortan,2015).

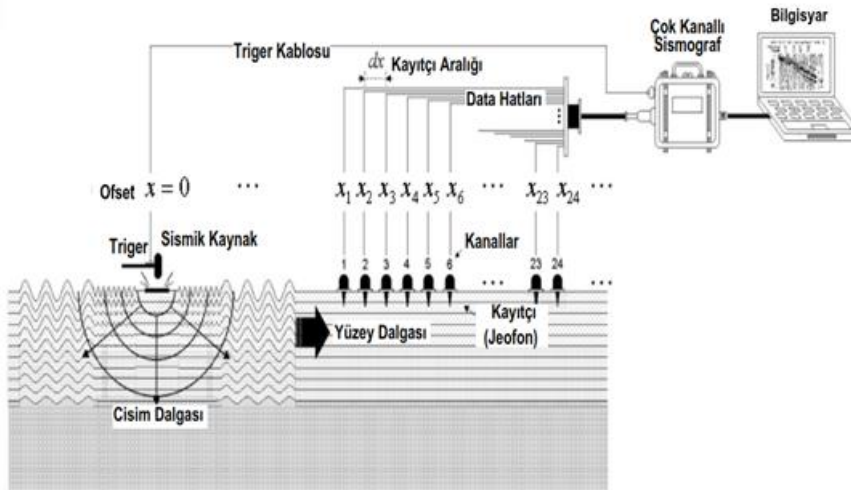
Rayleigh dalgalarının yayılım hızı (VR), kayma dalga hızına (VS) oldukça yakındır (Richart ve diğer., 1970). Poisson oranına bağlı olarak bu değerler $VR = 0,87 \cdot VS$ ve $VR = 0,96 \cdot VS$ aralığında değişmektedir. Yüzey dalgalarının genliğinin cisim dalgalarının genliğinden daha kuvvetli olması yüzey dalgalarının enerjilerinin çok hızlı kaybolmasına neden olmaktadır (Bullen, 1985). Yüzey dalgalarının bir diğer özelliği tabakalı ortamlarda dispersiyona uğramalarıdır. Bu durum dalga hızının periyoda bağlı olarak değişim göstermesidir.

Sismik yöntemler kendi içerisinde pasif ve aktif kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Pasif kaynaklı yöntemler kaynağın kullanıcının kontrolünde olmadığı yöntemlerdir. Mikrotremör Yöntemi (Microtremor Array Measurement;MAM), rüzgar, yağmur, deniz dalgaları ve atmosfer basınç dağılımı gibi doğal olaylardan veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan, periyotları 0,005-2 saniye aralığındaki titreşimleri kaynak olarak kullanılmaktadır.

Aktif kaynaklı yöntemler ise kaynağın kullanıcı tarafından kontrol edildiği yöntemlerdir. Aktif kaynaklı yöntemler Durağan Rayleigh Dalgası Yöntemi (*Steady State Rayleigh Wave*;SSRW), Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi Yöntemi (*Spectral Analysis of Surface Wave*;SASW) ve Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yöntemi (*Multi-channel Analysis of Surface Wave*;MASW) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Yüzey dalgasının çok-kanallı analizi (MASW) yöntemi, Park ve diğer., (1999) tarafından geliştirilen ve günümüzde özellikle jeoteknik ve mikrobölgeleme araştırmalarında yaygın bir kullanıma sahip olan bir sismik yöntemdir. Sismik yöntem yeraltına bir kaynaktan gönderilen akustik dalganın yeraltında bulunan jeolojik formasyonlar arasındaki ara yüzeylerinde (süreksizlik) oluşan yansıma ve kırılmaların (iletimlerin) yeryüzünde zamana bağlı olarak kayıt edilmesi ve böylece ortaya çıkan sismik hızlardan ortamın hız dağılımlarının belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Snell yasası optikte kullanıldığı gibi sismik dalga yayılımında da kullanılmaktadır. Snell yasanına göre farklı iki ortam ara yüzeyine gelen ışın yansıyan ve kırılan olmak üzere iki farklı özellik göstermektedir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde farklı ortam ara yüzeylerinden yansıyan dalgalar kullanılarak yeraltı modellemesi yapılmaktadır. Yapay kaynak kullanılarak deprem enerjisinin üretmiş olduğu akustik dalgaya benzer bir çalışma yürütülmektedir. Enerji kaynağı oluşturabilmek için darbe, ağırlık düşürme, patlatma, sarsıntı-vibro gibi sistemler kullanılmaktadır. Yüzey dalgalarının yer içerisinde dağılımı frekansa, faz hızına ve ortam yoğunluğuna bağlıdır. Bu üç faktör

dispersiyon eğrisinin tespitinde doğrudan ilişkilidir ve kayma dalgası hızının tespitinde önemli rol oynamaktadır (Xia ve diğer., 1999).

Basit anlamda alıcı, verici ve bir kayıttıcıdan oluşan ölçüm sistemi içerisinde yeryüzüne belirli aralıklarla yerleştirilen jeofonlar (alıcı), çok kanallı sismograf (kayıttıcı) ve balyoz (kaynak) kullanılmaktadır (Şekil 3.16). MASW çalışmalarında kullanılan jeofonlar 4,5-10 Hz'lik düşey jeofonlardır. Ölçümler sırasında sismografa bağlı bir bilgisayar yardımıyla ölçüme uygun giriş parametreleri ve vuruş sonrasında kayıt kalitesi incelenebilmektedir. Elde edilen kayıtlar zaman-derinlik ekseninde gösterilir. MASW yöntemiyle yüzey dalgalarından elde edilen veriler üzerinden dispersion eğrisinin belirlenmesi ve ters-çözüm tekniği ile yeraltının kesme dalgası hız (V_s) dağılım kesiti elde edilir. Derinliğe bağlı sismik hız kesitleri elde edebilmek amacıyla farklı dalga boylarında kaydedilen yüzey dalgaları analiz edilir.



Şekil 3.16 Yüzey Dalgasının Çok-Kanallı Analizi (MASW) yönteminin veri toplama uygulaması gösterimi (MASW, b.t).

Yeraltı modelinin yüksek çözünürlükte belirlenebilmesi yeterli bir kaynak kullanımı, jeofon aralığı, kanal sayısı ve doğru dispersiyon eğrisinin belirlenmesine bağlıdır. Veri içerisinde bazı durumlarda tekrarlı yansımalar da elde edilebileceği için doğru yeraltı modelini oluşturabilmek için dispersiyon eğrisinin seçiminin yapılacağı frekans aralığı oldukça önemlidir ve doğrudan ters-çözüm işlemi sırasında frekans ve faz hızını doğrudan etkilemektedir. Yüksek çözünürlükte bir yeraltı kesiti elde edebilmek amacıyla jeofon aralığının (dx) küçük olması gerekmektedir (Park,1995).

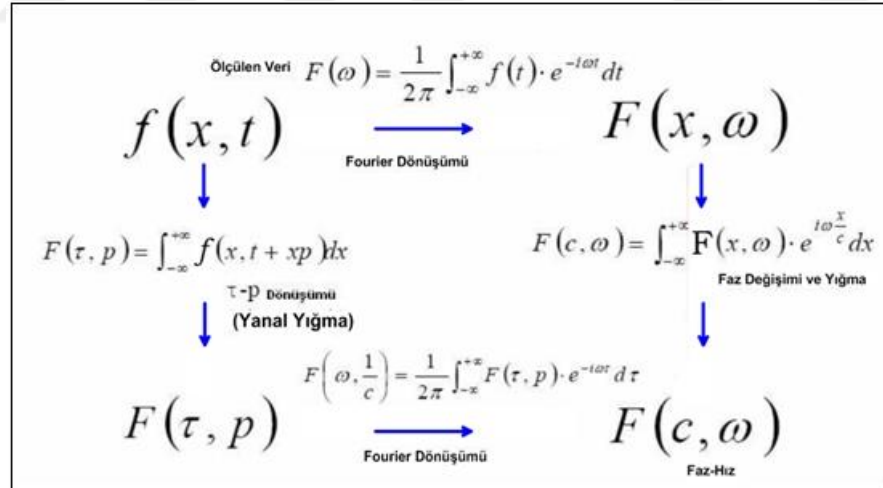
Ölçüm çalışmaları sırasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da ofset mesafesinin doğru ayarlanmasıdır. Ofset mesafesinin doğru ayarlanamamasına bağlı olarak veride yakın kaynak etkisi meydana gelmektedir. Bu etkinin yok edilebilmesi için ofset aralığı,

$$dx \geq (0,5) \cdot Z_{\max} \quad (3.8)$$

seçilmelidir (Stokoe vd, 1994).

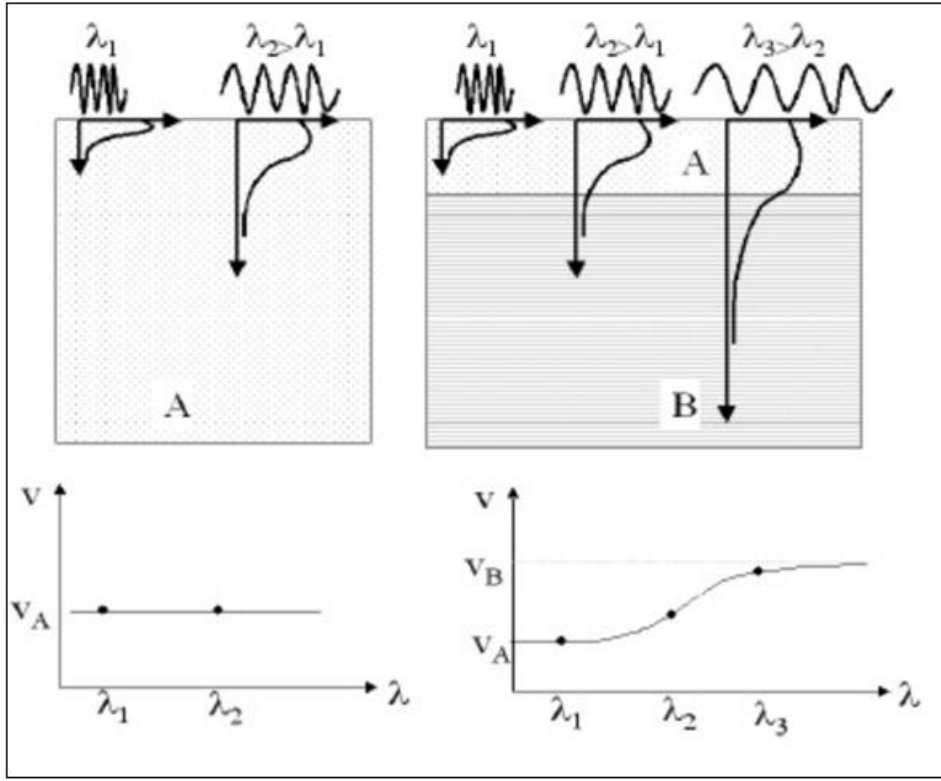
Yakın kaynak etkisi giderilmediği takdirde Rayleigh dalgası yatay seyahat eden hava dalgası gibi bir davranış sergiler (Richard ve diğer., 1970). Sismik enerjinin yer içindeki seyahati sırasında yüksek frekanslı yüzey dalgası kaynaktan uzaklaştıkça hızlı bir şekilde sönümlenir (Bullen, 1985). Ofset mesafesinin büyüklüğüne bağlı olarak yüksek frekanslı sismik dalganın enerjisi sönümleneceği için spektrumun yüksek frekans bölümünde baskın hale gelmeyecektir.

Yüzey dalgasının çok kanallı analizi yönteminin veri-işlem adımları dispersiyon eğrisinin seçimiyle başlamaktadır. Dispersiyon eğrisini oluşturmak için öncelikle uzaklık-zaman ortamında kaydedilen veriye dalga alanı dönüşümü uygulamak gerekmektedir. Çok kanallı toplanan verinin $U(x,t)$ zaman-uzaklık ortamından, $(f-k)$ frekans-dalgasayısı ortamına aktarımı aşağıdaki şemada verilen Fourier dönüşümü ile sağlanır (Şekil 3.17).



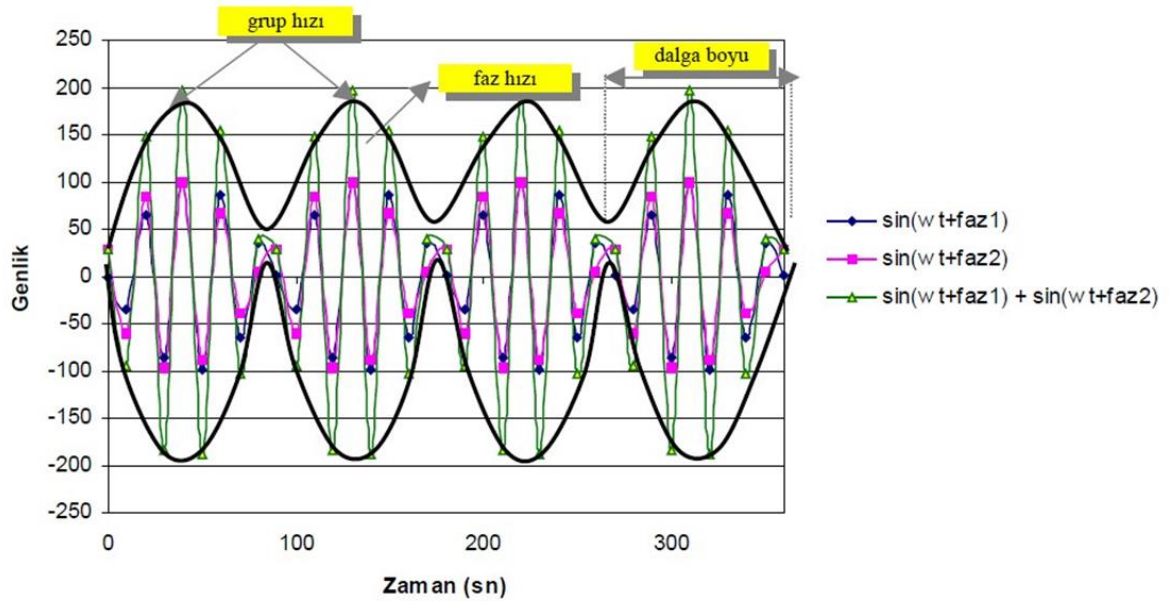
Şekil 3.17. Faz hızı hesabı (Hayashi, 2003)

Yeraltında farklı özelliklere sahip tabakalardaki sismik dalgaların farklı hız ve dalga boylarında yayılmasına geometrik dispersiyon adı verilir (Şekil 3.18), (Strobbia, 2002; Socco ve Strobbia, 2004).



