

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI HAVZASI'NDA KUZHEY ANADOLU FAYI'NIN ÇOK-KANALLI
SİSMİK YANSIMA VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak İNANÇ

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI HAVZASI'NDA KUZEY ANADOLU FAYI'NIN ÇOK-KANALLI
SİSMİK YANSIMA VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burak İNANÇ
505161407**

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hülya KURT

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505161407 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Burak İNANÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ADAPAZARI HAVZASI'NDA KUZHEY ANADOLU FAYI'NIN ÇOK-KANALLI SİSMİK YANSIMA VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hülya KURT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hülya KURT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Emin DEMİRBAĞ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz ÖZEL
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019





Anneme ve babama,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında “Sapanca Gölü ve Civarının Aktif Tektoniğinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması” başlıklı TÜBİTAK-1001 (Proje No: 117Y130) projesi kapsamında toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden yararlanılmış olup, bu veriler için gerçekleştirilmiş olan veri işlem aşamaları neticesinde Adapazarı çöküntü havzası bölgesinde KAF’ın derine doğru olan geometrisinin ve KAF’a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapıların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Öncelikle, tez çalışmam boyunca bana desteğini esirgemeyen ve çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren tez danışmanım ve saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hülya KURT’a çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca fikirleriyle beni aydınlatan ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU’na, Jeofizik Yük. Müh. Ali CANKURTARANLAR’a, Doç. Dr. Turgay İŞSEVEN’e, Prof. Dr. Emin DEMİRBAĞ’a ve Jeofizik Yük. Müh. Nigâr Gözde OKUT-TOKSOY’a çok teşekkür ederim.

Yararlanmış olduğum çok-kanallı sismik yansıma verilerinin toplanmasındaki desteklerinden dolayı T.C. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Yer Bilimleri ve Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, Kasım 2018 tarihinde gerçekleştirilen veri toplama süreci boyunca benim de dahil olduğum proje araştırmacılarına konaklama imkânı sunan İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi dekanı Prof. Dr. Meriç ALBAY’a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimimi gerçekleştirdiğim zaman dilimini eşsiz kılan arkadaşlarım Arş. Gör. Nedim Gökhan AYDIN’a, Arş. Gör. Esra GÖNÜL’e, Jeofizik Müh. Gökçe İREGÖR’e ve Jeofizik Müh. Yiğit YILMAZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bugüne kadar hayatımın her aşamasında beni bir an olsun yalnız bırakmayan, desteklerini her zaman arkamda hissettiğim anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2019

Burak İnanc
Jeofizik Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA ALANININ AKTİF TEKTONİĞİ VE JEOLJİSİ	5
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER.....	11
3.1 Sismik Yansıma ve Sismik Kırılma Tomografisi Yöntemleri	11
3.1.1 Sismik yansıma yöntemi	15
3.1.2 Sismik kırılma tomografisi yöntemi.....	15
4. ÇALIŞMA VERİLERİNİN TOPLANMASI.....	19
5. VERİ İŞLEM.....	23
5.1 Sismik Yansıma Verilerinin İşlenmesi.....	23
5.1.1 Verilerin programa okutulması	23
5.1.2 Atış-alıcı geometrisinin tanımlanması	24
5.1.3 Verilerin ön incelemeye tabi tutulması ve problemlerin belirlenmesi	25
5.1.4 Verilerin ayıklanması	27
5.1.5 Süzgeçleme	28
5.1.6 Genlik kazancı uygulaması	32
5.1.7 Statik düzeltme.....	33
5.1.8 CMP sıralama.....	35
5.1.9 Hız analizi	36
5.1.10 Normal kayma zamanı (NMO) düzeltmesi	37
5.1.11 Yığma.....	39
5.1.12 Migrasyon	39
5.1.13 Final sismik kesidin elde edilmesi	42
5.2 Sismik Kırılma Tomografisi Yöntemiyle Sismik Verilerin İşlenmesi	43
6. YORUMLAR VE SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65



KISALTMALAR

AGC	: Otomatik Kazanç Kontrolü (Automatic Gain Control)
B	: Batı
CMP	: Ortak-Orta-Nokta (Common-Mid-Point)
CVS	: Sabit Hız Yığılması (Constant Velocity Stack)
D	: Doğu
DMO	: Eğim Kayma Zamanı (Dip Move-Out)
G	: Güney
GPR	: Yer Radarı (Ground Penetrating Radar)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
K	: Kuzey
KD-GB	: Kuzeydoğu-Güneybatı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
NMO	: Normal Kayma Zamanı (Normal Move-Out)
P	: P-dalgası (Primary wave)
RMS	: Kök Kare Ortalama (Root Mean Square)
S	: S-dalgası (Shear wave)
SEG	: Society of Exploration Geophysicists
S/G	: Sinyalin gürültüye olan oranı
SH	: Yatay düzlemde polarize olmuş S-dalgası
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
SV	: Düşey düzlemde polarize olmuş S-dalgası



SEMBOLLER

bar	: Basınç Birimi
°C	: Santigrat Derece
cm	: Santimetre
f	: Frekans
Hz	: Hertz
GHz	: Gigahertz
k	: Dalgasayısı
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
m	: Metre
mm	: Milimetre
M	: Moment
MHz	: Megahertz
ms	: Milisaniye
M_w	: Moment magnitud ölçeği
ns	: Nanosaniye
s	: Saniye
t	: Zaman
ρ	: Yoğunluk



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : S1 hattına ait sismik veri toplama parametreleri ve koordinatlar..... 21





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Doğu Akdeniz bölgesinin aktif tektonik haritası (Okay ve diğ., 2000'den düzenlenmiştir).....	1
Şekil 1.2 : Türkiye’de 1967 yılından bu yana gerçekleşmiş olan M>4 depremler (International Seismological Centre, 2019).	2
Şekil 1.3 : Çalışma alanı için mevcut olan Google Earth uydu görüntüsü ve 30 m SRTM yükseklik verilerinden oluşturulmuş 3D model üzerinde çalışma verilerinin toplandığı hat olan S1 hattının (KD-GB yönelimli sarı çizgi) ve çalışma alanındaki diri fayların konumu (NASA Jet Propulsion Laboratory, 2000; Emre ve diğ., 2013).	3
Şekil 2.1 : 17 Ağustos 1999 İzmit depremi ile ilişkili olan yüzey kırığının lokasyonu. Deprem, batıdan doğuya doğru Yalova-Hersek, Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri olmak üzere beş farklı fay segmentinde yüzey kırığı meydana getirmiştir. Mavi dikdörtgen Şekil 2.2’de mevcut olan alanın sınırlarını belirtmektedir (Lettis ve diğ., 2002’den Dikbaş ve diğ., 2018 baz alınarak düzenlenmiştir).	6
Şekil 2.2 : Çalışma alanında mevcut olan jeolojik birimler ve S1 hattının 1999 İzmit depreminin yüzey kırığına göre konumu (Dikbaş ve diğ., 2018’den düzenlenmiştir).....	8
Şekil 2.3 : Çalışma alanına ait stratigrafik kesit (Emre ve diğ., 1998).	9
Şekil 3.1 : Sismik dalgaların bir arayüzeye gelişinin ardından sergilemiş olduğu dağılım.....	11
Şekil 3.2 : Tabaka hızlarının durumuna göre arayüzeye gelen bir P-dalgasının kırılım gösterirken sergileyeceği tutumlar.	13
Şekil 3.3 : Yansıma kanununun Fermat prensibi ile açıklanmasında kullanılmış olan düzen.	13
Şekil 3.4 : Kırılma kanununun Fermat prensibi ile açıklanmasında kullanılmış olan düzen.	14
Şekil 3.5 : P-S dönüşümünün şematik gösterimi.	15
Şekil 3.6 : Sismik kırılma tomografisinde ışın yolunun ve yeraltının hücrelendirilmesinin şematik gösterimi (SeisImager/2D™ programına ait kılavuzdan düzenlenmiştir).	16
Şekil 4.1 : Sismik yansıma verilerinin toplanmasında kullanılan ekipmanlara ve arazideki veri toplama çalışmalarına ait görüntüler.	20
Şekil 5.1 : Çalışmada çok-kanallı sismik yansıma verilerinin işlenmesi kapsamında izlenen veri işlem akış şeması.	23
Şekil 5.2 : End-spread (solda) ve split-spread (sağda) atış sistemlerinin şematik gösterimleri; yıldız işaretleri atışların yapıldığı noktalara, üçgen işaretleri ise alıcıların bulunduğu noktalara karşılık gelmektedir.	24
Şekil 5.3 : Kaydırmalı atış düzeninin (roll-along) şematik gösterimi.	25

Şekil 5.4 : Echos programı ile S1 hattı için elde edilmiş atış-alıcı geometri şeması (kırmızı noktalar alıcı lokasyonlarını, mavi noktalar atış lokasyonlarını, yeşil noktalar CMP lokasyonlarını ve son olarak gri noktalar/çizgiler ise her bir atış için olan kablo serimlerini göstermektedir).	25
Şekil 5.5 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydı; kırmızı çizgiler - doğrudan gelen dalgaları, turuncu çizgiler - hava dalgasını, sarı çizgiler - kırılmış dalgaları, mavi çizgilerin içinde kalan üçgensel alan - ground roll gürültüsünü ve yeşil eğri yansıma sinyalinin belirtmektedir.	27
Şekil 5.6 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydı; kırmızı dikdörtgen mevcut olan bozuk kanallardan birinin meydana getirdiği gürültüyü belirtmektedir.	28
Şekil 5.7 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydına ait genlik spektrumunun süzgeçleme öncesi (solda) ve süzgeçleme sonrası (sağda) görüntüsü.	30
Şekil 5.8 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydının süzgeçleme öncesi görüntüsü (solda), bu atış kaydının süzgeçleme sonrası görüntüsü (ortada) ve süzgeçleme neticesinde atılmış olan gürültüler (sağda).	31
Şekil 5.9 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydında cerrahi sıfırlama işlemi kapsamında seçilmiş olan alan (soldaki panelde kırmızı alan ile gösterilmiştir), işlem neticesinde elde edilmiş olan sonuç (orta panel) ve veriden atılmış olan alan (sağdaki panel).	32
Şekil 5.10 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydının süzgeçleme sonrası görüntüsü (solda), ve soldan sağa doğru, sırasıyla 256, 512, 1024 ve 2000 ms pencere boyu değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olan AGC sonuçları.	34
Şekil 5.11 : Statik düzeltme, kaynakların ve alıcıların görünür konumlarını, üst (solda) veya alt (sağda) referans seviyesine taşımak amacıyla uygulanır. Resimde gösterilmiş olan oklar, kaynak ve alıcı konumlarının, yeryüzeyinden referans noktasına olan (pozitif veya negatif) kaydırma derinliğini ifade eder.	34
Şekil 5.12 : Bant-geçişli süzgeçleme ve AGC işlemi uygulanmış verilerden elde edilmiş olan CMP sıralama sonucu.	36
Şekil 5.13 : Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan CMP sıralama işleminin ardından her bir CMP için mevcut olan katlama sayısı değeri.	36
Şekil 5.14 : Sırasıyla 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 ve 2400 m/s hız değerleri için elde edilmiş, 1 s'lik bir zaman aralığı için olan CVS kesitleri.	37
Şekil 5.15 : Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan yığma işlemi neticesinde elde edilmiş kesitin 1 s'ye kadar olan görüntüsü.	40
Şekil 5.16 : Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan migrasyon işlemi neticesinde elde edilmiş kesitin 1 s'ye kadar olan görüntüsü.	41
Şekil 5.17 : SeisImager/2D™ programı ile S1 hattı için elde edilmiş atış-alıcı geometri şeması (kırmızı noktalar atış lokasyonlarını, gri noktalar ise alıcı lokasyonlarını göstermektedir).	44
Şekil 5.18 : İlk varış işaretlemeleri gerçekleştirilmiş bir atış grubu örneği.	45
Şekil 5.19 : S1 için elde edilmiş olan seyahat zamanı eğrileri.	47
Şekil 5.20 : S1 için elde edilmiş olan seyahat zamanı eğrileri ve ışın algoritması eğrileri.	47