Şekil 3.18 Homojen ortamda faz hızı sabit (A), derinlikle homojen ortamda faz hızının dalga boyuyla değişimi (B) (Socco ve Strobbia, 2004)

MASW yönteminde dispersiyona bağlı olarak iki tür hız ortaya çıkar. Farklı frekanstaki dalgaların farklı fazlarda ilerlemesi sonucu dalgalar üst üste biner ve bu durum dalga treni olarak adlandırılır. Dalga treni üzerinde bulunan herhangi bir noktanın ilerleme hızına faz hızı (c) ve dalga treninin ilerleme hızına da grup hızı (U) denir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Farklı frekans ve fazlı iki harmonik eğrinin toplamından oluşan dalga treni. (Strobbia, 2002)

Frekans-dalga sayısı (f-k) ortamına aktarılan veri üzerinden dispersiyon eğrisinin elde edilmesi için;

$$C(w) = \frac{w}{kw} \quad (3.9)$$

bağıntısı kullanılır. Bağıntıda w açısal frekans ve k frekansa bağlı dalga sayısıdır.

Dalga treninin yapıcı girişimi sonucu dispersif özellik gösteren grup hızı,

$$U(w) = \frac{\partial w}{\partial k} \quad (3.10)$$

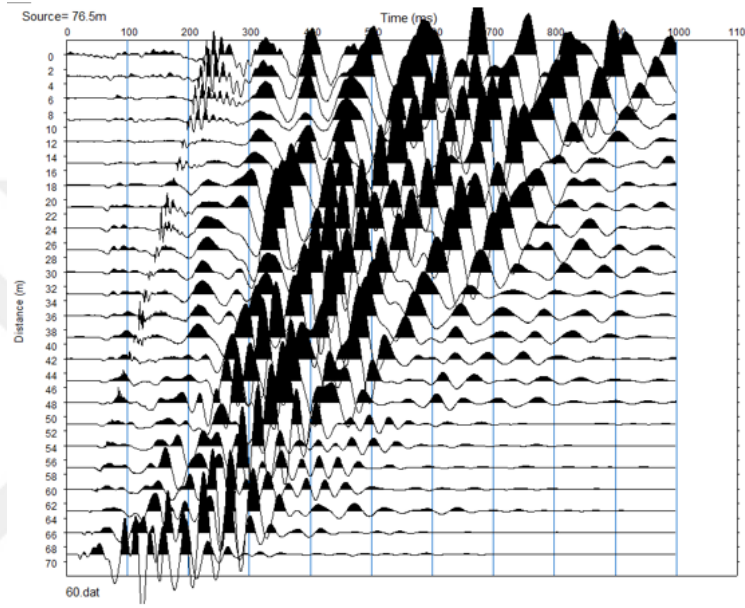
ile hesaplanır. Faz hızı ve grup hızı arasındaki ilişki ise,

$$U(w) = c(w) - \lambda \frac{\partial cw}{\partial \lambda} \quad (3.11)$$

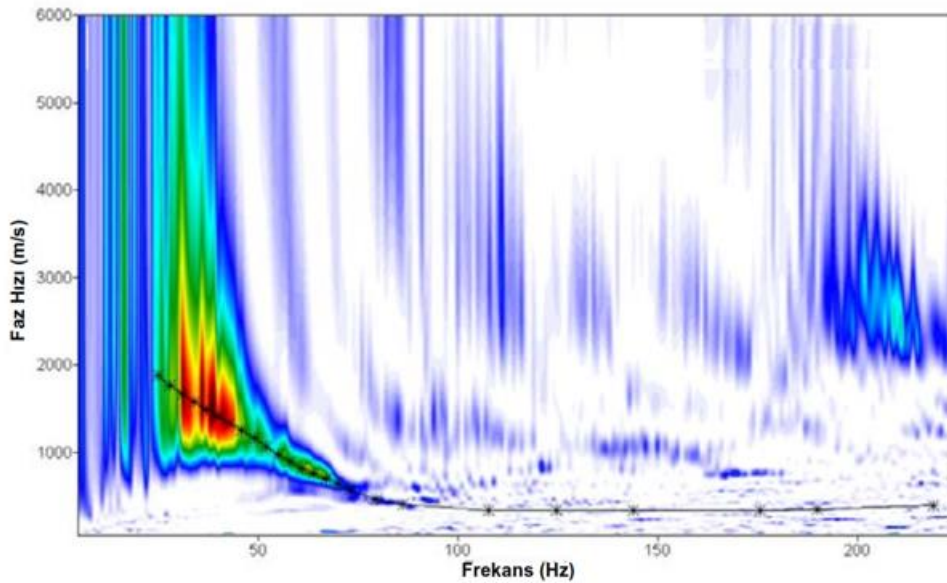
ile gösterilir. Burada U grup hızı, c faz hızı, λ dalga boyudur. Grup hızı faz hızından her zaman küçüktür.

MASW uygulamaları kullanılan cihazın kanal sayısına bağlı olarak 4,5-10 Hz'lik jeofonların bu kanallarla bağlanması ile yapılmaktadır. Toplanan veriler zaman- uzaklık ekseninde görüntülenir (Şekil 3.20). Eğer vuruşlar belirli ofsetler yardımıyla baş ve sondan

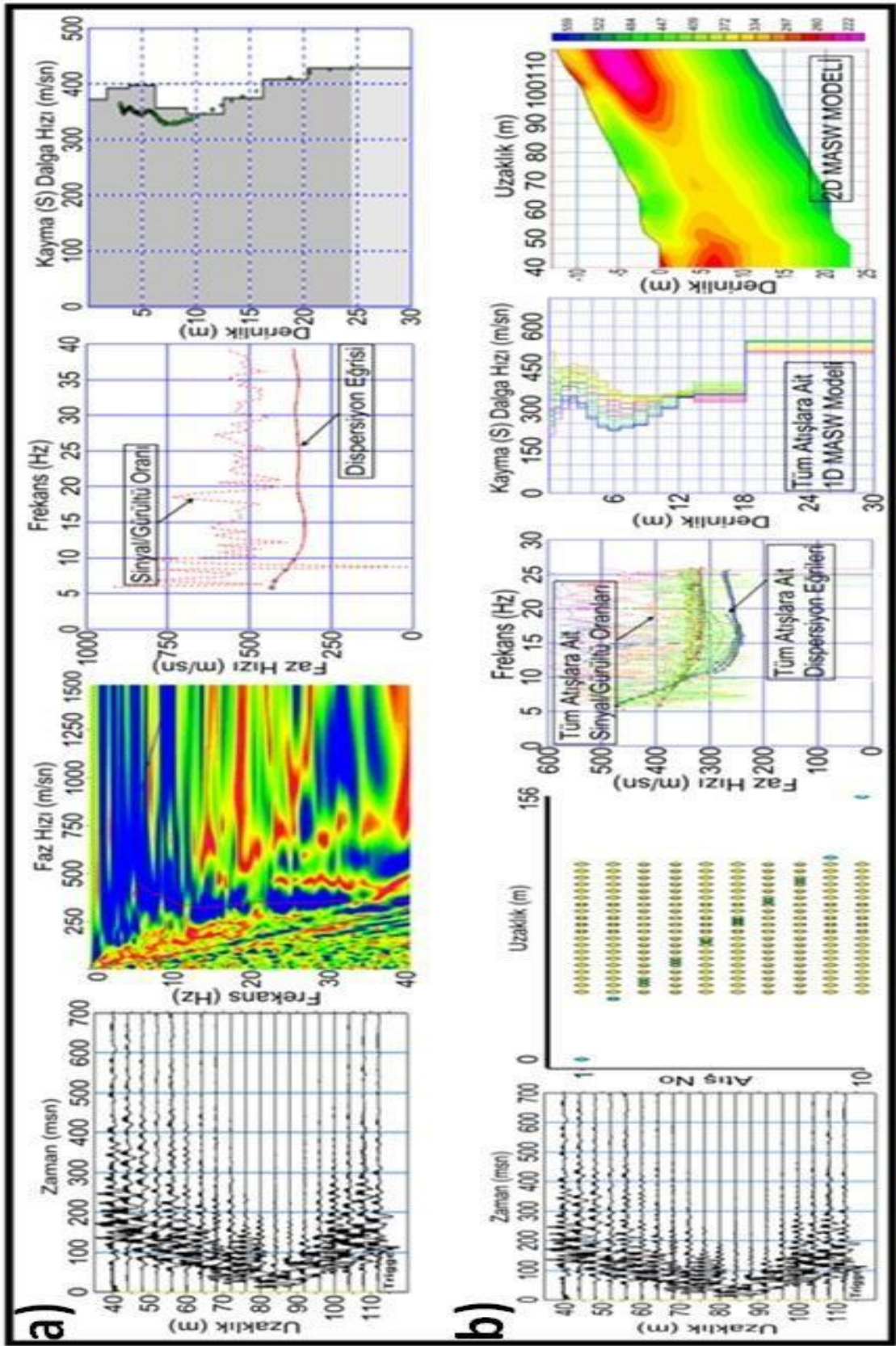
yapılırsa tek boyutlu bir sonuç üretilir. Ancak tüm jeofonların arasından yapılan vuruşlarla iki boyutlu yeraltı kesme dalgası modeli üretmek olanaklıdır. Elde edilen veriler ön proseslerden geçirildikten sonra, Şekil 3.21’de verilen dispersiyon eğrileri elde edilir. Dispersiyon eğrilerinden yararlanılarak yapılan ters-çözüm işlemleri sonucunda yeraltının derinliğe ve tabaka sayısına bağlı olarak Vs hız değerleri saptanır (Şekil 3.22). İki boyutlu toplanan veriler ise yapılan ters-çözüm işlemlerinden sonra iki boyutlu görüntülenerek, yeraltının iki boyutlu Vs hız dağılım kesitleri elde edilir (Şekil 3.23).



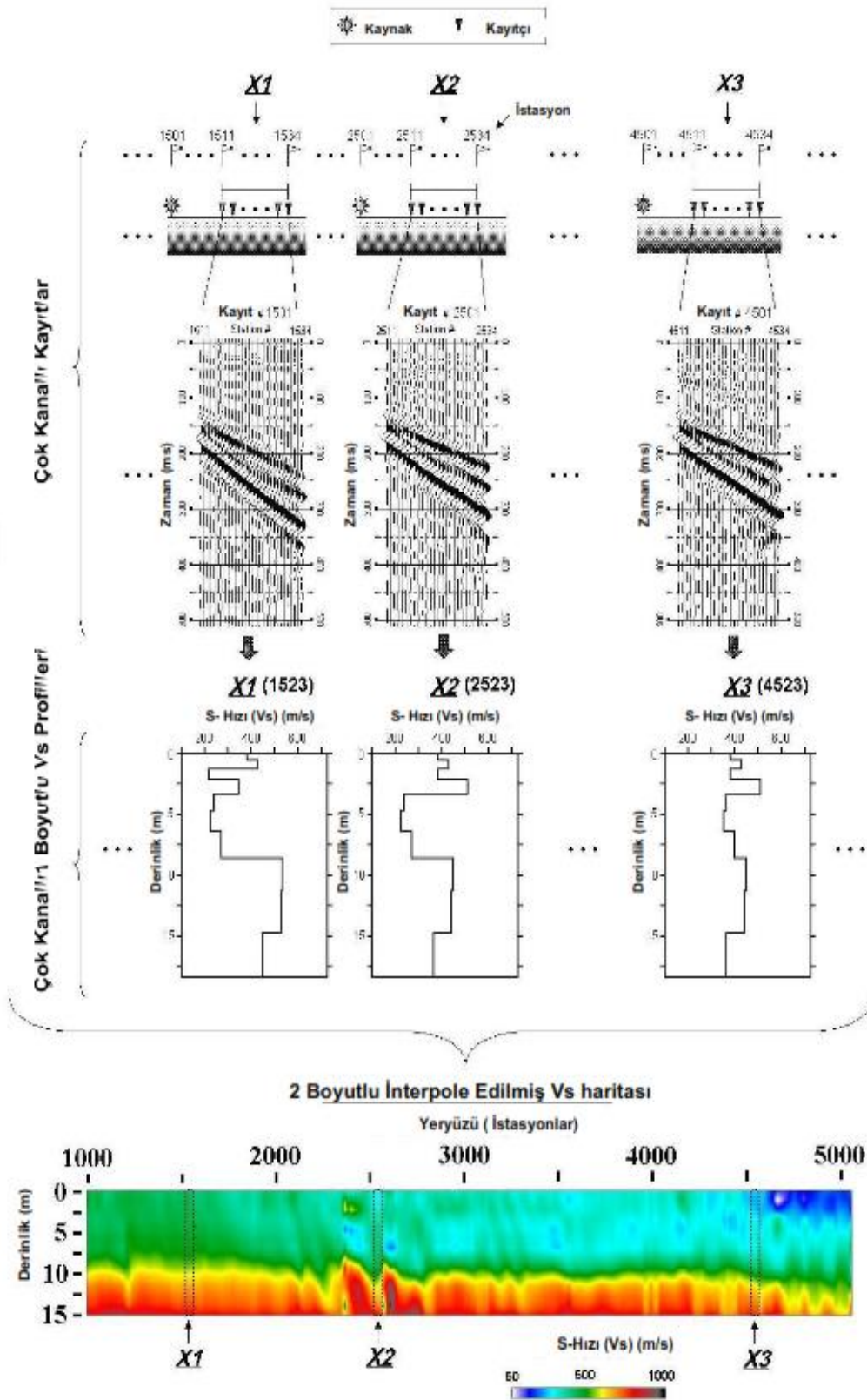
Şekil 3.20 Örnek MASW kayıt görüntüsü.



Şekil 3.21 Örnek dispersiyon eğrisi grafiği (Park ve Miller, 2005).



Şekil 3.22 a) 1B Masw ters çözüm akışı, b) 2B Masw ters çözüm akışı (Çatlıoğlu, 2015)



Şekil 3.23 İki boyutlu MASW hız dağılım kesiti (Park ve Miller, 2005).

3.3. Arazi Çalışmaları

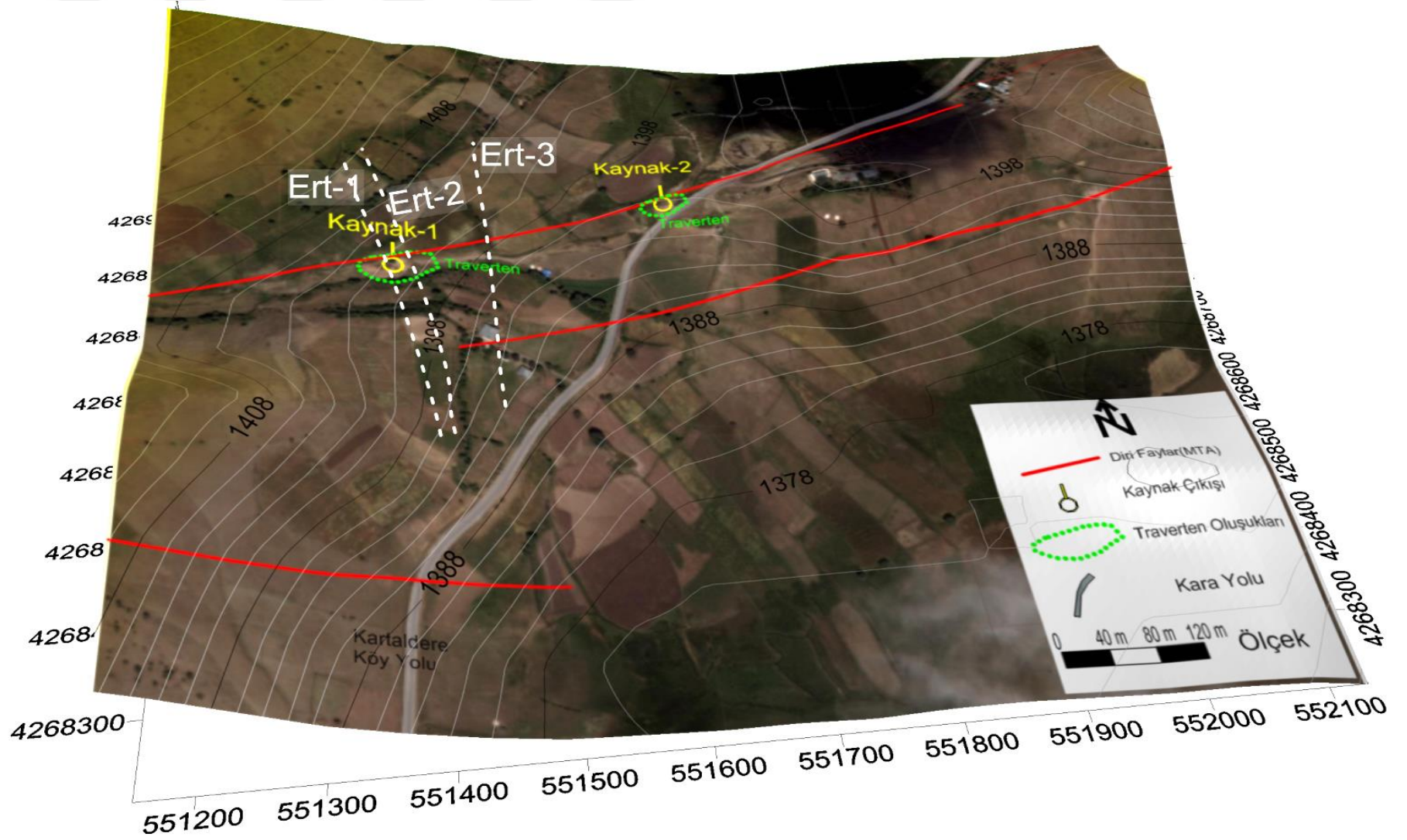
Sahada yapılan arazi çalışmaları kapsamında, gözlemsel jeolojik-hidrojeolojik incelemeler neticesinde jeofizik çalışma yapılacak lokasyonlar, ölçüm doğrultuları ve ölçüm parametreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda sahada Kaynak-1 noktası çevresinde yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bir birine paralel 3 profilde çok elektrotlu elektrik özdirenç tomografi ölçümleri, 1 profilde sismik kırılma tomografi-2 boyutlu yüzey dalgası analizi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak-2 noktasında ise 1 profilde sismik kırılma tomografi-2 boyutlu yüzey dalgası analizi ölçümü alınmıştır.

Uygulanan yöntemlere ait detaylı bilgiler ilgili konu başlığı altında sunulmuştur.

3.2.1. Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Yöntemi Veri Alımı

Sahadaki gözlemsel incelemeler ve literatür bilgileri(jeoloji haritaları ve diri fay haritaları) ışığında yaklaşık olarak Kuzey-Güney doğrultulu olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçü alımı sırasında Metz Elektronik yapımı Sas-24 SD model çok elektrotlu rezistivite cihazı 52 ve 48 elektrotlu kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sahada alınan çok elektrotlu rezistivite ölçümlerinde Wenner Elektrot dizilimi ve elektrotlar arası mesafe 10 m olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Ölçü alımı sırasında elektrot kot ve konumları alınmıştır. Çalışma sahasını kapsayacak şekilde arazi kotları uydu görüntülerinden çekilmiş, sahanın 3 boyutlu yüzey topoğrafyası üzerine Mta diri fay haritası ve kaynak yerleri ile birlikte alınan çok elektrotlu rezistivite profilleri işaretlenerek Şekil 3.24 de verilmiştir.



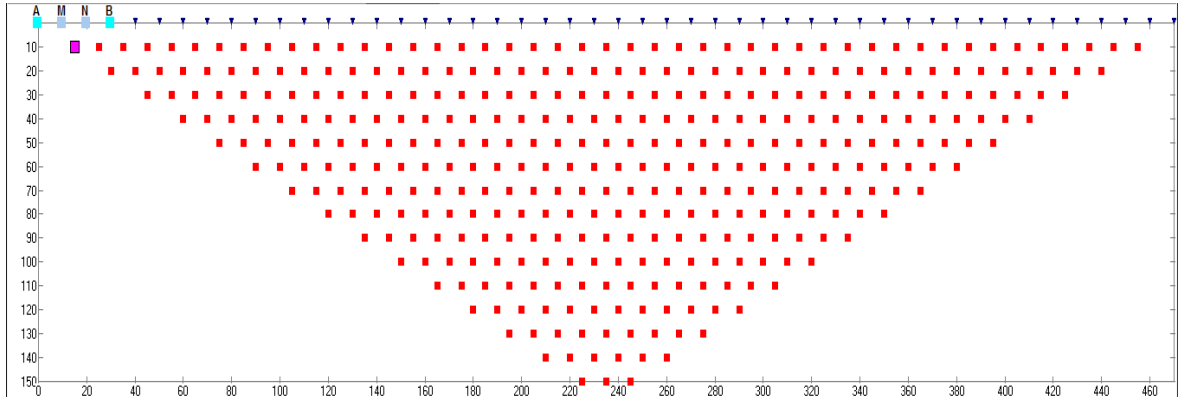
İnceleme alanında, alınan çok elektrotlu rezistivite ölçümlerinden iki profili(Ert-1 ve Ert-2) kaynak-1 olarak isimlendirilmiş çıkış noktasından geçmektedir. Diğer profil (Ert-3) ise kaynak-1 lokasyonunun doğusunda ilk iki profile yaklaşık paralel olarak alınmıştır.



Foto 3.1. Çalışmalarda kullanılan çok elektrotlu rezistivite cihaz (Metz Eletronik)



Foto 3.2. Çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışmalarından görünüm. Ert-2 lokasyonu bakış yönü KB

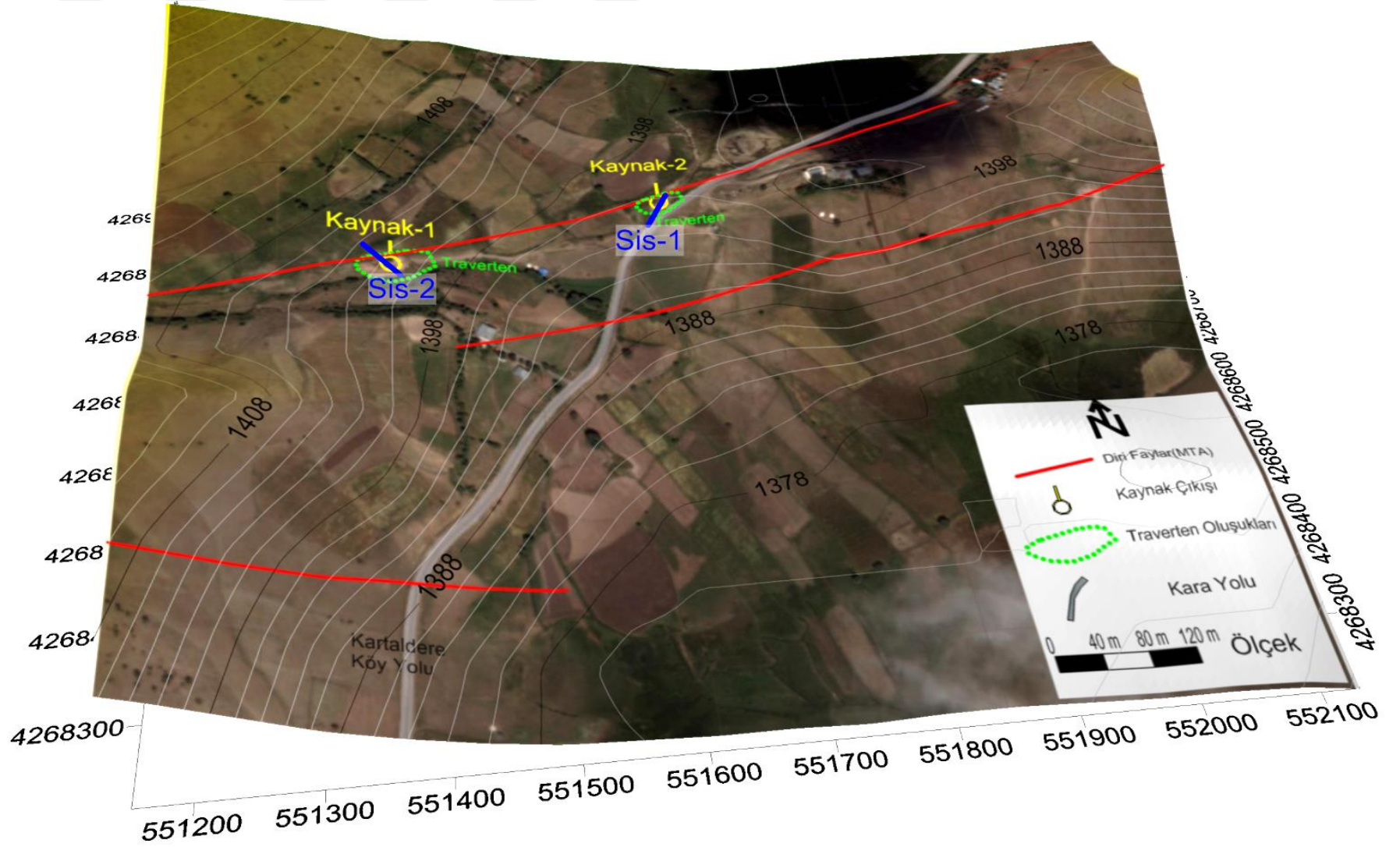


Şekil 3.25. Sahada uygulanan Wenner elektrot dizilim geometrisi.

Çalışma sahasında alınan ölçüm sonuçları ilgi konu başlığı altına yorumlanmıştır.

4.1.2. Sismik Kırılma Tomografi ve İki Boyutlu Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi Veri Alımı

Sahadaki gözlemsel incelemeler ve literatür bilgileri (jeoloji haritaları ve diri fay haritaları) ışığında, sahanın batı kesiminde yüzeye çıkan sıcak ve mineralli su kaynağı kaynak-1, sahanın doğu kısmında yüzeyde gözlenen traverten oluşukların bulunduğu kesimde sıcak ve mineralli su çıkışı olarak değerlendirilmiş Kaynak-2 olarak isimlendirilmiştir. Kaynak-1 noktasında yaklaşık Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu olarak Sis-2 ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kaynak-2 noktası yakınında Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultulu olarak Sis-1 ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlere ait lokasyon planı Şekil 3.26 de verilmiştir.



Şekil 3.26. Sismik çalışmalar lokasyon planı.



Foto 3.3. Sismik çalışmalar Kullanılan Mühendislik Sismometresi



(a)

(b)

Foto 3.4. Sistmg-1 lokasyonu ölçü alımları. (a) Bakış GB, (b) Bakış KD

Çalışmalar sırasında Geometrics marka Geode Model 24 kanallı Sismik cihazı, 4.5 Hz düşey algılayıcılar(jeofonlar) kullanılmıştır. Ölçü alımı sırasında jeofon aralıkları 3 m, ofset mesafeleri 7.5 m toplam serim boyu 84 m seçilerek ölçümler alınmıştır. Ölçümler sırasında örnekleme aralığı 0.5 sn, kayıt uzunluğu 0.7-1.0 sn aralığında tutulmuştur. Ölçü alımı sırasında atışçı ilk jeofon konumu 0 m, ilk atışçı konumu -7.5 m den başlayarak 3 m kaydırılarak serim boyunca 29 farklı konumdan atış yapılarak tomografi tekniği ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

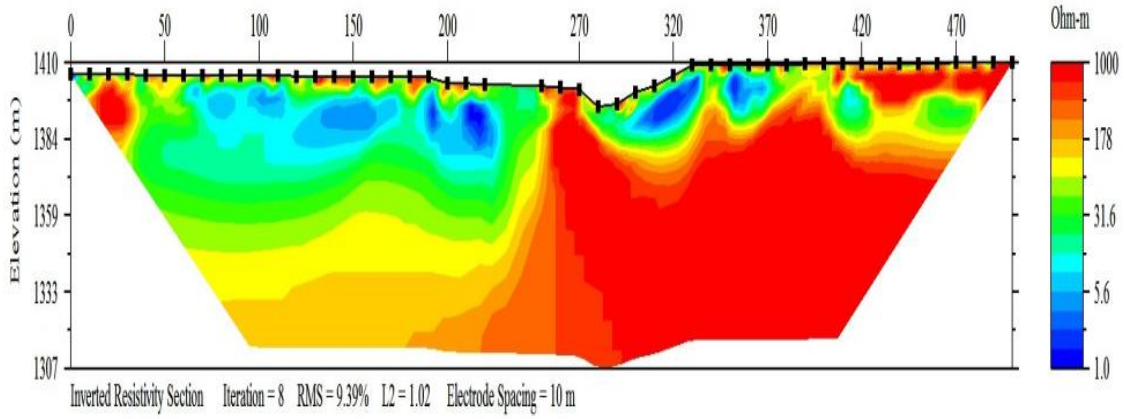
İnceleme sahasında alınan ham kayıtların istenmeyen kısımları (gürültülü kısımları) ayıklanarak analiz (modelleme) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan modellemeler sonucuna elde edilen 2-3 boyutlu fiziksel değişim kesitleri bölgenin jeoloji, hidrojeoloji ve tektonik yapısı göz önünde bulundurularak ilgili konu başlığı altında yorumlanmıştır.