Şekil 5.21 :	S1 için elde edilmiş olan sismik kırılma tomografisi görüntüsü.	47
Şekil 6.1 :	Çok-kanallı sismik yansıma verilerine uygulanmış olan veri işlem adımları neticesinde elde edilmiş olan final kesitinin KAF'ın derine doğru olan geometrisi ve KAF'a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapılar ile ilişkilendirmesi.	50
Şekil 6.2 :	G24 ve G25 paftalarına ait jeolojik haritalardan ve bu bölge için mevcut olan 30 m SRTM yükseklik verilerinden oluşturulmuş 3D model üzerinde çalışma verilerinin toplandığı hat olan S1 hattının (KD-GB yönelimli mavi çizgi) ve Şekil 6.3'te verilmiş olan jeolojik kesitin elde edildiği hattın (KD-GB yönelimli kırmızı çizgi) karşılık geldiği konumlar (NASA Jet Propulsion Laboratory, 2000; Timur ve Aksay, 2002; Gedik ve Aksay, 2002).	51
Şekil 6.3 :	Şekil 6.2'de verilmiş olan KD-GB yönelimli kırmızı hat için elde edilmiş olan jeolojik kesit. Kesitte mevcut olan birimler GB yönünden KD yönüne doğru sırasıyla Teç: Çaycuma Formasyonu; KTab: Abant Formasyonu; ga: gabro-amfibolit; Tplö: Örencik Formasyonu; Qay: Alüvyon yelpazesi; Qal: Alüvyon şeklindedir (Timur ve Aksay, 2002; Gedik ve Aksay, 2002).	51
Şekil 6.4 :	Şekil 6.1'de verilmiş olan yorumlanmış yığma kesitinin ve sismik kırılma tomografisi yöntemi neticesinde elde edilmiş olan hız gradyanı kesitinin KAF'ın derine doğru olan geometrisi ve KAF'a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapılar ile ilişkilendirmesi.	52
Şekil A.1 :	Yer radarı verilerinin toplanmasında kullanılan ekipmanlara ve arazideki veri toplama çalışmalarına ait görüntüler.	61
Şekil A.2 :	Yer radarı verilerine uygulanmış olan veri işlem aşamaları neticesinde elde edilmiş olan kesit ve yaklaşık olarak 5-6 m derinliklere denk geldiği düşünülen suya doygun alan (kırmızı kesikli çizgi ile verilmiştir).	63



ADAPAZARI HAVZASI'NDA KUZEY ANADOLU FAYI'NIN ÇOK-KANALLI SİSMİK YANSIMA VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Türkiye'nin doğusunda Karlıova'dan, Kuzey Ege Denizi'ndeki Saros Körfezine kadar, Güney Karadeniz kıyılarına oldukça paralel bir biçimde yaklaşık olarak 1500 km boyunca uzanım göstermektedir. KAF'ın batı kısmı, Mudurnu yakınlarında, kuzey ve güney olmak üzere kollara ayrılmakta olup, kuzey kolu Sapanca Gölü ve İzmit Körfezi üzerinden Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Marmara Denizi'nin batı bölgesinde meydana gelen 1912 Ganos depreminden bu yana gerçekleşen ve 1999 İzmit ($M_w=7.4$) ve 1999 Düzce ($M_w=7.2$) depremleriyle son bulan bir $M>7$ deprem sekansı neticesinde, KAF'ın, batıda Marmara Fayı ve doğuda Yedisu Fayı haricinde kalan tüm bölümlerinde kırılma gerçekleşmiştir. 17 Ağustos 1999 İzmit depremi neticesinde batıda Marmara Denizi ile doğuda Düzce arasında yaklaşık olarak 145 km'lik bir yüzey kırığı meydana gelmiştir.

KAF Marmara Denizi'nde, özellikle bahsedilmiş olan $M_w>7$ depremlerden sonra, sismik yansımaya yöntemi ile, geniş aralıkta penetrasyon derinlikleri kullanılarak detaylı olarak araştırılmış olsa da İzmit Körfezi'nin doğusunda kalan kara alanlarında ağırlıklı olarak jeolojik ve jeodezik veriler kullanılarak araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, KAF'ın derine doğru olan geometrisinin ve KAF'a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapıların belirlenmesi amacıyla 117Y130 numaralı TÜBİTAK-1001 Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, Kasım 2018 tarihinde, Sapanca Gölü'nün yaklaşık olarak 15 km doğusunda yer alan Ekinli köyü civarında, yaklaşık olarak 1,3 km uzunluğa sahip ve KAF'ı KD-GB yönünde dik kesen bir hat boyunca çok-kanallı sismik yansımaya verileri toplanmıştır.

Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansımaya verilerinin işlenmesi amacıyla İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Nezihi Canitez Veri İşlem Laboratuvarı'nda, bölüm adına lisanslı olan Paradigm® ECHOS® sismik veri işlem yazılım paketinden (v15.5) yararlanılmıştır. Verilerin işlenmesi kapsamında gerçekleştirilmiş olan veri işlem adımlarını, başlıca, atış-alıcı geometrisinin tanımlanması, verilerin ayıklanması, süzgeçleme, genlik kazancı uygulaması, CMP sıralama, hız analizi, yığma ve migrasyon olarak listelemek mümkündür.

Bahsedilmiş olan sismik yansımaya veri işlem aşamaları neticesinde elde edilmiş sonuçlara ek olarak, yakın-yüzey yapısı ile ilgili sonuçların güçlendirilebilmesi amacıyla, toplanmış olan çok-kanallı sismik yansımaya verilerindeki ilk varışlar kullanılarak İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde lisanslı olarak bulunan SeisImager/2DTM programı vasıtasıyla sismik kırılma tomografisi yöntemi gerçekleştirilmiştir.

Çok-kanallı sismik yansımaya verilerine uygulanmış olan veri işlem adımları neticesinde elde edilmiş olan final kesitinde KAF'ın yer aldığı kısım net bir şekilde

gözlenebilmektedir. Bu kesitte, KAF'ın düşeye oldukça yakın bir şekilde konumlanmış olduğu gözlenmiştir. Kesitte, üç farklı stratigrafik birim gözlenebilmiş ve bu birimler, çalışma alanı jeolojisi ve bu alan için belirtilmiş olan stratigrafik kesitlerle ilişkilendirilebilmişlerdir. Final sismik yansıma kesitinde KAF'ın bu stratigrafik birimlere negatif çiçek yapısı ortaya koyacak şekilde bir geometri kazandırdığı gözlenmektedir. Sismik kırılma tomografisi yöntemi neticesinde elde edilmiş olan hız gradyanı kesitinden de sık kesimlerdeki arayüzelerde gözlenen ondülasyonlu yapıların, KAF zonuna ait derindeki faylarla örtüştüğü gözlenmiştir.



INVESTIGATION OF NORTH ANATOLIAN FAULT BY MULTI-CHANNEL SEISMIC REFLECTION DATA IN ADAPAZARI BASIN

SUMMARY

North Anatolian Fault (NAF) extends for approximately 1500 km from Karlıova in the east of Turkey to Gulf of Saros in the Northern Aegean Sea in a fairly parallel fashion to the shores of southern Black Sea. Western part of the NAF splits into branches as north and south near Mudurnu and the northern branch of the NAF reaches the Sea of Marmara through Sapanca Lake and İzmit Bay. As a result of a $M > 7$ earthquake sequence beginning with 1912 Ganos earthquake, which took place in the western part of the Marmara Sea, and ending with 1999 İzmit ($M_w = 7.4$) and 1999 Düzce ($M_w = 7.2$) earthquakes, all parts of the NAF other than Marmara Fault in the west and Yedisu Fault in the east were ruptured. As a result of the 17 August 1999 İzmit Earthquake a surface rupture of approximately 145 km occurred between the Marmara Sea in the west and Düzce in the east.

It is extremely important to investigate the long-term activity and behavior of the primary fault present in tectonically active regions to determine the seismic hazard in such regions and also to perform risk analysis. Even though the NAF was investigated in detail in the Sea of Marmara especially after the mentioned $M_w > 7$ earthquakes with seismic reflection method by using wide range of penetration depths, investigations on the land areas to the east of the İzmit Gulf were mainly carried out by using geological and geodetic data. Therefore, in order to determine the geometry of the NAF in the depth and also the active fault structures that are present in the fault zone, which is developing as a result of the NAF, multi-channel seismic reflection data were collected within the context of TÜBİTAK-1001 Scientific Research Project, No: 117Y130 in November 2018, near Ekinli village, which is located approximately 15 km to the east of Sapanca Lake, along an approximately 1.3 km long line that crosses the NAF perpendicularly in the NE-SW direction.

Within the scope of multi-channel seismic reflection data collection, a total of 120 P-geophones of 14 Hz, which are produced by Geospace Technologies, were used. Additionally, 5 recorder geodes, which are produced by Geometrics, were used to provide the connections of the receivers. Test shots were performed on the day before the collection of the evaluated multi-channel seismic reflection data, where an electrically fired P-S gun (Multi-Head-Buffalo-Gun) was used as the energy source during these shots. Even though this source is applied on the surface, unlike other impulsive seismic sources that are also applied on the surface, it does not generate any undesirable effects, such as paging effect (the case of uncontrolled impulse repetition of the source and a decrease in the data quality as a result). The signals obtained through the use of this source are rich in high frequency content. On the other hand, high resolution data can be obtained as a result of the use of this source. In addition, similar shot results after different repetitions can be obtained through the

use of this source. The source uses $16+16=32$ shotgun shells. The pressure generated by every single shell corresponds to ~ 1050 bar, or in other words ~ 1071 kg / cm². In addition to the mentioned energy source, a 500 kg weight drop energy source was also used on the same test shot line. This source is allowed to free-fall from a height of 2 m onto a metal plate, which is placed on the ground. After making an impact on the metal plate, it is ensured that the weight is stopped in the air to prevent it from impacting the plate a second time. Similar shots can be easily repeated through the use of this energy source. This energy source is a fully automated hydraulic system, which is mounted on a 4x4 off-road vehicle.