4.1. Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Yöntemi Veri İşlemleri ve Bulgular

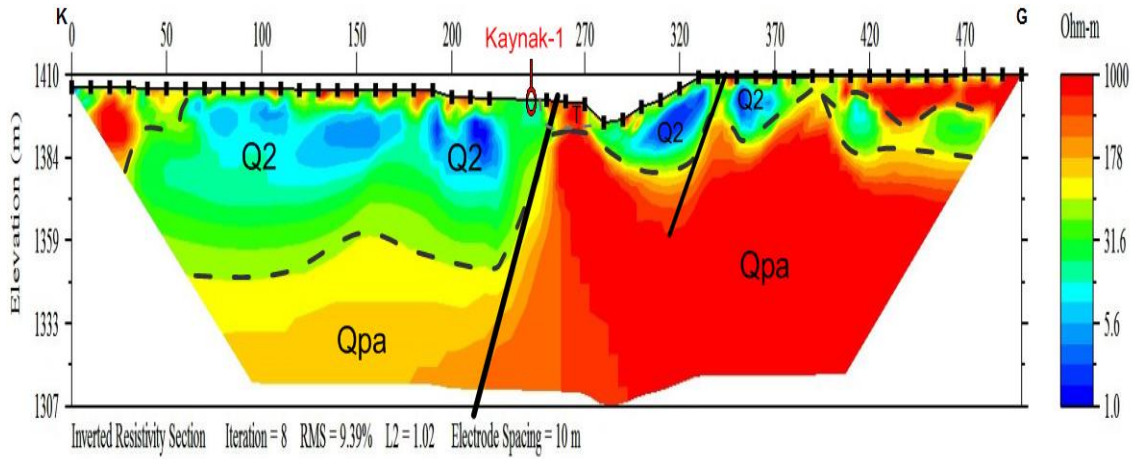
İnceleme alanında yaklaşık bir birine paralel 3 profilde yapılan çok elektrotlu elektrik özdirenç ölçümleri sonucunda elde edilen verilere her bir elektrot kot-konumları girildikten sonra AGİ firmasının Earthimager 2D ve 3D yazılımları ile modellenmiştir. Modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen 2 boyutlu elektrik özdirenç yapı kesitlerinin ham hali ve yorumlanmış halleri aşağıda verilmiştir (Şekil 4.1-a,b,c).



(a-)



(b-)



Qpa; Palu Form. Q2; Alüvyon yelpazesi, taraça T; Traverten /; Fay

(c-)

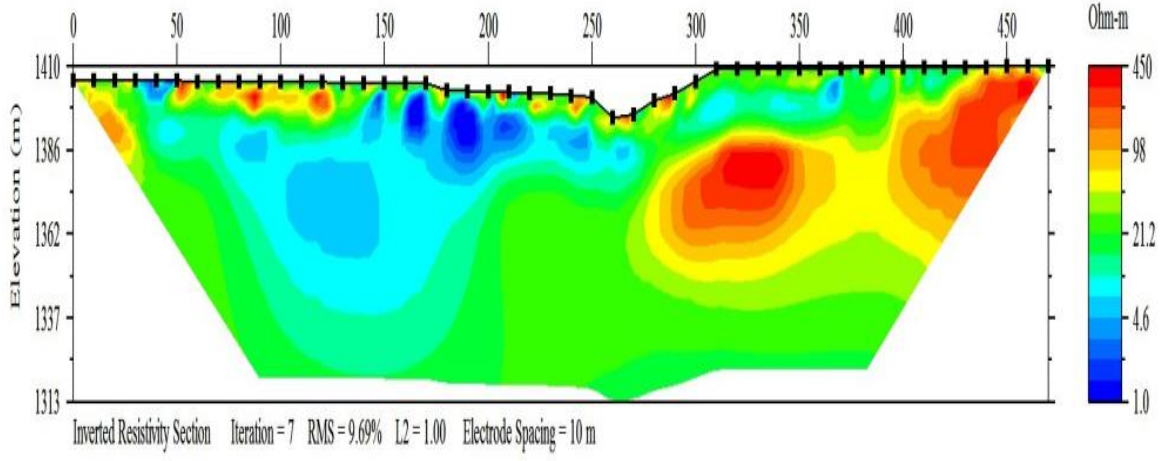
Şekil 4.1. a- Ert-1 profili uydu görüntüsü, b- Ert-1 profili modellenmiş elektrik öz direnç yapı kesiti, c- Ert-1 yorumlanmış elektrik öz direnç yapı kesiti.

Ert-1 Elektrik özdirenç tomografi yapı kesiti sahada yapılan jeolojik-hidrojeolojik incelemeler ve inceleme alanı jeoloji hartasından elde edinilen bilgiler ışığında yorumlanmış Şekil 4.1-c de verilmiştir.

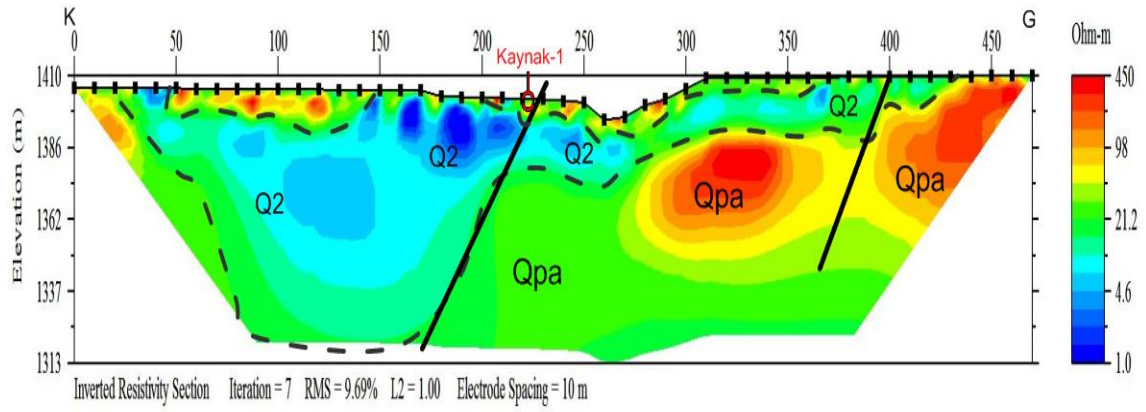
Şekil 4.1-c de verilen elektrik özdirenç tomografi yapı kesiti incelendiğinde; kesitin güney kesimlerinde yüzeyden yaklaşık 10 m derinliğe kadar, kesitin kuzey kesimlerine doğru yaklaşık 60-70 m derinliğe kadar ulaşan düşük(yaklaşık 1-110 Ωm aralığında) özdirençli kesimlerin Alüvyon yelpazesine ait kumlu killi birimler olduğu düşünülmektedir. Kesitin güney kesimlerinde sığ derinliklerde, orta kesimlerinde ise aniden düşen ve kesitin kuzey kesimlerine doğru yaklaşık aynı derinlikte devam eden yüksek(yaklaşık 110< Ωm) özdirençli kesimlerin ise Palu formasyonuna (Qpa) ait kumtaşı birimi olduğu düşünülmektedir. Kesitin orta kesiminde bulunan Kaynak-1 noktasının altında yüksek özdirençli (kumtaşı) biriminden düşük özdirençli(kumlu killi) birimlere keskin bir geçiş gözlemlenmesinin MTA diri faylar haritasında da gösterilen Doğu Anadolu fay zone içerisindeki faylanmalara bağlı gelişen bir formasyon dokunağı olduğu saptanmıştır. Ert-2 ye ait modellenmiş ve yorumlanmış kesit Şekil 4.2.-a,b,c de verilmiştir.



(a-)



(b-)



Qpa; Palu Form. Q2; Alüvyon yelpazesi, taraça T; Traverten /; Fay

(c-)

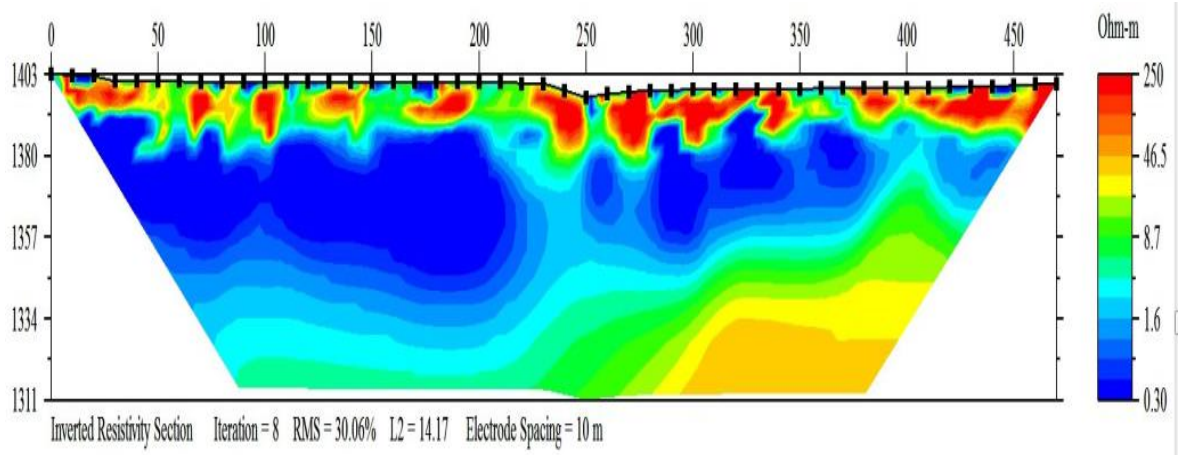
Şekil 4.2. a- Ert-2 profili uydu görüntüsü, b- Ert-2 profili modellenmiş elektrik öz direnç yapı kesiti, c- Ert-2 yorumlanmış elektrik öz direnç yapı kesiti.

Ert-2 Elektrik özdirenç tomografi yapı kesiti sahada yapılan jeolojik-hidrojeolojik incelemeler ve inceleme alanı jeoloji hartasından elde edinilen bilgiler ışığında yorumlanmış Şekil 4.2-c de verilmiştir.

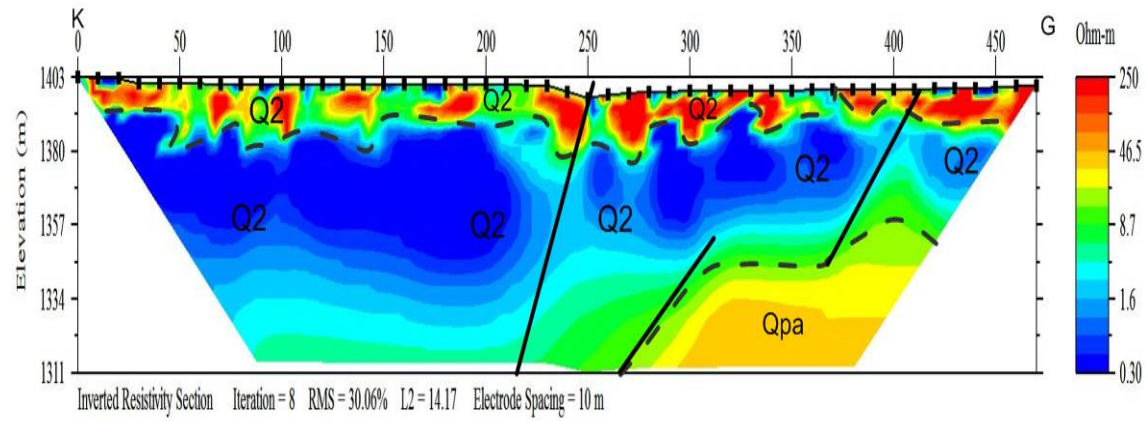
Şekil 4.2-c de verilen elektrik özdirenç tomografi yapı kesiti incelendiğinde; kesitin güney kesimlerinde yüzeyden yaklaşık 10 m derinliğe kadar, kesitin kuzey kesimlerine doğru yaklaşık 90-100 m derinliğe kadar ulaşan düşük özdirençli kesimlerin Alüvyon yelpazesine ait, kumlu killi birimler olduğu düşünülmektedir. Kesitin güney kesimlerinde sığ derinliklerde, kesitin orta kesimlerinde ise aniden düşen ve kesitin kuzey kesimlerine doğru yaklaşık aynı derinlikte devam eden yüksek özdirençli kesimlerin Palu formasyonuna (Qpa) ait kumtaşı birimi olduğu düşünülmektedir. Kesitin orta kesiminde bulunan Kaynak-1 noktasının altında yüksek özdirençli (Kumtaşı) biriminden düşük özdirençli(kumlu killi) birimlere keskin bir geçiş gözlemlenmesinin MTA diri faylar haritasında da gösterilen Doğu Anadolu fay zonuna bağlı gelişen bir formasyon dokunağı olduğu saptanmıştır. Kesitin güney kesimde Palu formasyonu içerisinde gözlenen nispeten daha yüksek özdirençli kesimler arasında gözlenen süreksizliğin Doğu Anadolu fay zonuna ait tali kırıklardan birisi olduğu düşünülmektedir. Ert-3 e ait modellenmiş ve yorumlanmış kesit Şekil 4.3-a,b,c da verilmiştir.



(a-)



(b-)



Qpa; Palu Form. Q2; Alüvyon yelpazesi, taraça T; Traverten /; Fay

(c-)

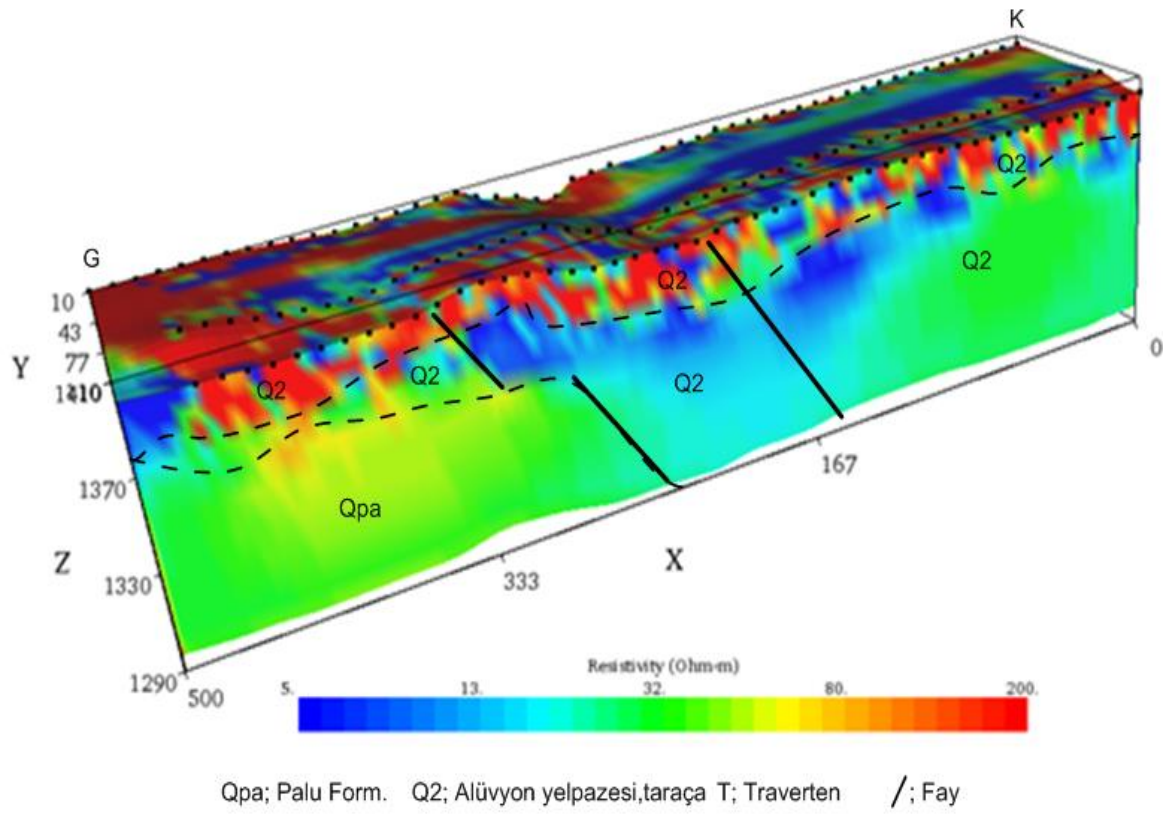
Şekil 4.3. a- Ert-3 profili uydu görüntüsü, b- Ert-3 profili modellenmiş elektrik öz direnç yapı kesiti, c- Ert-3 yorumlanmış elektrik öz direnç yapı kesiti.

Ert-3 Elektrik özdirenç tomografi yapı kesiti sahada yapılan jeolojik-hidrojeolojik incelemeler ve inceleme alanı jeoloji hartasından elde edinilen bilgiler ışığında yorumlanmış şekil 4.3-c de verilmiştir.

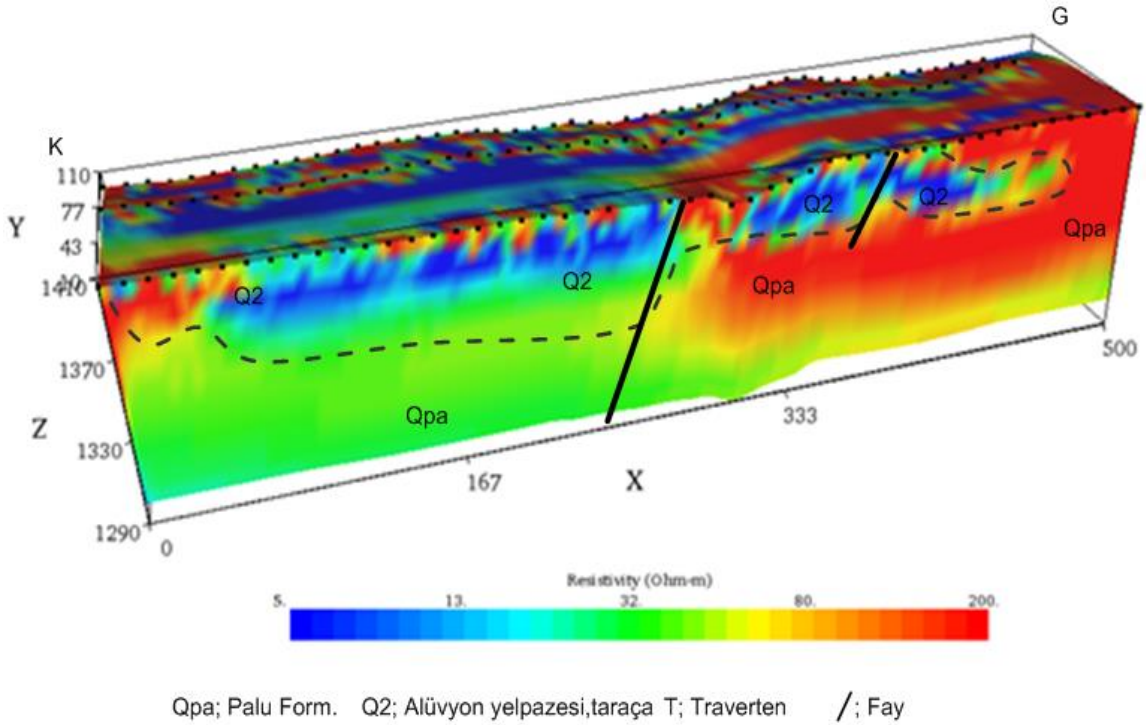
Şekil 4.3-c de verilen elektrik özdirenç tomografi yapı kesiti incelendiğinde; kentin güney kesimlerinde yüzeyden yaklaşık 45-50 m derinliğe kadar devam eden, kesitin kuzey kesimlerine doğru yaklaşık < 100 m derinliğe kadar üstte yüksek alt kesimlerinde düşük özdirençli kesimlerin Alüvyon yelpazesine ait, çakıllı kumlu killi birimler olduğu düşünülmektedir. Bu formasyon içerisinde gözlenen yüksek özdirençli kesimler çakıl birimi, orta ve düşük özdirençli kesimler ise kumlu killi birimler olduğu düşünülmektedir. Kesitin güney kesimlerinde yaklaşık 45-50 m derinlikten başlayıp, kesitin orta kesimlerinde ise aniden düşen yüksek özdirençli kesimlerin Palu formasyonuna (Qpa) ait kumtaşı birimi olduğu düşünülmektedir.

Kesitin güney kesiminde yaklaşık 45-50 m derinlikten itibaren bulunan yüksek özdirençli (Kumtaşı) biriminden yanal olarak düşük özdirençli(kumlu killi) birimlere keskin bir geçiş gözlemlenmesinin MTA diri faylar haritasında da gösterilen Doğu Anadolu fay zonuna bağlı gelişen bir formasyon dokanağı olduğu saptanmıştır. Kesitin orta kesimde Alüvyon yelpazesi, içerisinde gözlenen nispeten daha yüksek özdirençli kesimlerin arasında gözlenen süreksizliğin Doğu Anadolu fay zonuna ait tali kırıklardan birisi olduğu düşünülmektedir.

Çalışma sahasında yapılan çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmaları sonucunda elde edilen 2- boyutlu paralel elektrik özdirenç yapı kesitleri 3-boyutlu olarak modellenmiş ve sonuçları Şekil 4.4-a,b ve Şekil 4.5-a,b de verilmiştir.



(a) Bakış yönü Güney-Doğu



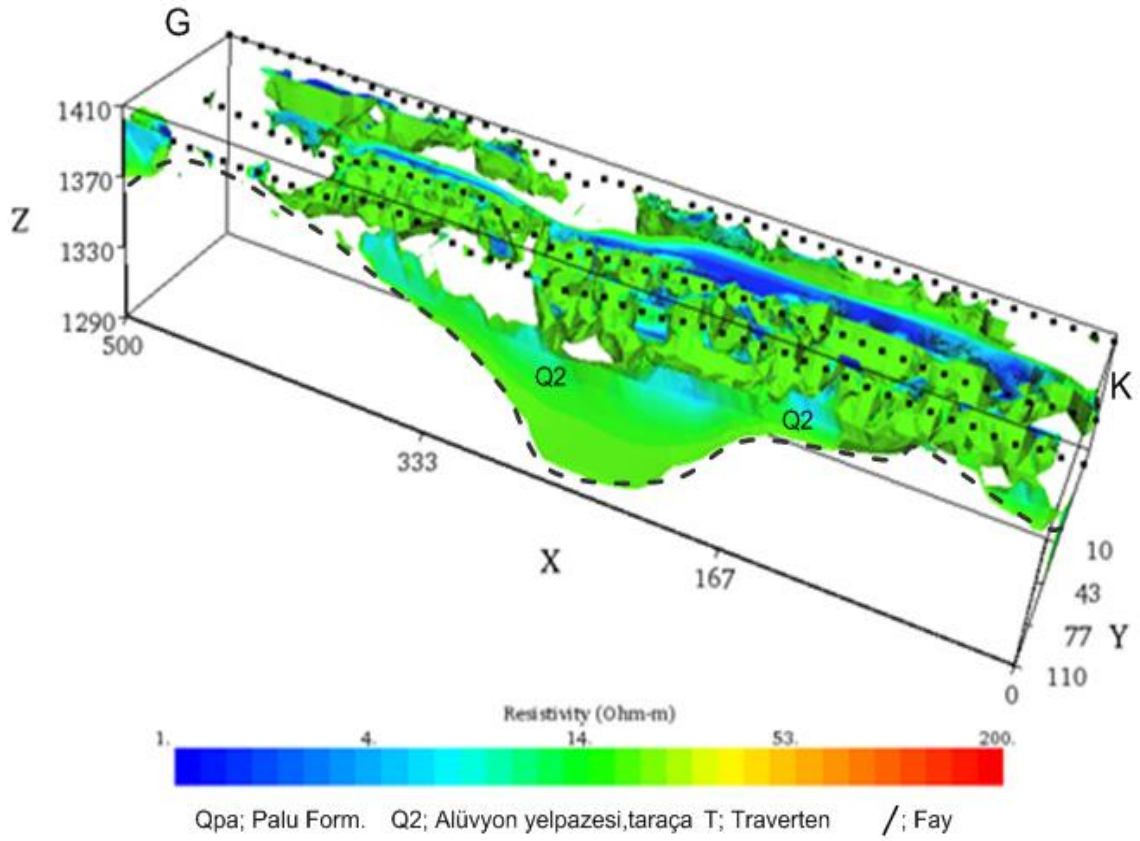
(b) Bakış yönü Kuzey-Batı

Şekil 4.4. Kanak-1 yakın çevresi 3-boyutlu elektrik öz direnç blok diyagram görünümleri.

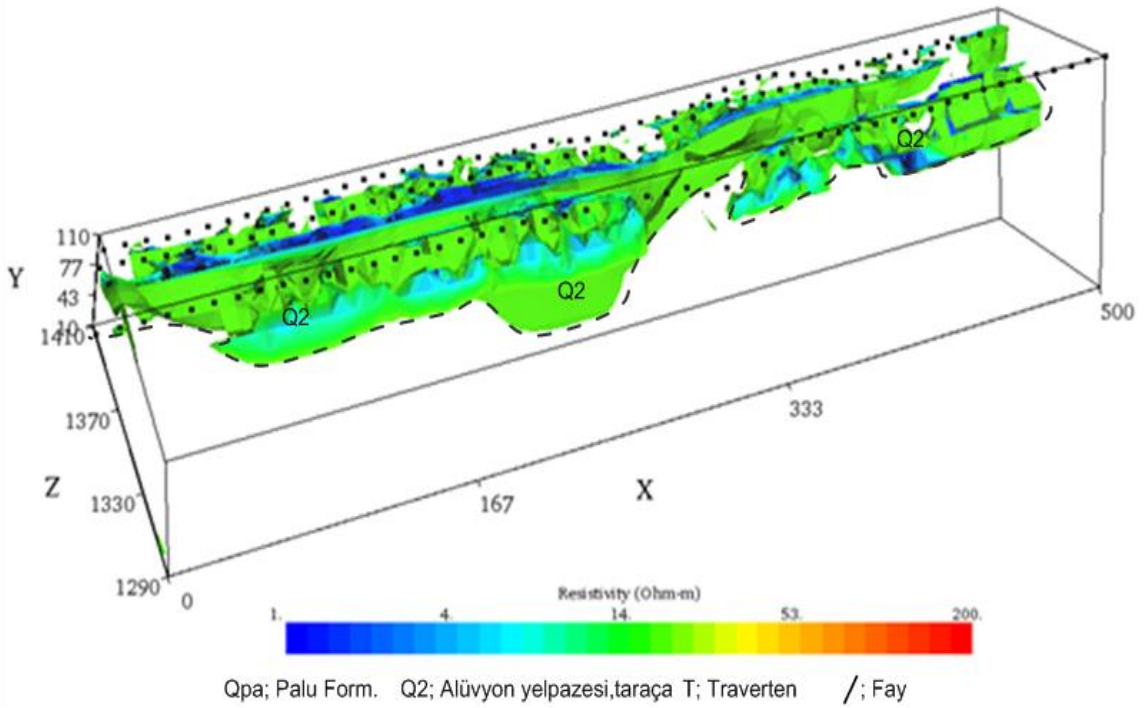
Kaynak-1 noktası yakınında yaklaşık Kuzey-güney doğrultulu olarak alınan üç profil çok elektrotlu elektrik özdirenç ölçümleri 2 boyutlu değerlendirilmesinin ardından 3- boyutlu olarak modellenmiş ve şekil 4.4 de verilmiştir.

Şekil 4.4 de verilen 3- boyutlu elektrik özdirenç blok diyagramları incelendiğinde; Palu formasyonuna (Qpa) ait kumtaşı birimi blok diyagramın güney batısında yüzeyden başlayıp, blok diyagramın orta kısımlarında faya bağlı olarak yaklaşık 40-50 m derinlikten itibaren devam ettiği tespit düşünülmektedir. Yine aynı birimin blok diyagramın güney-doğu kesiminde yaklaşık 30-40 m derinlikten başlayıp diyagramın ortasında tespit edilen fayın olduğu kesimlerde araştırma derinliğimizin altına (<100 m) kadar indiği düşünülmektedir.

Alüvyon yelpazesini gösteren Elektrik özdirenç blok diyagram şekil 4.5-a,b de verilmiştir. Blok diyagramda gösterilen düşük özdirençli kesimlerin Alüvyon yelpazesi, taraça formasyonuna ait kumlu killi birimlere ait olduğu ve soğuk su akiferlerini oluşturan kesimler olduğu düşünülmektedir. Blok diyagram incelendiğinde soğuk su akifer formasyonu olduğu düşünülen birilerin kalınlık ve derinliklerinin batıdan doğuya doğru arttığı gözlenmektedir.