Data groups which are obtained through the use of two mentioned energy sources were compared in terms of their penetration depths and signal qualities. As a result of the comparisons, the use of the weight drop method was preferred for the main measurements since the weight drop method is much more practical to use and also generates a cleaner image in the seismic records for the study region.

The multi-channel seismic reflection data used in this study were collected in a split-spread system, with a shot interval of 10 meters. A total of 120 receivers were used during the data collection and the receiver interval was chosen as 5 m. The shots were carried out in a roll-along pattern. In this shot pattern, receivers to be used for each shot are determined in the computer environment. As the number of shots increases, receivers to be used are activated in the order of data collection, while previous receivers are deactivated.

Processing of the collected multi-channel seismic reflection data was carried out in the Nezihi Canitez Data Processing Laboratory located in ITU Geophysical Engineering Department by using the Paradigm® ECHOS® seismic data processing software package (v15.5), which is licensed for this department. Seismic reflection data processing steps that were carried out within the context of this study can be listed mainly as defining the shot-receiver geometry, editing, filtering, gain application, CMP sorting, velocity analysis, stacking and migration.

As an addition to the seismic reflection data processing, seismic refraction tomography method was carried out by using SeisImager/2D™ program, which is licensed for ITU Geophysical Engineering Department, in order to strengthen the results related to the near-surface structures, through the utilization of first arrivals that are present in the collected multi-channel seismic reflection data.

Main purpose of the operations carried out within the scope of seismic reflection method is to increase the signal/noise ratio of the data and also obtaining a representative image of the subsurface by performing data processing on multiple channels and additionally stacking. One way to achieve this goal is to edit traces within the data. As an addition, by arranging waveforms in the signal higher resolution can be achieved. Another example to the performed processes is the separation of reflection data from unwanted factors such as multiples, which are repetitive reflections, and surface waves. Moving the reflections to their actual positions through static correction is another processing step that can be carried out within the context of seismic reflection data processing. In addition to all the mentioned processes, information such as the velocity values of the subsurface and also reflection and transmission coefficients can be obtained.

The main purpose of seismic refraction tomography method, on the other hand, is to obtain the travel times for source-receiver pairs by raytracing or in other words to

determine the shortest path between two points. A velocity gradient of the subsurface can be obtained through the utilization of this method.

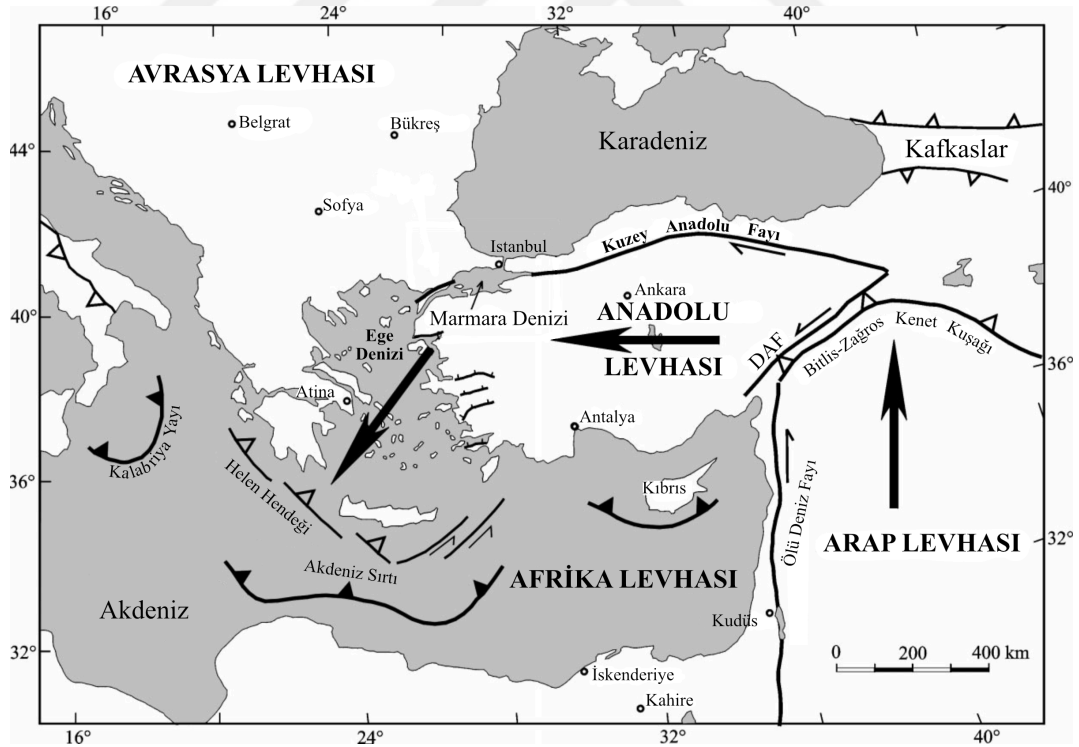
The region where the NAF is located can be clearly observed in the final section which was obtained as a result of the data processing steps applied to multi-channel seismic reflection data. In this section, it was observed that the NAF has an approximately vertical geometry. Three different stratigraphic units could be observed in the section and these units could be related to the geology of the study area and the stratigraphic sections indicated for this area. It is observed from the final seismic reflection section that the NAF causes these stratigraphic units to have a negative flower structure. On the other hand, from the velocity gradient section, which is obtained through the seismic refraction tomography method, it is observed that the undulating structures within the interfaces at shallower depths are overlapping with faults of the NAF zone at greater depths.





1. GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Dünya'nın levha sınırı niteliğindeki en büyük aktif doğrultu atımlı faylarından biri olup, Türkiye'nin kuzeyinde yer alan, orta büyüklükteki bir deformasyon kuşağının en önemli bölümünü oluşturmaktadır (Ketin, 1948; Şengör, 1979). Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), batı yönlü hareketlenen Anadolu bloğunun kuzey sınırını oluşturmakta olup, doğu Anadolu bölgesindeki sıkışma rejimini Ege Denizi bölgesindeki genişleme rejimine bağlamaktadır (Şekil 1.1). Fay zonu, yaklaşık olarak 1500 km uzunluğunda olup, Türkiye'nin doğusunda Karlıova'dan, Kuzey Ege Denizi'ndeki Saros Körfezi'ne kadar Güney Karadeniz kıyılarına oldukça paralel bir biçimde uzanım gösterir (Taymaz ve diğ., 1991; Barka, 1992; Yılmaz ve diğ., 2002).

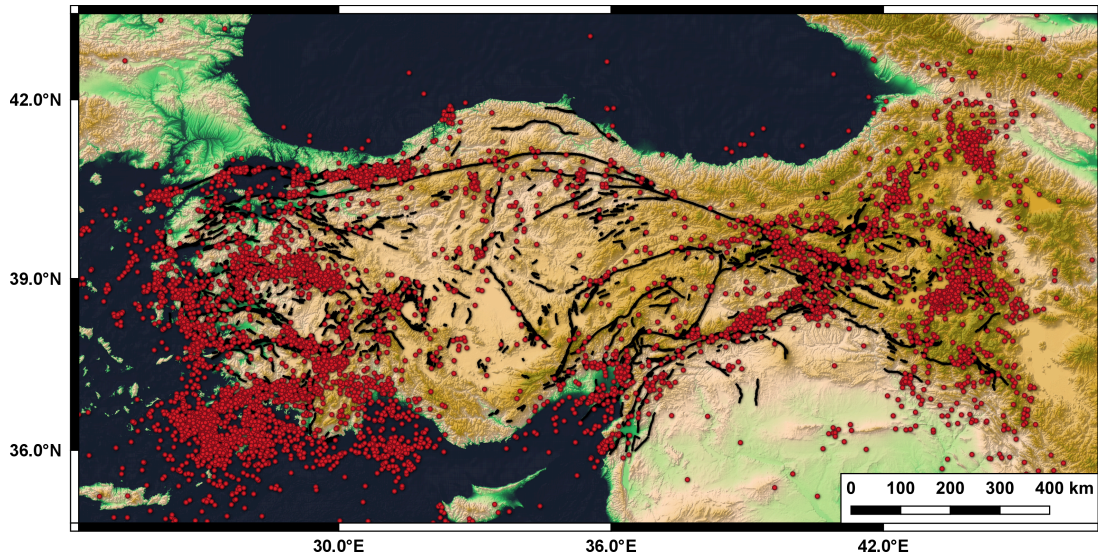


Şekil 1.1 : Doğu Akdeniz bölgesinin aktif tektonik haritası (Okay ve diğ., 2000'den düzenlenmiştir).

KAF ile ilişkili olan sağ yanal makaslama, Kuzey Ege'de devam etmekte, Kuzey ve Orta Yunanistan anakarasını geniş bir makaslama bölgesi olarak geçmekte ve

sonunda Helen dalma-batma zonu ile bağlantı kurmaktadır (Dewey ve Şengör, 1979; McKenzie ve Jackson, 1983). Fayın sağ-yanal atımlı doğası, fay boyunca bolca gözlenebilen jeolojik imzalar, büyük depremlerin yüzey kırıkları ve orta-büyük depremlerin fay düzlemi çözümleri doğrultusunda açıkça ifade edilebilmektedir. 1930'lu ve 1960'lı yıllar arasında dikkat çekici bir sismik aktiviteye ev sahipliği yapmış olan KAF, Mudurnu yakınlarında, kuzey ve güney olmak üzere kollara ayrılır. 1999 İzmit ($M_w=7.4$) ve 1999 Düzce ($M_w=7.2$) depremlerini üreten KAF'ın kuzey kolu Sapanca Gölü ve İzmit Körfezi üzerinden Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır.

Marmara Denizi'nin batı bölgesinde meydana gelen 1912 Ganos depreminden bu yana gerçekleşen bir dizi $M>7$ depremi neticesinde KAF'ın, batıda Marmara Fayı ve doğuda Yedisu Fayı haricinde kalan tüm bölümlerinde kırılma gerçekleşmiştir (Barka 1992; Stein ve diğ., 1997; Zabcı ve diğ., 2017). Ganos depremini, Doğu Anadolu'da 1939 Erzincan depremi izlemiş olup, bu deprem de fay boyunca batıya doğru yayılan bir deprem sekansı tarafından izlenmiştir. Bu sekans Marmara Denizi'nin doğu bölgesinde gerçekleşmiş 1999 İzmit ve Düzce depremleriyle son bulmuştur. Türkiye'de 1967 yılından bu yana gerçekleşmiş olan $M>4$ depremlerin yer aldığı depremsellik haritası Şekil 1.2'de verilmiştir.