(a) Bakış yönü Kuzey-Doğu



(b) Bakış yönü Kuzey-Batı

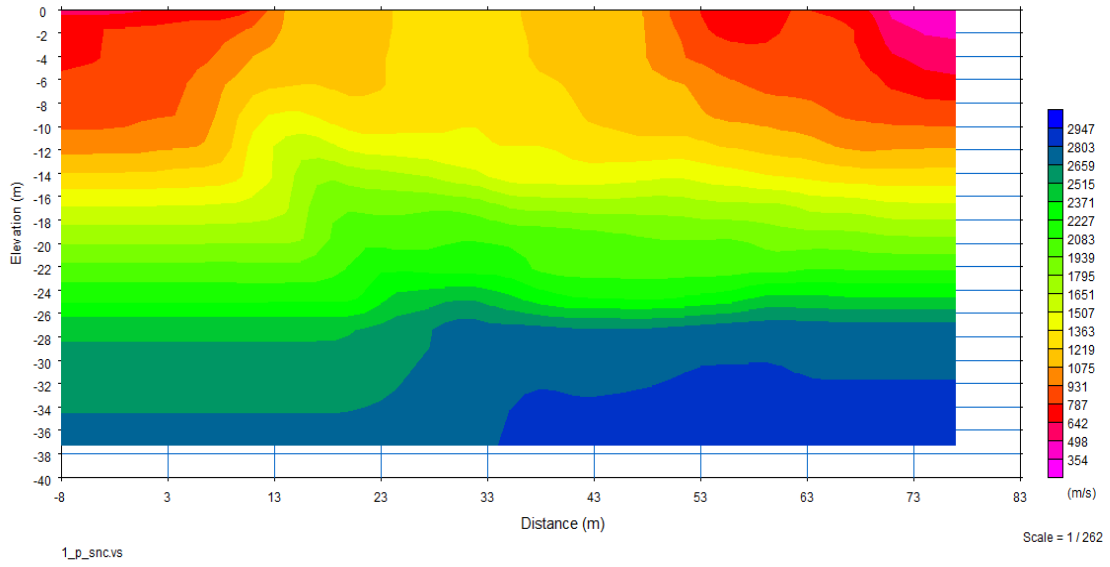
Şekil 4.5. Alüvyon yelpazesi, taraça formasyonu gösteren elektrik öz direnç blok diyagram görünümleri.

4.2. Sismik Kırılma Tomografi ve İki Boyutlu Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi Veri İşlemleri ve Bulgular

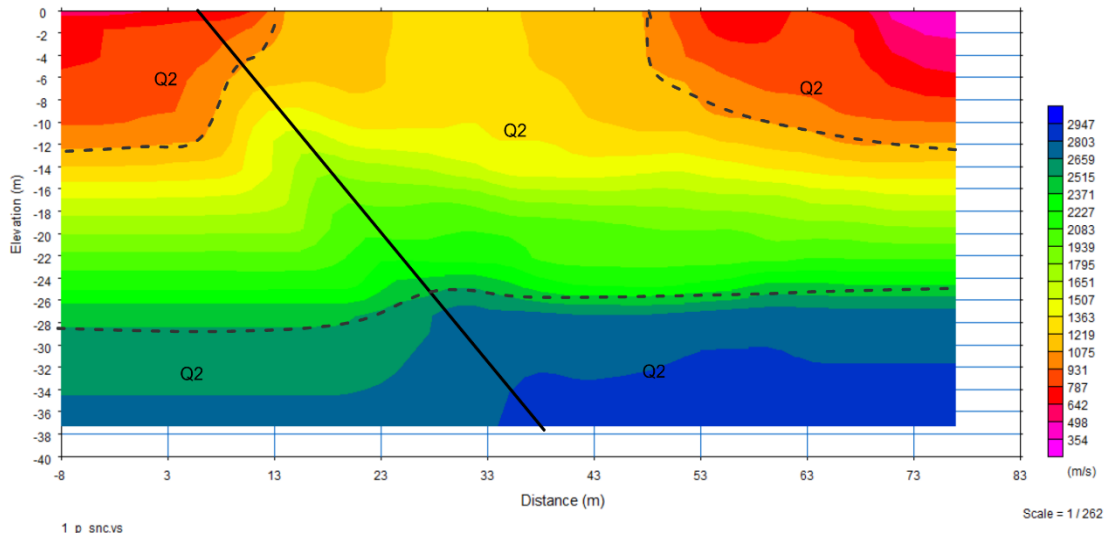
Saha yapılan arazi çalışmaları, sahanın önceden hazırlanmış jeoloji ve diri fay haritaları ışığında, sahanın batı kesiminde yüzeye çıkan sıcak ve mineralli su kaynağı kaynak-1, sahanın doğu kısmında yüzeyde gözlenen traverten oluşukların bulunduğu kesimde kaynak-2 olarak isimlendirilmiştir. Kaynak-1 noktasında yaklaşık Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu olarak Sis-2 ölçümü, Kaynak-2 noktası yakınında Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultulu olarak Sis-1 ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sahada alınan sismik kırılma tomografi ve 2- boyutlu aktif kaynaklı yüzey dalgası analizi verileri Geometrics firmasına Seisimager yazılımında ilk geliş zamanları okunarak uzaklık zaman grafikleri çizdirilmiş, buradan da 2 boyutlu ters çözüm işleminin ardından P dalgası hız dağılım kesitleri elde edilmiştir. Yine aynı yazılımın Surface wave analiz modülü yardımı ile her bir atış noktasında ait dispersiyon eğrileri picklenmiş ve buradan 1-2 boyutlu ters çözüm işlemi sonucunda 2- boyutlu S dalgası hızı kesiti elde edilmiştir(Şekil 4.6-a,b,c ve Şekil 4.7-a,b,c).



(a)



(b)



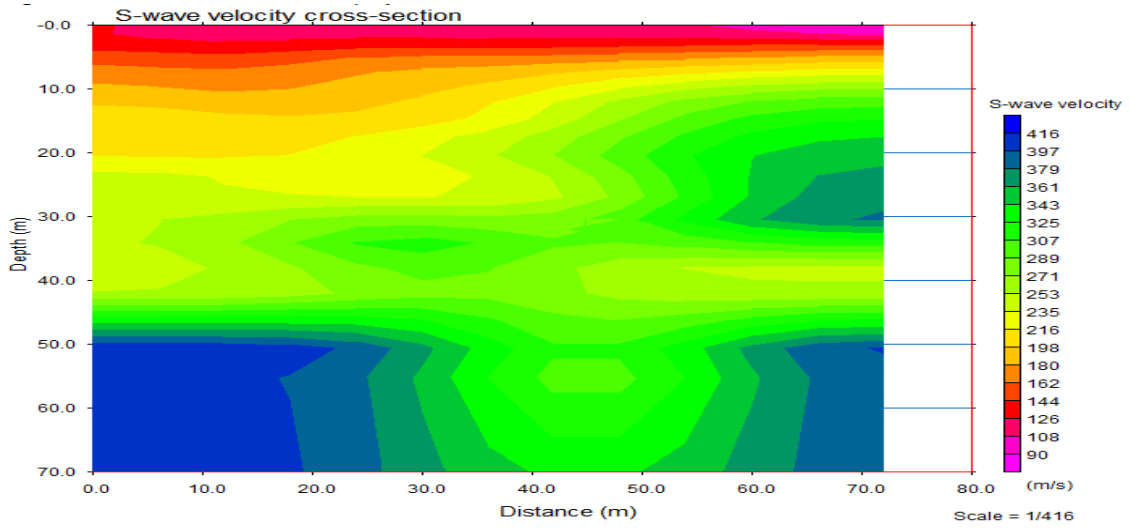
Qpa; Palu Form. Q2; Alüvyon yelpazesi, taraça / ; Fay

(c)

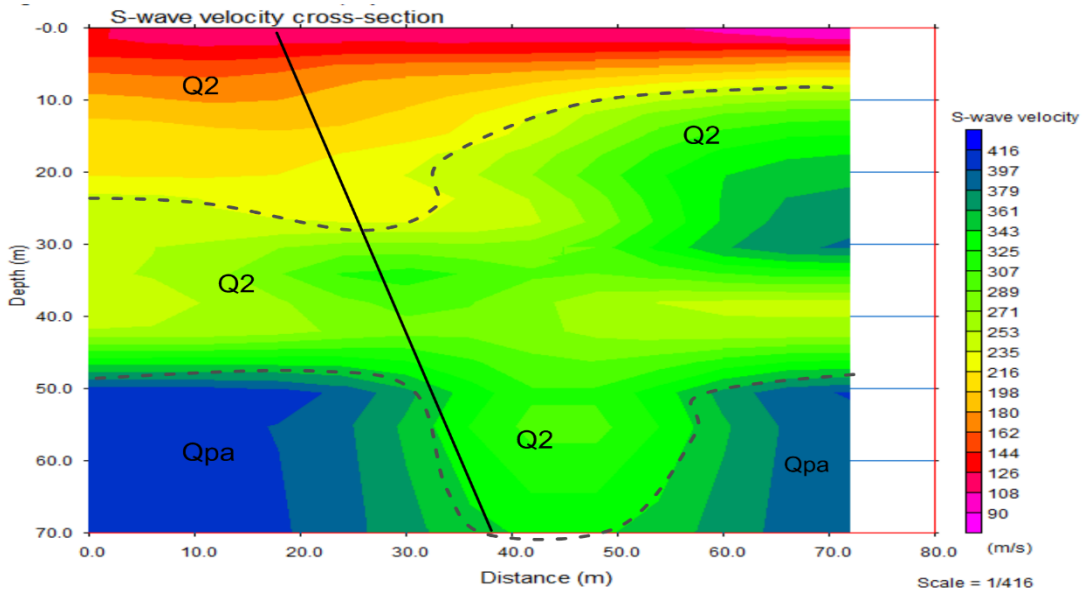
Şekil 4.6. a- Sis-1 profili uydu görüntüsü, b- Sis-1 profili modellenmiş P dalgası hız kesiti, c- Sis-1 profili yorumlanmış P dalgası hız kesiti.



(a)



(b)



Qpa; Palu Form. Q2; Alüvyon yelpazesi, taraça / ; Fay

(c)

Şekil 4.10. a- Sis-1 profili uydu görüntüsü, b- Sis-1 profili modellenmiş S dalgası hız kesiti, c- Sis-1 profili yorumlanmış S dalgası hız kesiti.

Çalışma sahasında ki gözlemsel incelemeler neticesin sıcak ve mineralli su kaynağı olduğu tespit edilen ve Kaynak-2 olarak isimlendirilen kaynak noktasında yaklaşık Kuzey güney doğrulu olarak alınan Sis-1 ölçümü değerlendirilmiş sonuçlar Şekil 4.6, Şekil 4.7 da verilmiştir.

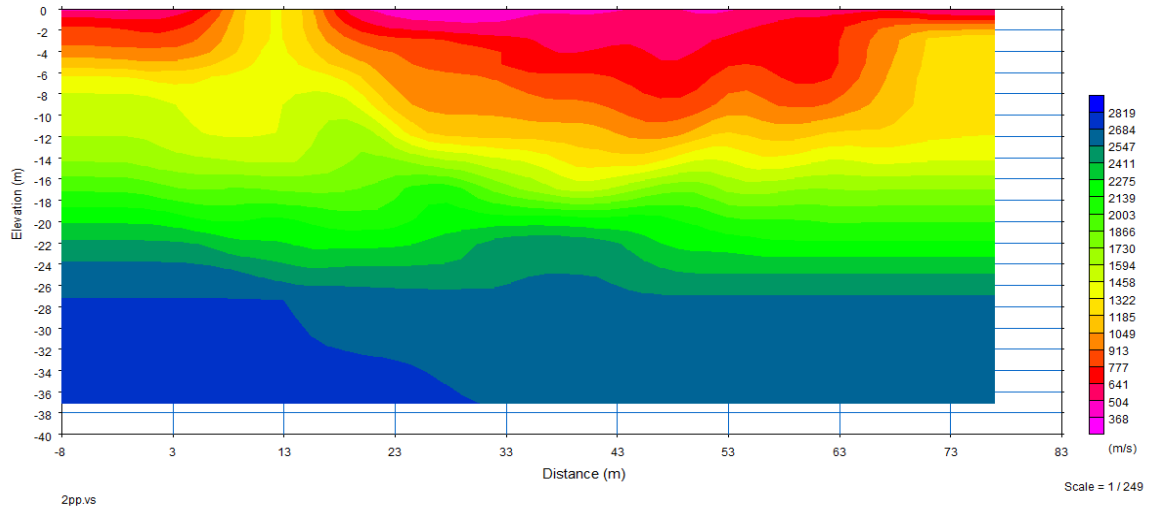
İki boyutlu P dalgası hız değişim kesiti(Şekil 4.6-c) incelendiğinde yaklaşık 37 m derinliğe kadar bilgi elde edilmiştir. P dalgası hız kesiti boyunca yaklaşık yüzeyden araştırma derinliğimize kadar jeoloji haritasında Alüvyon yelpazesi, taraça formasyonu olarak adlandırılan formasyonun devam ettiği ancak kesit üzerinde kesikli çizgiler ile ayrılmış kesimlerin ise formasyon içerisindeki litolojik birim değişim kısımlar olduğu düşünülmektedir.

İki boyutlu S dalgası hız değişim kesiti(Şekil 4.7-c) incelendiğinde yaklaşık 60 m derinliğe kadar bilgi elde edilmiştir. S dalgası hız kesiti boyunca yaklaşık yüzeyden itibaren başlayıp kesitin kuzey ve güney uçlarında yaklaşık 50 m derinliğe kadar, kesitin orta kısmın da araştırma derinliğimize kadar gözlenen düşük ve nispeten biraz daha yüksek S dalgasına sahip kesimin jeoloji haritasında Alüvyon yelpazesi, taraça formasyonu olarak adlandırılan formasyonun devam ettiği ancak kesit üzerinde kesikli çizgiler ile ayrılmış kesimlerin ise formasyon içerisindeki litolojik birim değişim kısımlar olduğu düşünülmektedir. Bu formasyonun altında daha yüksek S dalgası hızına sahip kesimlerin ise Palu formasyonuna (Qpa) ait birimlerin olduğu düşünülmektedir.

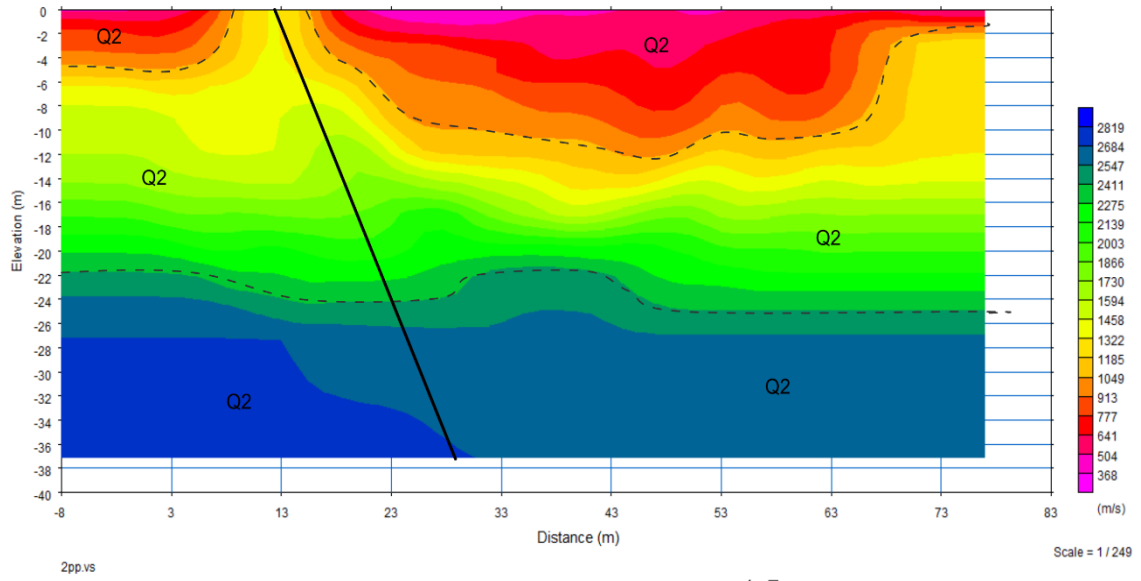
ŞEKİL 4.6-c, Şekil 4.7-c' de kesitlerin yüzeye yakın kesimlerde kesitin yaklaşık 15. m den başlayıp derinlere doğru 35-40. m lerine doğru siyah kesikli çizgi ile vurgulanmış kesimin Doğu Anadolu fay zone içerisindeki kırıkların oluşturduğu etki olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.7-c de iki farklı formasyon dokanağı ve fay düzlemi olduğu düşünülen düşük hız zone gözlenen kesimin yüzeydeki kaynağı oluşturan sıcak ve mineralli suyun çıkışının gerçekleştiği kesim olduğu düşünülmektedir.



(a)



(b)



Qpa; Palu Form. Q2; Alüvyon yelpazesi, taraça / ; Fay

(c)

Şekil 4.8. a- Sis-2 profili uydu görüntüsü, b- Sis-2 profili modellenmiş P dalgası hız kesiti, c- Sis-2 profili yorumlanmış P dalgası hız kesiti.

Çalışma sahasında Kaynak-1 olarak isimlendirilen kaynak noktasında yaklaşık Güneydoğu-kuzeybatı doğrultulu olarak alınan Sis-2 ölçümü değerlendirilmiş sonuçlar şekil 4.8, şekil 4.9 da verilmiştir.

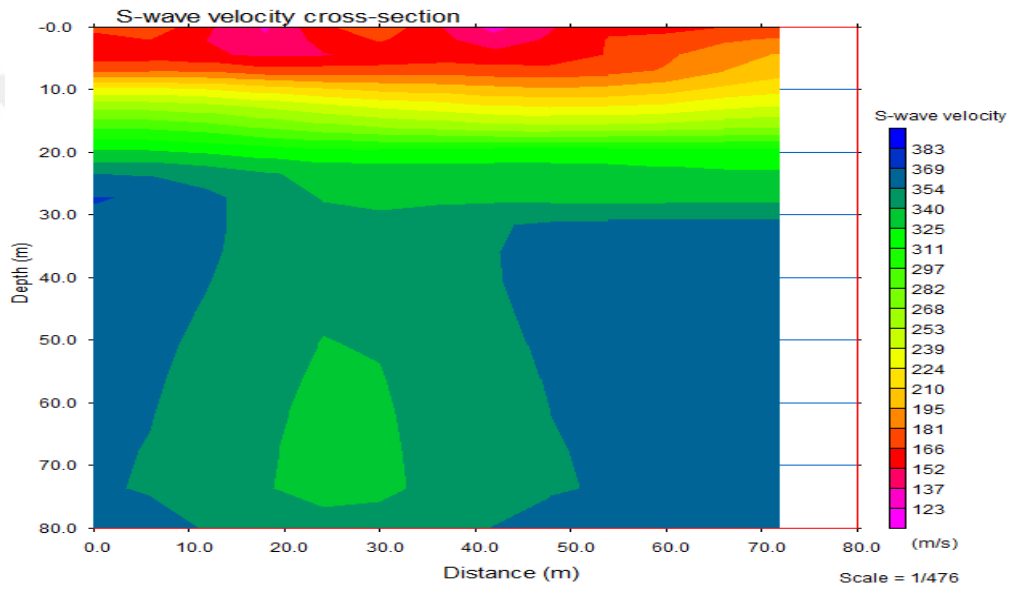
Şekil 4.8-c’de verilen 2-boyutlu P dalgası hız değişim kesiti incelendiğinde yaklaşık 36 m derinliğe kadar bilgi bilgi toplanmıştır. Araştırma derinliğimize kadar gözlenen P dalga hızları değişiminden alüvyon yelpazesinin devam ettiği düşünülmektedir.

Şekil 4.9-c’de verilen 2-boyutlu S dalgası hız değişim kesiti incelendiğinde yaklaşık 80 m derinliğe kadar bilgi elde edilmiştir. S dalgası hız kesiti boyunca yaklaşık yüzeyden itibaren başlayıp araştırma derinliğimize kadar gözlenen düşük ve nispeten biraz daha yüksek S dalgasına sahip kesimin jeoloji haritasında Alüvyon yelpazesi, taraça formasyonun devam ettiği ancak kesit üzerinde kesikli çizgiler ile ayrılmış kesimlerin ise formasyon içerisindeki litolojik birim değişim kısımlar olduğu düşünülmektedir.

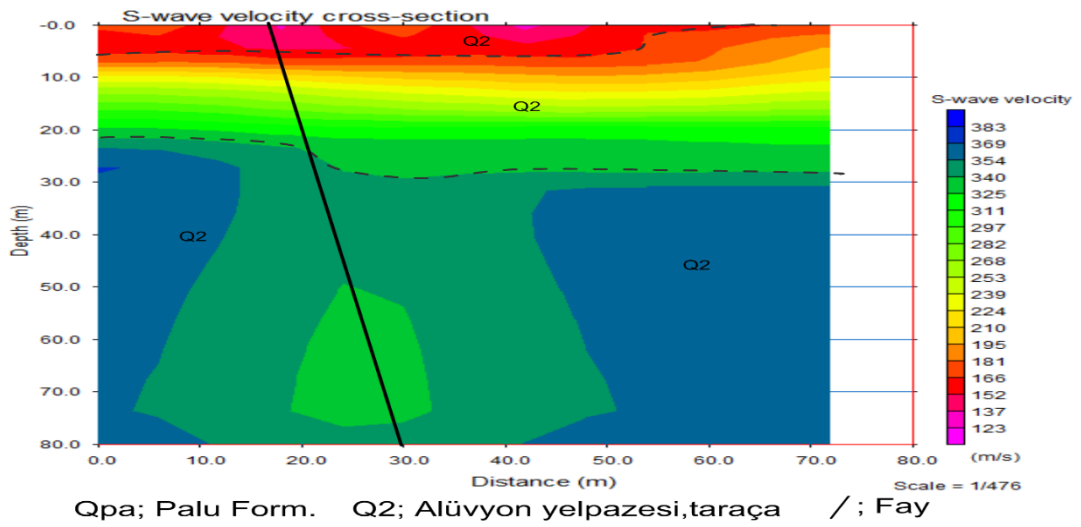
Şekil 4.8-c, şekil 4.9-c’ da kesitlerin yüzeye yakın kesimlerinde yaklaşık 17-19. m den başlayıp derinlere yaklaşık 25-30. m lerine doğru siyah kesikli çizgi ile vurgulanmış kesimin Doğu Anadolu fay zone içerisindeki kırıkların oluşturduğu etki olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.9-c da iki farklı formasyon dokunağı ve fay düzlemi olduğu düşünülen düşük hız zone gözlenen kesimin yüzeydeki kaynağı oluşturan sıcak ve mineralli suyun çıkışının gerçekleştiği kesim olduğu düşünülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.9. a- Sis-2 profili uydu görüntüsü, b- Sis-2 profili modellenmiş S dalgası hız kesiti, c- Sis-2 profili yorumlanmış S dalgası hız kesiti.

5. SONUÇLAR

Çalışma alanı Elazığ İli Maden İlçesi Kartaldere Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde saha incelemelerinde yaklaşık Doğu-batı uzanımlı yaklaşık 270 m mesafede iki noktada kaynak tespit edilmiştir. Bu kaynak çıkış noktalarında karbonat çökellerinin oluşturduğu Traverten oluşukları gözlenmiştir. Saha incelemelerinde gözlenen mineralli su çıkışlarından sahanın batı kesiminde olan Kaynak-1, sahanın doğusunda gözlenen ise Kaynak-2 olarak isimlendirilmiştir. Kaynak-1 olarak isimlendirilen mineralli su çıkış noktasında su sıcaklığı ortalama 24 °C olarak ölçülmüştür.

Kaynak çıkış lokasyonları ve yakın çevresinin jeolojisi incelendiğinde Kaynak-1 çıkış lokasyonunun kuzeyinde, Holosen yaşlı Alüvyon Yelpazesi, Taraça (Q₂); Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil birimlerinin olduğu tespit edilmiştir. Kaynak-1 çıkış lokasyonunun kuzeyinde ise; Plio-Kuvaterner yaşlı Murat Nehri'nin kenarındaki litolojiler örgülü akarsu, nehre uzak yerlerdeki ise daha çok alüvyon yelpazesi çökellerinden oluşan Palu formasyonu (Q_{pa}) olduğu saptanmıştır. Palu formasyonunda ise çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşları litolojileri gözlenmektedir. İnceleme alanında gözlenen iki formasyonunun sahada gözlenen litolojik birimlerinin ise sahada yapılan jeofizik çalışma sonuçları yorumlanarak ayırt edilmeye çalışılmıştır.

İnceleme alanında tespit edilen sıcak ve mineralli su kaynaklarının Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bu fay zonuna bağlı gelişen fayların, formasyon dokunağı oluşturduğu düşünülmektedir.

Kaynak-1 noktasının hemen güneyinde debisi yaz aylarında oldukça azalan bir dere, yaklaşık 100 m kuzeyinde açılmış drenaj hendeği ve kaynak noktalarının kuzey kesimlerinde gözlenen bitki örtüsünden, Holosen yaşlı tutturulmamış, çakıl kum siltli killi birimler soğuk yeraltı suyunu taşıyan akifer özelliğindedir.

İncelemeler neticesinde sahada araştırmaya konu olan kaynağın Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde kalan kırıklara bağlı olarak geliştiği kanısına varılmıştır. Bu sebepten ötürü fay zonunu dik kesecek şekilde jeofizik ölçümler alınmıştır.

Sahada Kaynak-1 lokasyonunun bulunduğu kesimde yaklaşık olarak bir birine paralel alınan çok elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin iki boyutlu modellenmesi sonucunda elde edilen elektrik özdirenç yapı kesitleri bölgenin jeoloji ve arazi gözlemleri ile birlikte yorumlanmıştır.

Kaynak-1 noktasındaki çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmalarından kaynak noktası ve kuzeyinde yaklaşık 1-100 Ωm aralığında özdirence sahip kesimlerin alüvyon yelpazesi formasyonuna ait killi, kumlu birimlerin olduğu, 100 Ωm < özdirence sahip kesimlerin ise yine aynı formasyona ait çakıllı birimler olduğu düşünülmektedir. Kaynak-1 lokasyonunun güney kesimlerinde yüzeye yakın kısımlarında(yaklaşık 26 m derinliğe kadar) gözlenen yüksek-düşük özdirençli kesimlerin çakıllı, kumlu, killi birimler olduğu, derinlere doğru gözlenen yüksek özdirençli kısımların ise Plio-Kuvaterner yaşlı Palu formasyonuna ait kumtaşı birimi olduğu düşünülmektedir.

Sahadaki Kaynak-1 noktasında yapılan sismik kırılma tomografi ve iki boyutlu aktif kaynaklı yüzey dalgası analizi çalışmaları(Sis-2) sonucunda elde edilen P-S dalgaları hız kesitleri yorumlanmıştır. Sis-2 lokasyonun daki P dalgası hız kesitinde belirgin hız değişimin gözleendiği kesimler olası litoloji değişimlerinin veya aynı birim dayanımının değiştiği derinlikler olduğu ancak kesitin yüzeye yakın kesimlerinde 10.m sinde derinlerinde 35. m sine doğru gözlenen düşeye yakın yöndeki değişimin faya ait süreksizlik yüzeyi olduğu düşünülmektedir. Sis-2 lokasyonun daki S dalgası hız değişimleri incelendiğinde litolojik birim geçişlerinin genel olarak yatay olduğu ancak kesitin 13-30. m leri arasındaki düşeye yakın yöndeki hız değişimlerinin faya ait süreksizlik yüzeyinin ve su çıkışının gerçekleştiği bölge olduğu düşünülmektedir.

Sahanın doğu kesimlerinde tespit edilen Kaynak-2 lokayonunda yapılan sismik kırılma tomografi ve iki boyutlu aktif kaynaklı yüzey dalgası analizi çalışmaları(Sis-1) sonucunda elde edilen hız kesitleri jeolojik olarak yorumlanmıştır. Sis-1 P dalgası hız kesitinde yaklaşık olarak 37 m derinlikten bilgi elde edilmiş araştırma derinliğimize kadar alüvyon yelpazesi formasyonuna ait killi, kumlu birimlerin olduğu ancak bu birimlerin derinlere doğru hızlarının artmasında dolayı birim dayanımının arttığı düşünülmektedir. Sis-1 S dalgası hız kesitinde yaklaşık 70 derinlikten bilgi elde edilmiş, kesitin baş ve son kısımlarında yaklaşık 50 m derinlikten itibaren S dalgası hızlarının artmasından dolayı bu derinlik itibari ile Palu formasyonuna ait birimlerin devam ettiği düşünülmektedir. S dalgası kesitin orta kısımlarında gözlenen düşey yöndeki hız değişimin bulunduğu kısımlar ise faya ait süreksizlik yüzeyinin ve su çıkışının gerçekleştiği bölge olduğu düşünülmektedir.

Sahada yapılan tüm çalışmalar neticesinde Kaynak-1'in oluşumu; Doğu Anadolu Fayı Zonuna bağlı gelişen kırık(fay) boyunca ısınıp yükselen sıcak ve minareli suyun, yüzeye yakın derinliklerde(yaklaşık 30-100 m derinliklerden yine aynı fay sistemin oluşturduğu düşünülen Holosen yaşlı alüvyon yelpaze formasyonu ile Plio-Kuvaterner yaşlı Palu formasyonu dokunağından yüzeye ulaştığı kanısına varılmıştır. Kaynak-2 lokasyonunun oluşumu ise; üste Holosen yaşlı alüvyon yelpazesine ait birimlerin(yaklaşık 50 m derinliğe kadar) allta ise Plio-Kuvaterner yaşlı Palu formasyonuna ait birimlerin içerisinde geçen Doğu Anadolu Fay Zonuna ait kırık boyunca ısınıp yükselen suyun yüzeye ulaşması ile oluştuğu kanısına varılmıştır.