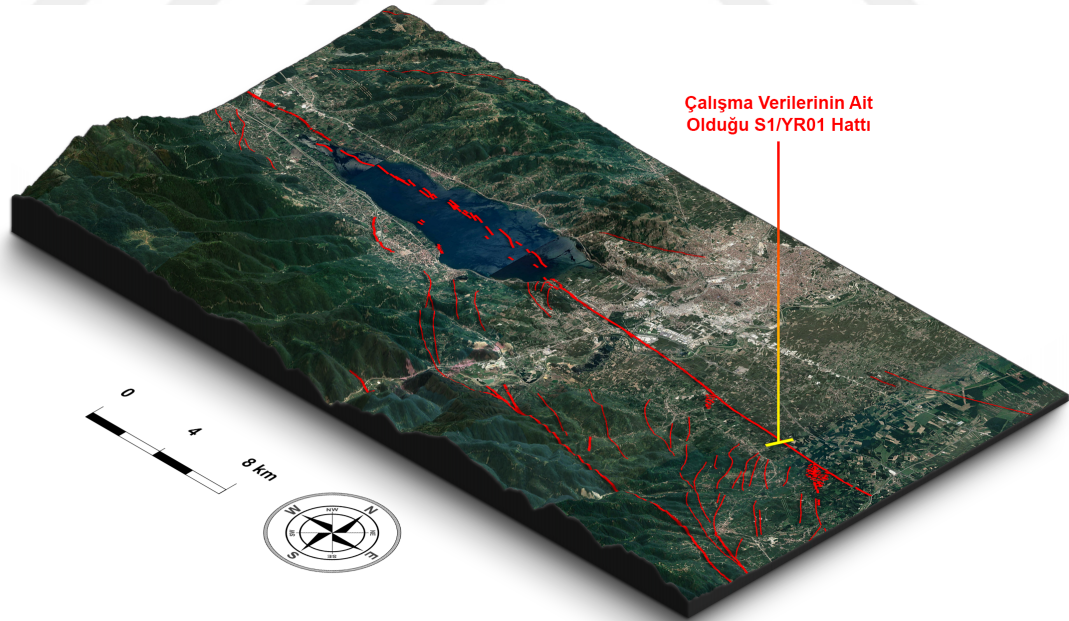


Şekil 1.2 : Türkiye'de 1967 yılından bu yana gerçekleşmiş olan $M>4$ depremler (International Seismological Centre, 2019).

Tektonik açıdan aktif bölgelerde, sismik tehlikenin belirlenebilmesi ve risk analizinin yapılabilmesi açısından bölgede mevcut olan birincil fayın uzun vadedeki aktivitesinin ve davranışının incelenmesi gereklidir. Bahsedilmiş olan yıkıcı

depremlerden sonra, KAF, Marmara Denizi'nde, sismik yansıma yöntemi ile, geniş aralıkta penetrasyon derinlikleri kullanılarak detaylı olarak araştırılmıştır. Ancak, KAF'ın tektonik özellikleri, İzmit Körfezi'nin doğusunda kalan kara alanlarında, ağırlıklı olarak jeolojik ve jeodezik veriler kullanılarak araştırılmıştır. Dolayısıyla, bu bölgede, karada gerçekleştirilecek olan jeofizik çalışmalar (özellikle çok-kanallı sismik yansıma çalışmaları), KAF'ın derine doğru olan geometrisinin ve KAF'a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapıların belirlenmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır.

Bu amaçla, Kasım 2018 tarihinde, 117Y130 numaralı TÜBİTAK-1001 Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, Sapanca Gölü'nün yaklaşık olarak 15 km doğusunda kalan Ekinli Köyü'nün 1 km kadar kuzeyinde konumlandırılmış ve KAF'ı KD-GB doğrultusunda dik kesen bir hat boyunca, çok-kanallı sismik yansıma ve yer radarı verileri toplanmıştır (Şekil 1.3). Bu tez kapsamında, bahsedilmiş olan bu veriler geleneksel veri işlem aşamalarından geçirilerek yeraltının temsili kesitleri oluşturulmuştur. Ayrıca, sismik verilerdeki P-dalgası ilk varışları kullanılarak aynı hat için olan sismik kırılma tomografisi kesiti de oluşturulmuş olup, fayın daha sık derinliklerdeki geometrisi ve hız yapısı belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.3 : Çalışma alanı için mevcut olan Google Earth uydu görüntüsü ve 30 m SRTM yükseklik verilerinden oluşturulmuş 3D model üzerinde çalışma verilerinin toplandığı hat olan S1 hattının (KD-GB yönelimli sarı çizgi) ve çalışma alanındaki diri fayların konumu (NASA Jet Propulsion Laboratory, 2000; Emre ve diğ., 2013).

Çalışma kapsamında toplanmış olan yer radarı verileri için gerçekleştirilmiş olan veri işlem aşamaları neticesinde elde edilen sonuçlarda, verilerin toplandığı alanda yer içinin 5-6 m’lik derinliklerden sonra suya doygun olması dolayısıyla bu metrelerden daha derinde yer alan kısımlardan bilgi alınamamıştır. Bu nedenle yer radarı yöntemi, yer radarı verilerinin toplanması ve bu verilerin işlenmesine ilişkin olan açıklamaların tezin EKLER başlığı altında yer alan EK A alt başlığı altında verilmesi uygun görülmüştür.



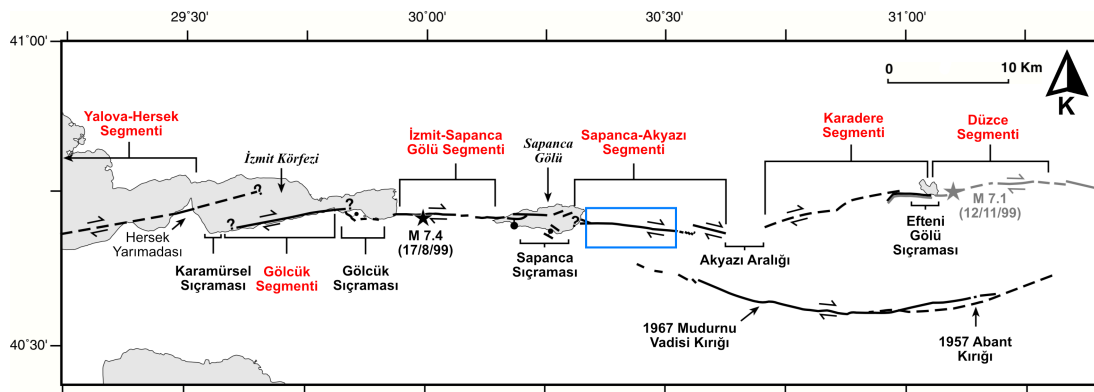
2. ÇALIŞMA ALANININ AKTİF TEKTONİĞİ VE JEOLJİSİ

KAFZ'nun ortaya çıkışı, birçok araştırmacı tarafından, geç Miyosen ile erken Pliyosen arasında kabul edilmektedir. Örneğin, Şengör ve diğ. (1985)'e göre, fay, Avrasya ve Arap plakalarının arasında gerçekleşen, Doğu Anadolu'daki kıtasal çarpışmanın hemen ardından, erken geç Miyosen (yaklaşık 13 Ma) döneminde ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, Barka (1985 ve 1992)'ye göre, ilk aşamada, geç-Miyosen'in başlangıcına doğru, devam eden K-G sıkışmasının bir sonucu olarak geniş bir kesme zonu gelişmiş, yer değiştirmenin çoğunun gerçekleştiği kısım olan ana fay düzlemi ise erken Pliyosen'de gelişim göstermiştir. Dolayısıyla, fay zonu ve çevresinde bulunan Neojen-Kuvaterner havzalarda gerçekleştirilmiş ya da gerçekleştirilecek olan çalışmalar, bu havzalardaki Miyosen-Pliyosen sediman katmanların, fay zonunun ortaya çıkışını simgeleyen tektonik imzalar sergileyip sergilemediğini görebilmek açısından önemlidir (Barka, 1981).

Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi, KAFZ, 1939 ve 1967 yılları arasında, dikkat çekici bir deprem aktivitesine ev sahipliği yapmıştır. Bu aktivite, batıya doğru göç etmiş altı adet büyük deprem neticesinde, Erzincan'dan Mudurnu vadisinin batısına kadar, 900 km uzunluğundaki kesintisiz bir yüzey kırığının oluşumunu kapsar (Barka, 1992; Stein ve diğ., 1997). Bu aktiviteyi takiben, Marmara Denizi'nin doğu bölgesinde ve KAF'ın kuzey kolu üzerinde gerçekleşmiş olan 17 Ağustos 1999 İzmit depremi ($M_w=7.4$) neticesinde, batıda Marmara Denizi ile doğuda Düzce arasında yaklaşık olarak 145 km'lik bir yüzey kırığı meydana gelmiş olup, bu yüzey kırığını Yalova-Hersek (~25 km), Gölçük (~20 km), İzmit-Sapanca Gölü (~20 km), Sapanca-Akyazı (~30 km) ve Karadere (~30 km) olmak üzere beş farklı segment altında incelemek mümkündür (Lettis ve diğ., 2002; Barka ve diğ., 2002; Hartleb ve diğ., 2002; Langridge ve diğ., 2002; Çakır ve diğ., 2003; Gasperini ve diğ., 2010; Dikbaş ve diğ., 2018).

Bu çalışma kapsamında veri işlem aşamaları gerçekleştirilmiş olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinin toplandığı hat olan S1 hattı, Sapanca Gölü'nden Sakarya Nehri ve Adapazarı havzasını geçerek Akyazıya kadar uzanan ve yaklaşık 30 km

uzunluğa sahip olan Sapanca-Akyazı segmentinin içinde konumlanmıştır (Şekil 2.1). Segmentin yönelimi K87°B şeklindedir (Lettis ve diğ., 2002). Segment, Sakarya Nehri'nde gözlenen sağ yanal atımla uyum içerisindedir (Langridge ve diğ., 2002). Segment bünyesinde mevcut olan sıçrama sınırlarında normal faylara rastlanmaktadır. 1999 İzmit depremiyle ilişkili olan yüzey kırığı, nispeten düz alüvyal vadilerde ve küçük sırtlarda gözlenmektedir. Bölgede mevcut olan ana faydan ayrılmış olan faylar, en echelon faylar ve çöküntü gölleri/bataklıklar, deprem sonucunda meydana gelen kırılmayla ilişkili olan jeolojik imzalar olarak nitelendirilebilirler.



Şekil 2.1 : 17 Ağustos 1999 İzmit depremi ile ilişkili olan yüzey kırığının lokasyonu.