Kaynak çıkış noktalarının soğuk su akiferi özelliği taşıyan Holosen yaşlı alüvyon yelpazesine ait birimler içerisinde çıkmasından, çıktığı noktada ısısının düşük ve kaynağa çok yakın kesimlerde traverten çökelleri oluşturmamasından dolayı, fay düzlemi boyunca ısınıp yükselen sıcak ve mineralli suların Kaynak-1 lokasyonunda yaklaşık 100 m derinliğe kadar, Kaynak-2 lokasyonunda yaklaşık 50 m derinliğe kadar gözlenen Holosen yaşlı alüvyon yelpazesi formasyon içerisindeki soğuk sular ile karışarak soğumasının hızlandığı düşünülmektedir.

Manyetötellürük yöntem ve düşey elektrik sondaj çalışmaları daha derinlerden bilgi toplamaya olanak sağlayan jeofizik yöntemlerdendir. Kaynakları oluşturan sıcak ve mineralli suların oluştuğu, sıcak su akiferinin derinliğinin belirlenmesi, yükselen sıcak suların temas ettiği litolojik birimlerin belirlenmesi, akışkanın rezervuardaki sıcaklığının ve daha derinlerden bilgi toplanmasına olanak sağlayan Manyetötellürük yöntem ve Düşey Elektrik Sondaj çalışmalarının yapılarak kaynak ve dolaylarının daha detaylı incelemesi önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D., Baştuğ, C.,** 1975. Cacaş-Hani Bölgesinin Kuzeyindeki Alanların Petrol İmkanları ve Jeolojik Raporu. TPAO Arşivi (yayınlanmamış), Rapor No: 971.
- Aksoy, E. vd.,** 2007. Hazar Gölü Havzası: Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS'nin), SE Türkiye Negatif Çiçek Yapısı. Tübitak. Türk Yerbil. Derg. 319-338.
- Aktaş, G. and Robertson, A.H.F.,** 1984. The Maden Complex SE Turkey: Evolution of a Neotethyan active magrin; Divon, J.E. and Robertson, A.H.F., Eds., The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, 375-402, London.
- Allen, R.M.,** 2007. California Geology and Society. Erişim Tarihi: 12.09.2007. <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching>
- Ateş, B. vd.,** 2016. Erzurum-Karlıova Yolunda Meydana Gelen Heyelanın Aletsel Gözlemlerle Belirlenmesi, Zemin Mekanği Ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi 13-16 Ekim, 831, Erzurum.
- Berge, M.A.** (2005). İki-boyutlu özdirenç ters-çözüm modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir (yayımlanmamış).
- Berge, M. A.,** (2011). Elektrik özdirenç ters-çözümüyle çok katmanlı arkeolojik yerleşmelerin görüntülendirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Bingöl, A.F.,** 1984. Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus Region, Tekeli O. And Göncüoğlu M.C. Eds., 1. Symp. On the Geology of the Taurus Belt, 209-216, Ankara.

- Bingöl, A.F.**, 1987. New Finding on the structural setting of the chromites in the Guleman Ophiolitic Massive (Eastern Taurus), F.Ü., Fen Bil. Enst. Derg., 1, Elazığ.
- Bolt, B. A.**, 1976. Nuclear Explosions and Earthquakes: The Parted Veil, W. H. Freeman, San Francisco, 309 p.
- Bullen, K.E.**, (1985). An introduction to the theory of seismology. England: Cambridge University Press.
- Candansayar, M. E. ve Başokur, A. T.** (2001). Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49, 13 -25.
- Canitez, N.**, (1997). Jeofizikte modelleme. İstanbul: Literatür Yayınları.
- Çatlıoğlu, B.**, (2016), Heyelan Geometrisinin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, Isparta Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s.
- Çetindağ, B.**, 1985, Elazığ, Palu-Kovancılar dolayının hidrojeoloji incelenmesi: Yüksek lisans tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 117 s.
- Çetindağ, B.**, 1989. Elazığ-Ören Çayı çevresinin hidrojeoloji incelemesi, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bil.Enst., 270s.
- Çetindağ, B.**, 1996, Gurbet Mezrası (Elazığ) Sıcak ve Mineralli İçmece Kaynağının Hidrojeoloji İncelemesi, Geosound / Yerbilimleri, 29, 111-122, ANKARA.
- Çetindağ, B.**, 1997. Elazığ yakın çevresindeki bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri, 20.Yıl Jeoloji Sempozyumu (12-16 Mayıs 1997) Bildiriler, S.Ü- Konya, 203-209.

- Çetindağ, B., Öztekin Okan, Ö.,** 2004. Hydrochemical Characteistics And Pollution Potential Of Uluoava Aquifers, Elazığ, Turkey, Enviromental Geology 2004, 45: 796-807.
- Dahlin, T.,** (2001). The development of dc resistivity imaging techniques. *Computer and Geosciences*, 27, 1019 -1029.
- Dahlin, T. ve Zhou, B.,** (2004). A numerical comparison of 2-D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, 379 -398.
- De Groot-Hedlin, C., ve Constable, S.,** (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 modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106 -136.
- Dobrin M. and Savit C.H.,** (1976). Introduction to geophysical prospecting. 3rd edition, McGraw Hill, USA.
- Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, T. Ö.,** (2005). Bazı sığ yeraltı yapılarının öz direnç ters-çözümü. *Yerbilimleri*, 26, 1-14.
- Erdoğan, B.,** 1982. Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve volkanik kayaları, TJK Bülteni, 25, 49-59.
- Eroğlu, V.,** 2008. Ülkemizde Termal, Maden Suları, Kaynakları ve Kullanımı. Termal ve Maden Suları Konferansı Bildiriler Kitabı. 3-11. Afyonkarahisar.

- Griffiths, D. H., Turnbull, J., ve Olayinka, A. I.,** (1990). Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array. *First Break*, 8(4), 121 -129.
- Griffiths, D. H., ve Barker, R. D.,** (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Günther, T., Rücker, C. ve Spitzer, K.,** (2006). Three-dimensional modelling and inversion of dc resistivity data incorporating topography – II. Inversion. *Geophysical Journal International*, 166, 506-517.
- Gürocak, Z. 1993.,** Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 65s.
- Güven, A.,** 2013. Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 75s.
- Hayashi, K.,** (2003). Data acquisition and analysis of active and passive surface wave methods. San Antonio. *Short courses and Workshops, In: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP), Annual Meetings of Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS)*, 106.
- Hempton, M.R., Dune, L.A. and Dewey, J.F.,** 1983. Sedimentation Active Strike-Slip Basin, South-Eastern Turkey, *Geology*, 91, 401-412.
- Jackson, J. and McKenzie, D.P.,** 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, *Geophysical Journal of royal astronomical society*, 93, 45-73.

Karaman, 2006. Yapısal jeoloji ve uygulamaları, Devran matbacılık, Ankara, 9-53.

Kaya, A, 1992. Gezin – Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar: Yüksek Lisans Tezi, F.Ü.Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 72s.

Ketin, 1948. Über die tektonisch-Mechanischen folgerungen aus den grossen anadolische Erdbeben des letzten Dezemiums, Geologische. Rundschav 36, 77-83.

Koefoed, O., 1979. Geosounding Principles 1. Resistivity Sounding Measurements. Vol. 14 A in Methods in Geochemistry and Geophysics, Elsevier, Amsterdam.

Legaz, A., Vandemeulebrouck, J., Revil, A., Kemna, A., Hurst, A.W., Reeves, R. ve Papasin, R., (2009). A case study of resistivity and self-potential signatures of hydrothermal instabilities, Inferno Crater Lake, Waimangu, New Zealand. *Geophysical Research Letters*, 36, L12306.

Loke, M. H. ve Barker, R. D., (1996a). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Loke, M. H. ve Barker, R. D., (1996b). Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion techniques. *Geophysical Prospecting*, 44, 499-524.

Marescot, L., Loke, M.H., Chapellier, D., Delaloye, R., Lambiel, C. & Reynard, E., (2003). Assessing reliability of 2D resistivity imaging in permafrost and rock glacier studies using the depth of investigation index method. *European Journal of Environmental & Engineering Geophysics* (in press).

McKenzie, D.P., 1970. Plate tectonics of the Mediterranean region, *Nature*, 226, 239-243.

McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical journal of royal astronomical*, 30, 109-185.

MTA., 2012. Türkiye diri fay haritası serisi, Elazığ (Nj 37-7) Paftası, Seri No: 45.

Olayinka, A. I. ve Yaramanci, U., (2000). Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 63-82.

Oldenburg, D.W. ve Li, Y.G., (1999). Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys. *Geophysics*, 64(2), 403–416.

Ortan, B., (2015), Elektrik Resistivite Tomografi Ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Heyelan Probleminin Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s.

Özdemir, A., 2008. Çok-elektrotlu jeofizik rezistivite ölçümlerinin yeraltısuyu ve jeotermal arama alanlarındaki uygulamalarının değerlendirilmesi. *Sondaj Dünyası Dergisi*, Sayı 6, 7-13.

Özkan, Y.Z., 1983. Caferi Volkanitinin kökeni sorununa jeokimyasal bir yaklaşım: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 4, 53-58.

Özkan, Y.Z., 1984. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin yapısal incelenmesi: *MTA Derg.*, 97/98, 78-85, Ankara.

Özkan, Y. Z., 1982. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrolojisi. *İst. Üniv. Yerbilimleri Derg.*, 3 (1-2), 295-312.

Özkan, Y.Z., 1985. Guleman (Elazığ) ofiolitinin yapısal incelenmesi, .Maden. Tetkik ve. Arama Ernst. Derg. 78-85.

Özkaya,, 1975., Sason yöresinin yapısal jeolojisi: Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebligler, 21-30, Ankara.

Özkaya,, 1978. Ergani-Maden yöresinin stratigrafisi: TJK Bült., 2, 120-139.

Öztekin, Ö., 1998. Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularının Fiziko-Kimyasal Özellikleri Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi(Yayımlanmamış) 124s

Park, C.B., (1995). *Characterization of geotechnical sites by multi-channel analysis of surface waves (MCASW)*. Kansas. Kansas Geological Survey, University of Kansas.

Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J., (1999). Multi-channel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64 (3), 800-808.

Park, C.B.ve Miller, R.D., (2005). Seismic characterization of wind turbine sites near Lawton, Oklahoma, by the multi-channel analysis of surface waves (MASW) method. *Kansas Geological Survey*, 2005-22.

Perinçek, D., 1979a. Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları, TPAO arşiv no:1361 (Yayımlanmamış).

Perinçek, D., 1979b. The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş -Maden-Ergani-Hazar Malatya area, Guide book, TJK yayını, 33s.

- Perinçek, D., and Özkaya.,** 1981. Arabistan levhası kuzey kenarı tektonik evrimi. *Yerbilimleri*, 8, 91-101.
- Richart, F.E., Hall, J.R. ve Woods, R.D.,** (1970). *Vibrations of soils and foundations*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Rigo De Righi, M. and Cortesini, A.,** 1964. Gravity tectonics in foothill structure of southeast Turkey, *Amer. Assoc. Petrol Geologist Bull.*, 48, 1911-1937.
- Robert, T., Dassargues A., Brouyère S., Kaufmann O., Hallet V. ve Nguyen F.,** 2011. Assessing the contribution of electrical resistivity tomography (ERT) and self- potential (SP) methods for a water well drilling program in fractured/karstified limestones. *Journal of Applied Geophysics* 75, 42-53.
- Sasaki, Y.,** (1992). Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40, 453–464.
- Slazai, S. ve Szarka, L.,** (2008). On the classification of surface geoelectric arrays. *Geophysical Prospecting*, 56, 159-175.
- Socco, L.V. ve Strobbia, C.,** (2004). Surface-wave method for near-surface characterization: a tutorial. *Near Surface Geophysics*, 2, 165-185.
- Stokoe, II, K.H., Wright, G.W., James, A.B. ve Jose, M. R.,** (1994). *Characterization of geotechnical sites by Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) method*. New Delhi: Geophysical Characterization of sites, International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE) Technical Committee-10, Oxford Publishers.
- Strobbia, C.,** 2002. Surface Wave Methods: Acquisition, Processing and Inversion. PhD Dissertation, Politecnico di Torino, 317p. Italy.

- Stummer, P.,** (2003). *New developments in electrical resistivity imaging*. P.hD. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich.
- Sungurlu, O.,** 1974. VI. Bölge Kuzeyinin Jeolojisi ve Petrol İmkanları. Türkiye 2. Petrol Kongr. Tebl., TPJD, 85-107.
- Sungurlu, O.,** 1975. VI. Bölge kuzey sahaların jeolojisi: TPAO Raporu. No. 817, (yayınlanmamış).
- Şener, Ç.,** Erdoğan A.R., Özgüler, M.E., 1986. Türkiye'deki jeotermal alanların araştırılmasında jeofizik çalışmalar. MTA Dergisi. Sayı:107. 152- 169.
- Şengör, A.M.C.,** 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler (factors governing the neotectonic evolution of the agean). in: Batı Anadolu'nun Genç Tektonigi ve Volkanizması Paneli. 59-71 pp.
- Tripp, A. C., Hohmann, G. W. ve Swift Jr, C. M.,** (1984). Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49, 1708-1717.
- Tuna, E. ve Dülger, S.,** 1979. Elazığ-Palu-Pertek Bölgesinin Jeolojisi. TPAO Arşivi (yayınlanmamış), Rapor No: 1363.
- Uyanık, O.,** 2002. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 200 s, İzmir.
- Van Nostrand, R. G. ve Cook, K. L.,** (1966). *Interpretation of resistivity data*. USA: United States Geological Survey Printing Office.

Van Overmeeren, R. A. ve Ritsema, I. L., (1988). Continuous vertical electrical sounding. *First Break*, 6 (10), 313-324.

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Ivanov, J., Tian, G. ve Chen, C., (2004). Utilization of high-frequency Rayleigh waves in near-surface geophysics. *The Leading Edge* 23 (8), 753-759.

Yiğit, E., (2016), Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi(Yayınlanmamış) 5- 6.

7. ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Hatay İli Hassa ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğretimi Hassa ilçesine bağlı Akbez beldesinde tamamladım. 2002 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde yükseköğrenimime başladım ve 2006 yılında mezun oldum. 2006-2007 yılları arasında yedek subay olarak askerlik görevimi tamamladım. 2007-2010 yılları arasında Ankara’da faaliyet gösteren çeşitli firmalarda Jeofizik Mühendisi olarak görev aldım. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı(Hidrojeoloji)’nda Yüksek lisans öğrenimime başladım.