Deprem, batıdan doğuya doğru Yalova-Hersek, Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri olmak üzere beş farklı fay segmentinde yüzey kırığı meydana getirmiştir. Mavi dikdörtgen Şekil 2.2'de mevcut olan alanın sınırlarını belirtmektedir (Lettis ve diğ., 2002'den Dikbaş ve diğ., 2018 baz alınarak düzenlenmiştir).

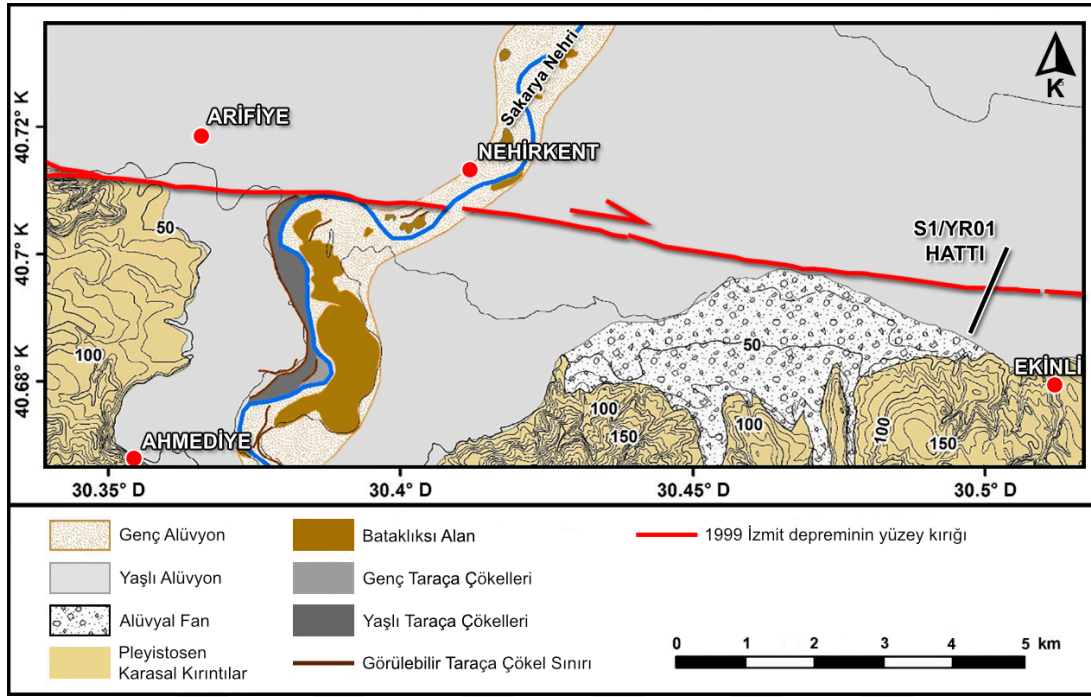
Çalışma bölgesinde Dikbaş ve diğ. (2018) tarafından gerçekleştirilmiş olan jeolojik çalışmalar neticesinde, fay boyunca mevcut olan toplam sağ yanal deplasmanın son ~1000 yıl için 18.5 ± 0.5 m olduğu hesaplanmıştır. Buna ek olarak, yine aynı çalışmada, çalışma bölgesi için elde edilmiş olan yıllık kayma oranının aynı zaman dilimi için 22 ± 3 mm olduğu belirtilmiştir. KAF boyunca, jeolojik, morfotektonik ve paleosismik verilerden elde edilmiş olan yıllık kayma oranları ise ~10mm ile ~20 mm arasında değişiklik göstermektedir (Hubert-Ferrari ve diğ., 2002; Polonia ve diğ., 2004; Kozacı ve diğ., 2007, 2009; Pucci ve diğ., 2008; Kondo ve diğ., 2010; Gasperini ve diğ., 2011; Meghraoui ve diğ., 2012; Kurt ve diğ., 2013; Grall ve diğ., 2013; Zabcı ve diğ., 2015; Dikbaş ve diğ., 2018). Buna ek olarak, KAF için, Doğu Marmara bölgesinde, GPS bazlı hız alanı verilerinden ise yaklaşık olarak

25 mm/yıl'lık bir kayma oranı kestirimi yapılabilir (Reilinger ve diğ., 2006; Ergintav ve diğ., 2014; Vernant, 2015; Dikbaş ve diğ., 2018).

Çalışma alanının halihazırdaki morfolojik altyapısı, esas olarak, sağ yanal atımlı KAF zonunun Geç Pliyosen-Kuvaterner dönemindeki doğrultu atımlı tektonik rejimi doğrultusunda belirlenmiştir (Emre ve diğ., 1998; Gürbüz ve Gürer, 2008). Herece ve Akay (2003)'e göre, Sapanca Gölü'nün kuzeyinde ve güneyinde ağırlıklı olarak Kuvaterner alüvyon ve alüvyon yelpazesi birikimlerine rastlanmakta olup, gölün daha güneyinde yer alan kısımlarda ise Triasik döneme ait metamorfik kayalar bulunmaktadır. Bu metamorfik kayaların güneybatısında Geç Jura-Erken Kretase dönemine ait yeniden kristallenmiş kireçtaşı ve mermer birimler yer alırken, güneydoğusunda ise Geç Kretase dönemine ait metamorfik kayalar ve buna ek olarak yine Geç Kretase dönemine ait ofiyolitik kayalar yer almaktadır. İlâveten, gölün kuzeybatısında ve güneydoğusunda Geç Pliyosen dönemine ait alüvyon yelpazesi birikimlerine rastlanmaktadır. Gölün kuzeydoğu kısmında ise Geç Kretase-Paleosen dönemine ait killi kireçtaşı ve marl, ayrıca, Orta-Geç Eosen dönemine ait aglomera, andezit ve bazalt birimler görülebilmektedir. Gölün kuzey kısmının büyük bir bölümünü Erken-Orta Eosen dönemine ait kumtaşı, şeyl ve silttaşı birimler oluşturmaktadır. Buna ek olarak, yine gölün kuzey kısmında, nispeten çok daha dar bir alanda, Triasik döneme ait konglomera, kumtaşı ve şeyl birimlere rastlanabilmektedir.

S1 hattı, ağırlıklı olarak Üst Pleyistosen-Holosen alüvyal ve taşkın çökellerin mevcut olduğu bir bölgede konumlanmıştır (Herece ve Akay, 2003). Buna ek olarak, bölgede aynı jeolojik yaş grubuna ait büyük alüvyon yelpazesi-nehirsel çökeller de bulunmaktadır (Şekil 2.2). Bölgede Alt Pleyistosen alüvyon yelpazesi ve taraça çökellerine de rastlamak mümkündür (Şekil 2.2). S1 hattının kuzeyinde kalan Adapazarı havzasında KAF zonundaki diğer morfolojik birimlere kıyasla çek-ayır mekanizması hâkim olup, bu bölge bir çökme zonu olarak nitelendirilmektedir (Emre ve diğ., 1998).

Dikbaş ve diğ. (2018)'nin belirttiği üzere, bu çalışmada kullanılan verilerin toplandığı S1 hattına yaklaşık olarak 500 m uzaklıkta bir alanda, faya dik olarak konumlanmış 19 m uzunluğunda bir hendek kazılmış olup, hendeğin alt kısımlarını kil tabakaları oluşturmakta ve yüzey doğru yaklaştıkça ise geçişli kum, silt ve kil birimlerine rastlanmaktadır.



Şekil 2.2 : Çalışma alanında mevcut olan jeolojik birimler ve S1 hattının 1999 İzmit depreminin yüzey kırığına göre konumu (Dikbaş ve diğ., 2018’den düzenlenmiştir).

Emre ve diğ. (1998)’e göre çalışma bölgesindeki stratigrafik birimler yüzeyden derine doğru Holosen, Pleyistosen, Pliyosen ve Neojen öncesi birimler şeklinde sıralanmıştır. Bahsedilmiş olan Holosen birimler Sakarya Nehri civarındaki alüvyon yelpazesi ve taşkın çökelleri kapsamaktadır. Sapanca Gölü’nün tabanındaki sedimanlar da bu kategoriye dahildir. Aynı çalışmada, Adapazarı Havzası’nın temelindeki Holosen kalınlığının da 100 m’yi aştığı belirtilmiştir. Holosen birimlerin altında Üst Pleyistosen akarsu taraçaları yer almaktadır. Bu taraçaların üst kısımlarını kahverengimsi-sarımsı taşkın çökeller oluştururken daha alt kısımlarını ise kum ve çakıl litolojik birimler oluşturmaktadır. Bu birimler aşıl uyumsuzluk ile alt-orta pleyistosen ve üst pliyosen birimlerin mevcut olduğu bir formasyonu üzerlerler. Bu formasyondan, Emre ve diğ. (1998)’de Karapürçek Formasyonu olarak bahsedilmiştir. Şekil 2.3’de İzmit-Adapazarı (KAF) koridoru için verilmiş olan stratigrafik kesit de bu bilgi doğrultusunda düzenlenmiştir. Görünür kalınlığının 150 m olduğu belirtilmiş olan Karapürçek Formasyonu’nu Hendek üyesi, Kumbaşı üyesi ve Değirmendere üyesi olmak üzere üç kısım halinde incelemek mümkün olmaktadır. Bu kısımlardan en üstte kalanı olan Hendek üyesinin, özellikle Balıklıdere vadisinde oldukça iyi bir şekilde gözlenebildiği belirtilmiştir. Formasyonun bu kısmı, kırmızımsı-kahverengimsi-sarımsı alüvyon yelpazesi çökellerinden oluşmakta olup, çakıltaş, kumtaş, çamurtaş ve silttaş gibi litolojik

birimler barındırmaktadır. Üyenin kalınlığının ise yaklaşık olarak 80 m olduğu belirtilmiştir. Hendek üyesinin altında ise Kumbaşı üyesinin yer aldığı belirtilmiştir. Bu üyeyi Sakarya Nehri civarında gözlenen akarsu yatağı ve taşkın çökeller oluşturmakta olup, formasyonun bu kısmını geçişli grimsi-bejimsi çakıltaşı ve siyahımsı-yeşilimsi kiltası litolojik birimleri oluşturmaktadır. Üyenin 60 m'ye varan bir kalınlığa sahip olduğu belirtilmiştir. Karapürçek Formasyonu'nun en altta kalan kısmını ise Değirmendere üyesinin oluşturduğu belirtilmiş olup, bu kısmı grimsi-bejimsi-sarımsı çakıltaşı, grimsi-siyahımsı-sarımsı-kahverengimsi kumtaşı ve silttaşı ve son olarak koyu grimsi-siyahımsı-yeşilimsi-mavimsi kiltası litolojik birimleri oluşturmaktadır. Üye kapsamındaki tabakalar, Adapazarı çöküntü havzasının güney kısmında yer alan normal fayların etkisiyle 25°'ye varan eğimler alabilmektedirler. Tüm bunlar ek olarak, bu üyenin KAF morfolojisinin en yaşlı üyesi konumunda olduğu ve açıl uyumsuzlukla Neojen öncesi birimleri üzerlediği belirtilmiştir.

İzmit-Adapazarı (KAF) Koridoru			
YAŞ	FM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
HOLOSEN			Alüvyon, Alüvyal Fan, Fan-Delta Sedimanları
PLEYİSTOSEN	ÜST	Akarsu Taracası	Çakıl, Kum, Silt, Kil
	ORTA	Karapürçek Formasyonu	Hendek Üyesi: Konglomera, Kumtaşı, Silttaşı, Kiltası
	ALT		Kumbaşı Üyesi: Kil, Silt, Kum, Nehir Çakılları
PLİYOSEN	ÜST		Değirmendere Üyesi: Konglomera, Kumtaşı, Silttaşı, Kiltası
NEOJEN ÖNCESİ			Neojen Öncesi Temel Kayaçlar

Şekil 2.3 : Çalışma alanına ait stratigrafik kesit (Emre ve diğ., 1998).

Timur ve Aksay (2002), ve ayrıca Gedik ve Aksay (2002) tarafından hazırlanmış olan, G24 ve G25 paftalarına ait 1/100.000 ölçekli, 2002 tarihli jeoloji haritalarında Karapürçek Formasyonu ifadesine rastlanılmamış olup, bu haritalarda, bahsedilmiş

olan çalışma alanı için, yakın-yüzeyde mevcut olan alüvyon birimlerin altında hâkim olarak Örencik Formasyonu'nun listelendiği gözlenmiştir. Yararlanılmış olan jeolojik haritaların daha güncel olması dolayısıyla, buna ek olarak, yaşanabilecek olası anlam karmaşalarının önüne geçebilmek amacıyla çalışmanın ilerleyen bölümlerinde alüvyon birimlerin açısal uyumsuzlukla üzerlediği formasyon ile ilişkili olarak verilmiş olan bilgilerde Örencik Formasyonu ifadesi kullanılmıştır (Şekil 6.2 ve 6.3).



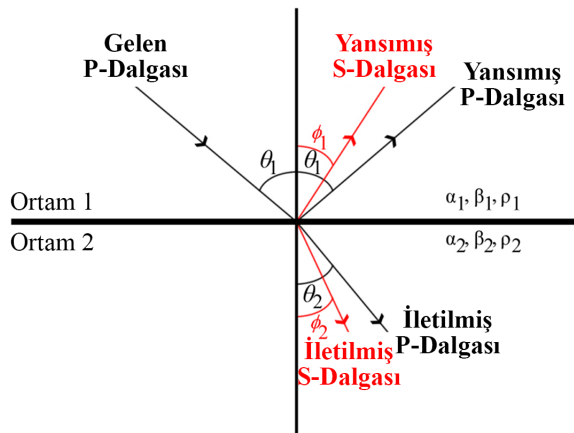
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında, S1 hattı boyunca toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerine, sismik yansıma yöntemi ve sismik kırılma tomografisi yöntemi veri işlem adımları uygulanmış olup, bu yöntemler hakkındaki bilgiler ilerleyen kısımlarda ilgili başlıklar altında verilmiştir.

3.1 Sismik Yansıma ve Sismik Kırılma Tomografisi Yöntemleri

Sismik yöntemler, elastik dalgaların yansıma ve kırılma prensiplerinden yararlanarak, temel kaya derinliğinin belirlenmesi, jeolojik yapıların kalınlıklarının belirlenmesi, fay hatlarının belirlenmesi, zemine ait elastik parametrelerin belirlenmesi, yeraltı zenginliklerinin aranması ve mühendislik çalışmaları gibi pek çok alanda kullanılan yöntemler olup, temel olarak, yapay bir kaynak aracılığıyla yer içerisine sismik dalgaların gönderilmesine, yer içerisine gönderilen bu dalgaların herhangi bir nesne ile karşılaşmaları halinde meydana gelen yansıma ve saçılmaların da alıcılar vasıtasıyla zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilmesine dayanmaktadır.

İki elastik ortam arasındaki bir arayüzeye gelen sismik dalğanın sahip olduğu enerjinin bir kısmı arayüzeyin üstünde kalan ortama geri yansırken geri kalan kısmı da arayüzeyin diğer bölümünde yer alan ortama kırılım gerçekleştirir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Sismik dalgaların bir arayüzeye gelişinin ardından sergilemiş olduğu dağılım.

Yansımada, P-dalgasının arayüzeye geliş açısı arayüzeyden yansıma açısına eşittir ($\theta_1=\theta_2$). P-dalgasının, birinci ortamın sismik hızından farklı bir sismik hıza sahip olan ikinci bir ortama geçişinin ardından, kırılma gösteren dalgada bir doğrultu değişimi gözlenir. Bu değişim Snell yasası olarak adlandırılan aşağıdaki ifade ile açıklanabilir:

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (3.1)$$

Snell yasasının genel formu ise şu şekilde verilebilir:

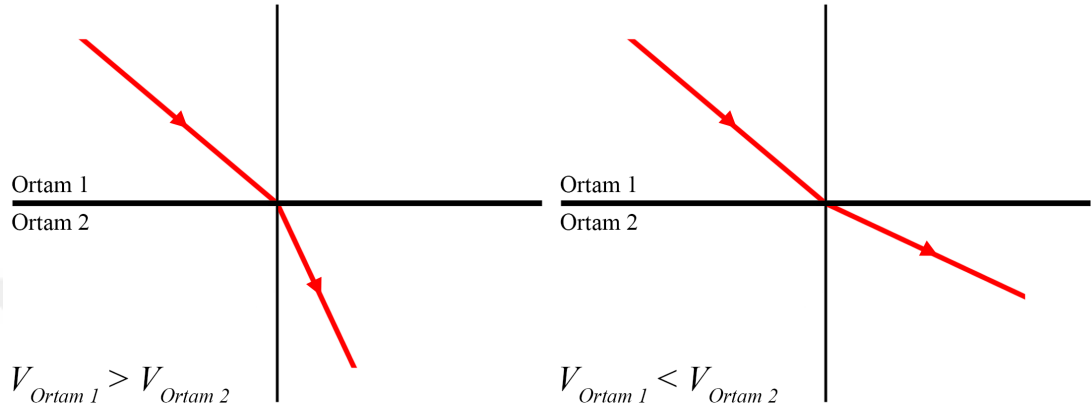
$$\frac{\sin(\theta_1)}{\alpha_1} = \frac{\sin(\theta_2)}{\alpha_2} = \frac{\sin(\phi_1)}{\beta_1} = \frac{\sin(\phi_2)}{\beta_2} = p \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte yer alan p ifadesi, ışın parametresi olarak adlandırılmaktadır. Bir dizi paralel tabakadan oluşan bir ortamda, ışın parametresi p 'nin değeri, dalga katmanlar boyunca kırılmaya devam ederken ilk katmandaki değeriyle aynı kalır.

Bir arayüzeye gelen P-dalgasının meydana getirdiği, kırılma gerçekleştirmiş olan P- ve S-dalgalarına ait kırılma açıları, Denklem 3.2 ile verilmiş olan Snell yasası vasıtasıyla, uygun P- ve S-dalgası hızları kullanılarak bulunabilir. V_{P2} 'nin V_{S2} 'den büyük olması dolayısıyla $\sin\theta_{P2}$ de $\sin\theta_{S2}$ 'den büyük olacaktır. Bu nedenle, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, kırılmış S-dalgasının doğrultusu düşey eksene kırılan P-dalgasına oranla daha yakındır. Benzer şekilde, bir arayüzeye gelen P-dalgasının meydana getirdiği, yansıma gerçekleştirmiş olan S-dalgasına ait yansıma açısı θ'_{S1} , genelleştirilmiş yansıma kanunu $\sin\theta'_{P1}/V_{P1} = \sin\theta'_{S1}/V_{S1}$ 'den yararlanılarak elde edilebilir.

Arayüzeyin üstünde kalan tabakanın sismik hızının, arayüzeyin altında kalan tabakanın sismik hızından daha büyük olması durumunda ($V_1 > V_2$), düşük hız katmanına gelen P-dalgaları için Snell yasasına göre $\theta_1 > \theta_2$ olacak ve dolayısıyla dalga arayüzeye daha dik olacak bir şekilde, aşağıya doğru kırılım gösterecektir (Şekil 3.2-sol). Bunun aksine, tabakaların sismik hızlarının $V_1 < V_2$ olması halinde, P-dalgaları artık daha yüksek hızlı olan katmana gelmiş olacak ve dolayısıyla dalga arayüzeye daha yakın olacak bir şekilde kırılım gösterecektir (Şekil 3.2-sağ). Kırılma açısının $\theta_2=90^\circ$ olduğu, bir başka deyişle, kırılmış olan dalganın iki ortam arasındaki arayüzey boyunca hareketlenme gösterdiği durumlara da rastlamak mümkün olup, bu

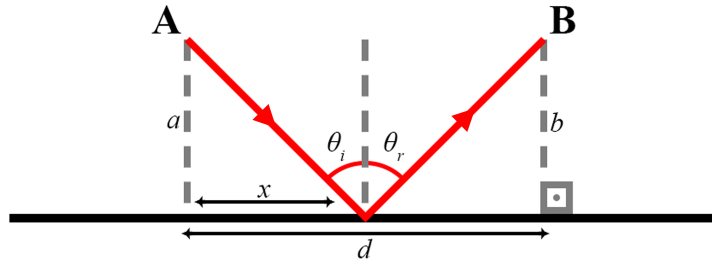
tip durumlarda, dalganın geliş açısı $\theta_1 = \sin^{-1}(V_1/V_2)$ olacaktır. Bu şekilde kırılım göstermiş bir dalga kritik olarak kırılmış dalga olarak adlandırılmakta olup, $\theta_c = \sin^{-1}(V_1/V_2)$ kritik açı olarak ifade edilmektedir. Geliş açısının, kritik açıdan daha büyük olduğu durumlarda ($\theta_1 > \theta_c$), kırılma gerçekleşmez ve tüm dalga enerjisi ilk ortama geri yansıma gerçekleştirir.



Şekil 3.2 : Tabaka hızlarının durumuna göre arayüzeye gelen bir P-dalgasının kırılım gösterirken sergileyeceği tutumlar.

Yansıma ve kırılma kanunlarına Fermat prensibinden (dalganın en kısa olan yolu katetme yönünde eğilim göstermesi) yararlanılarak ulaşılabilir.

Fermat prensibinden yararlanarak yansıma kanunu şu şekilde elde edilebilir:



Şekil 3.3 : Yansıma kanununun Fermat prensibi ile açıklanmasında kullanılmış olan düzen.

$$L = \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d-x)^2} \quad (3.3)$$

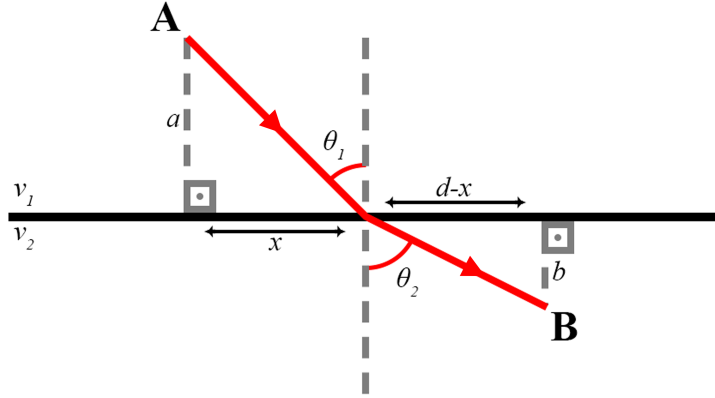
A ve B noktaları arasındaki en kısa mesafe:

$$\frac{dL}{dx} = \frac{1}{2} \frac{2x}{\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{1}{2} \frac{2(d-x)(-1)}{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}} = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{(d-x)}{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}} \quad (3.5)$$

$\sin \theta_i = \sin \theta_r$ olacak ve dolayısıyla $\theta_i = \theta_r$ olarak bulunacaktır.

Kırılma kanunu ise, yine Fermat prensibinden yararlanarak, şu şekilde elde edilebilir:



Şekil 3.4 : Kırılma kanununun Fermat prensibi ile açıklanmasında kullanılmış olan düzen.

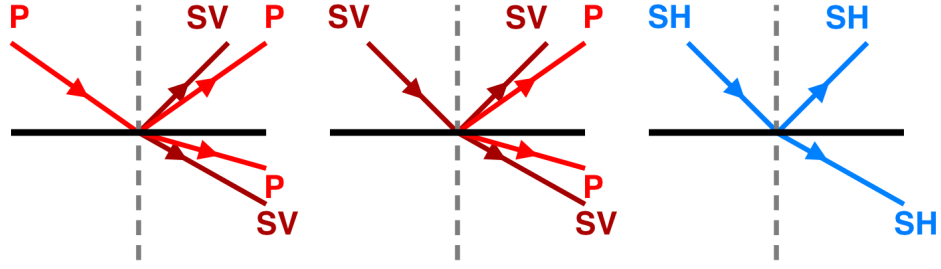
$$t = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{V_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}}{V_2} \quad (3.6)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{V_1 \sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{(d-x)}{V_2 \sqrt{b^2 + (d-x)^2}} = 0 \quad (3.7)$$

$\frac{\sin \theta_1}{V_1} - \frac{\sin \theta_2}{V_2} = 0$, olacak ve dolayısıyla $\frac{\sin \theta_1}{V_1} = \frac{\sin \theta_2}{V_2}$ olarak bulunacaktır (Snell

Yasası).

Elastik dalgalar, akustik dalgalardan, P-S dönüşümü olarak adlandırılan ve arayüzeye gelen sıkışma dalgasının hem sıkışma hem de makaslama bileşenlerine ayrılması dolayısıyla farklılık gösterir. Bir arayüzeye P-dalgası gelmesi halinde, dalga, yansıma ve kırılma gerçekleştiren P- ve SV-dalgalarına ayrılır (Şekil 3.5-sol). Arayüzeye SV-dalgası gelmesi halinde ise, dalga, yansıma ve kırılma gerçekleştiren SV- ve P-dalgalarına ayrılır (Şekil 3.5-orta). Son olarak, arayüzeye SH-dalgası gelmesi durumunda, dalga, yansıma ve kırılma gerçekleştiren SH-dalgalarına ayrılır (Şekil 3.5-sağ).



Şekil 3.5 : P-S dönüşümünün şematik gösterimi.

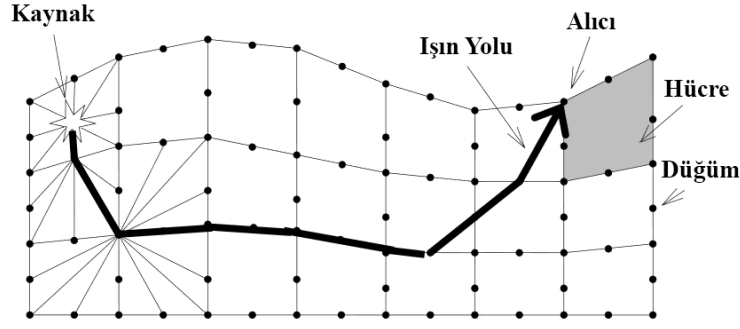
3.1.1 Sismik yansıma yöntemi

Sismik yansıma yöntemi kapsamında gerçekleştirilen işlemlerde temel amaç yansıma verilerini kullanarak birden fazla kanalda işlem ve yığma yapmak, bu sayede verilerin sinyal/gürültü oranlarını yükseltmek ve gerçekleştirilen tüm işlemler neticesinde de yeraltının temsili bir görüntüsünü elde etmektir. Bu amaca ulaşma yolunda gerçekleştirilen işlemlerden bir tanesi verilerdeki izleri ayıklamak ve buna ek olarak sinyallerdeki dalgaformlarını düzenleyerek daha yüksek çözünürlük elde etmektir. Gerçekleştirilen işlemlere bir diğer örnek olarak yansıma verilerinin, tekrarlı yansımalar ve yüzey dalgaları gibi istenmeyen etkenlerden ayrılması verilebilir. Bir başka işlem olarak statik düzeltme yoluyla yansımaların gerçek konumlarına taşınması örnek gösterilebilir. Bahsedilmiş olan tüm bu işlemlere ilaveten yeraltına ait hız değerleri ve akustik empedanslara bağlı yansıma ve iletim katsayıları gibi bilgiler elde edilmeye çalışılır.

3.1.2 Sismik kırılma tomografisi yöntemi

Sismik kırılma tomografisi yönteminde temel amaç ışın izleme (raytracing) yoluyla kaynak-alıcı çiftleri için olan seyahat zamanlarına ulaşmak veya bir başka deyişle iki nokta arasındaki en kısa yolu belirlemektir (Şekil 3.6).

Sismik kırılma tomografisi yöntemi, bir başlangıç hız modelinin oluşturulmasını, ardından iteratif olarak model boyunca ışınların izlenmesini, bu izleme işlemi sonucunda ise hesaplanan seyahat zamanlarının ölçülen seyahat zamanları ile karşılaştırılmasını ve son olarak, bu karşılaştırmalar neticesinde modelin değiştirilip hesaplanan ve ölçülen seyahat zamanları arasındaki fark minimize edilinceye kadar işlemin tekrarlanmasını içerir.



Şekil 3.6 : Sismik kırılma tomografisinde ışın yolunun ve yeraltının hücrelendirilmesinin şematik gösterimi (SeisImager/2DTM programına ait kılavuzdan düzenlenmiştir).

Daha önceden de belirtildiği gibi, sismik kırılma tomografisi yöntemi kapsamında her kaynak-alıcı çifti için kaynak ile alıcı arasındaki minimum seyahat zamanı bulunmak istenir. Bu amaca, ışınıyolu l ve yavaşlık (veya ters hız) s için çözüm gerçekleştirilerek ulaşılır. İki parametre de bilinmediğinden, mevcut problem underconstrained olup, iteratif en küçük kareler yaklaşımından yararlanılmalıdır.

$$\text{Yavaşlık } (s) = 1/\text{Hız } (v) \quad (3.8)$$

$$t_i = \int_X \frac{dX}{v(X)} = \int_X s(X) dX \quad (3.9)$$

Yukarıdaki ifadeyi ayrı olarak şu şekilde yazmak mümkündür:

$$t_i = s_1 l_{i1} + s_2 l_{i2} + s_3 l_{i3} + s_4 l_{i4} + \dots + s_N l_{iN} \quad (3.10)$$

Yukarıda verilmiş olan ifadeyi de:

$$t_i = \sum_{j=1}^N s_j l_{ij} \quad (3.11)$$

şeklinde tekrar düzenlemek mümkün olmaktadır. Sonuç olarak, her bir seyahat zamanı için M adet denklem ve N adet bilinmeyen ile karşılaşılacaktır.

$$\begin{aligned} t_1 &= l_{11}s_1 + l_{12}s_2 + \dots l_{1N}s_N \\ t_2 &= l_{21}s_1 + l_{22}s_2 + \dots l_{2N}s_N \\ t_3 &= l_{31}s_1 + l_{32}s_2 + \dots l_{3N}s_N \\ &\vdots \\ t_M &= l_{M1}s_1 + l_{M2}s_2 + \dots l_{MN}s_N \end{aligned} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 ile verilmiş olan ifade topluluğunu ise matris formunda aşağıdaki gibi ifade etmek mümkün olmaktadır:

$$LS = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1N} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2N} \\ l_{31} & l_{32} & \cdots & l_{3N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{M1} & l_{M2} & \cdots & l_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ \vdots \\ t_M \end{bmatrix} = T \quad (3.13)$$

Bu ifade en küçük kareler (EKK) yöntemi olarak nitelendirilmekte olup, ifadedeki ilk matris ışın yollarına, ikinci matris modele ve son matris de seyahat zamanlarına karşılık gelmektedir. Genel olarak, $M > N$ durumundadır.



4. ÇALIŞMA VERİLERİNİN TOPLANMASI

Bu çalışmada, 117Y130 numaralı TÜBİTAK-1001 Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, Kasım 2018 tarihinde, Sapanca Gölü'nün yaklaşık olarak 15 km doğusunda kalan Ekinli köyü civarında, S1 hattı boyunca toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verileri değerlendirilmiş olup, elde edilen sonuçlar ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

Verilerin toplanması kapsamında Geospace Technologies'in ürettiği 14 Hz'lik 120 adet P jeofonu kullanılmıştır. Buna ek olarak, alıcıların bağlantılarının sağlandığı, Geometrics tarafından üretilen 5 adet kayıtçı "geode" kullanılmıştır. Değerlendirilmiş olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinin toplanmasından önceki gün test atışları gerçekleştirilmiş olup, bu atışlar kapsamında kaynak olarak elektrik ateşlemeli P-S gun'dan (Multi-Head-Buffalo-Gun) yararlanılmıştır. Bu kaynak, yeryüzeyinde uygulanmasına rağmen, yeryüzeyinde kullanılan diğer impulsif sismik kaynakların kullanımı ile istenmeyen bir etki olarak ortaya çıkan paging etkisini (kaynağın darbesini takiben kaynağın kontrolsüz bir şekilde tekrarlı olarak darbe gerçekleştirmesi ve veri kalitesini düşürmesi durumu) ortaya çıkarmaz. Kaynağın kullanımı doğrultusunda elde edilen sinyaller yüksek frekans içeriği bakımından zengin olmaktadır. Aynı zamanda, kaynağın kullanımı neticesinde yüksek çözünürlük elde edilebilmektedir. Buna ek olarak, kaynak, atışların benzer şekilde tekrar edilebilmesine imkân vermektedir. Kaynak, $16+16=32$ adet fişek kapasitesine sahiptir. Bir fişeğin gücü ~ 1050 bar'a bir başka deyişle ~ 1071 kg/cm²'ye karşılık gelmektedir. Bu atış kaynağına ek olarak, test atışlarının gerçekleştirildiği hat üzerinde 500 kg ağırlık düşürmeli bir enerji kaynağı da kullanılmıştır. Bu kaynak 2 m yükseklikten serbest düşmeye bırakılmakta ve yerde bulunan metal bir plaka üzerine bir vuruş yaptıktan sonra ağırlığın ikinci kez bu plakaya darbe yapmasını önleyecek şekilde havada durması sağlanmaktadır. Bu kaynağın kullanımı ile atışlar benzer şekilde kolaylıkla tekrarlanabilmektedir. Kaynak 4x4 bir arazi aracı üzerine monte edilmiş olup, tam otomatik hidrolik bir sistemdir. Elde edilmiş olan iki veri grubu penetrasyon derinlikleri ve sinyal kaliteleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar neticesinde, elde edilmiş olan sismik kayıtlarda ağırlık düşürme yönteminin mevcut bölge için daha temiz görüntü vermesi ve aynı zamanda daha pratik bir kullanıma sahip olması nedeniyle geri kalan ölçümlerde ağırlık düşürme yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Çok-kanallı sismik yansıma verilerinin toplanmasında kullanılan ekipmanlara ve arazi çalışmalarına ait görüntüler ise Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Sismik yansıma verilerinin toplanmasında kullanılan ekipmanlara ve arazideki veri toplama çalışmalarına ait görüntüler.

Daha önceden de belirtildiği gibi, verilerin toplandığı hat Sapanca Gölü’nün doğusunda bulunmakta olup, KD-GB doğrultulu ve yaklaşık olarak 1,3 km uzunluğa sahiptir. Bu hat KAF’ı dik kesecek bir şekilde konumlandırılmış olup, fayın yüzey morfolojisi arazide takip edilebilmektedir. Buna ek olarak, hat, veri toplama aşamasında kullanılan ağırlık düşürme kamyonunun hat boyunca kullanılabileceği patika bir yol barındırmaktadır (Şekil 4.1-sağ-üst). Fayın yüzey kırığını dik doğrultuda kesecek şekilde, mümkün olduğunca uzun bir sismik hatta sismik verilerin toplanması ile fay geometrisinin sismik kesitlerde yeterli bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan sismik yansıma verilerine ait olan veri toplama parametreleri ve buna ek olarak verilerin toplandığı hattın koordinatları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Yakın-yüzey yapısı ile ilgili sonuçların güçlendirilebilmesi amacıyla, toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinde çok net olarak gözlenen ilk varışlar

kullanılmış ve sismik kırılma tomografisi yönteminden yararlanılarak hız gradyanı kesitleri oluşturulmuştur. Bu hız gradyanı kesitleri ile yaklaşık olarak 150 m derinliğe kadar olan alandaki yapısal değişikliklerin gözlenmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 4.1 : S1 hattına ait sismik veri toplama parametreleri ve koordinatlar.

Parametreler		Koordinat Değerleri	
		Hat Başlangıcı	Hat Sonu
Hat Uzunluğu	1315 m		
Alıcı Aralığı	5 m	40°42'18.83"K	40°41'39.71"K
Atış Aralığı	10 m		
Atış Sayısı	85		
Kanal Sayısı	120		
Örnekleme Aralığı	0.5 ms	30°30'22.60"D	30°29'59.81"D
Kayıt Uzunluğu	2 s		



5. VERİ İŞLEM

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan sismik yansıma ve sismik kırılma tomografisi veri işlem adımları, ilerleyen bölümlerde ilgili başlıklar altında açıklanmışlardır.

5.1 Sismik Yansıma Verilerinin İşlenmesi

Sismik yansıma veri işlem adımları İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Nezih Canitez Veri İşlem Laboratuvarı'nda, bölüm adına lisanslı olan Paradigm® ECHOS® sismik veri işlem yazılım paketinden (v15.5) yararlanılarak gerçekleştirilmiş olup, izlenmiş olan sismik veri işlem adımları Şekil 5.1'de listelenmiştir.

Verilerin Programa Okutulması	01	06	Genlik Kazancı Uygulaması
Atış-Alıcı Geometrisinin Tanımlanması	02	07	CMP Sıralama
Verilerin İncelenmesi ve Problemlerin Belirlenmesi	03	08	Hız Analizi ve NMO Düzeltmesi
Verilerin Ayıklanması	04	09	Yığma
Süzgeçleme	05	10	Migrasyon

Şekil 5.1 : Çalışmada çok-kanallı sismik yansıma verilerinin işlenmesi kapsamında izlenen veri işlem akış şeması.

5.1.1 Verilerin programa okutulması

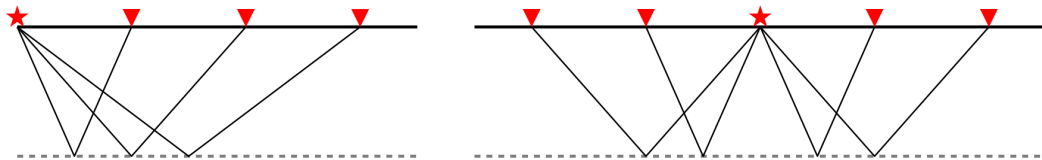
Sismografların çoğu, sismik verileri SEG-Y veya SEG-2 veri formatlarında kaydederler. Bu formatlar, Society of Exploration Geophysicists (SEG) tarafından belirlenmiş olan standart formatlardır. Bu iki format, verilerdeki izlerin başlık (header) biçimlerinin değişik olması ve ayrıca verilerdeki iz genliklerinin farklı şekillerde depolanması bakımından değişiklik gösterirler. Kayıt edilen izler yan yana gelerek atış kayıtlarını oluşturmakta olup, atış kayıtlarında yatay eksen uzaklığına

(metre), düşey eksen ise zamana (saniye) karşılık gelmektedir. Genel olarak, sismik veri işlem yazılım paketlerinde gerçekleştirilen ilk işlem, veri işlem adımlarının gerçekleştirilebilmesi için, bahsedilmiş olan standart SEG formatlarından kullanılan yazılım paketlerinin dahili formatlarına dönüşüm yapılmasıdır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için verilerin integer, floating-point veya compound biçimlerinden hangisi olarak kaydedildiğinin ve buna ek olarak kayıt uzunluğu, örnekleme aralığı ve kanal sayısı değerlerinin bilinmesi gereklidir.

5.1.2 Atış-alıcı geometrisinin tanımlanması

Sismik kaynak ve alıcıların, atışlar gerçekleştirilirken arazide sahip oldukları geometrik konumlarının doğru olarak adreslenmesi veri işlem akışında oldukça önemli bir yere sahiptir. Zira, atış gruplarını oluşturan ve sayıları yüzleri bulan sismik izlerin geometrik konumlarının yanlış tanımlanması halinde veri işlem adımları sonucunda elde edilecek olan sismik kesit de yanlış olacaktır.

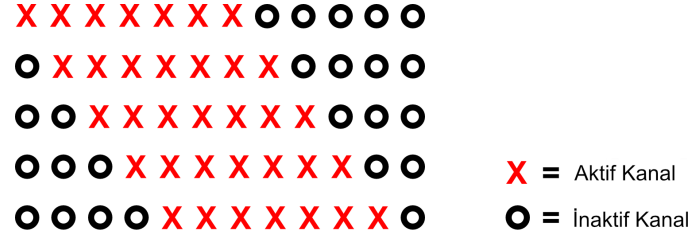
Bu çalışmada kullanılan veriler split-spread atış sisteminde (Şekil 5.2), atış aralıkları 10 metre olacak şekilde toplanmıştır. Çizelge 4.1'den de görülebileceği üzere alıcı aralıkları 5 m'dir. Bu sistemde, ortadaki atışın her iki yanında 48 adet olmak üzere toplam 96 kanallı bir düzen oluşturulmuştur. Buna ek olarak, bahsedilen düzende bulunan 96 alıcıya ilaveten 24 alıcı daha kullanılarak verinin zenginleştirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.2 : End-spread (solda) ve split-spread (sağda) atış sistemlerinin şematik gösterimleri; yıldız işaretleri atışların yapıldığı noktalara, üçgen işaretleri ise alıcıların bulunduğu noktalara karşılık gelmektedir.

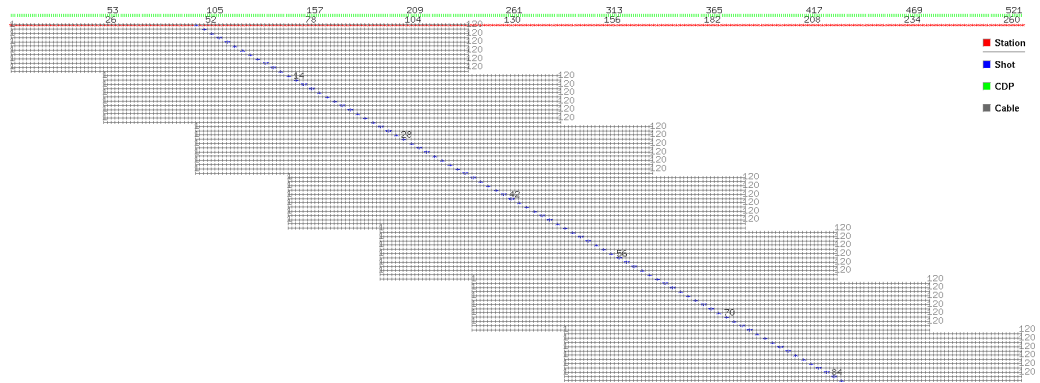
Atışlar kaydirmalı bir düzende (roll-along) gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3). Bu düzende, alıcıların arazide serimleri gerçekleştirildikten sonra her atış için hangi alıcıların kullanılacağı bilgisayar ortamında belirlenir. Atış sayısı arttıkça, kullanılan alıcılar veri toplama yönünde sırayla aktifleştirilirken geride kalan alıcılar inaktif hale getirilir. Buna ek olarak, belirli bir atış sayısı sonrasında geode değişimi yapılarak aktif kanal grupları değiştirilir ve atışlara yeni aktifleştirilmiş olan alıcı grubu eklenerek devam edilir. Çalışmada kullanılan sismik verilerin toplandığı hat

olan S1 hattına ait atış ve alıcı noktalarının arazideki dağılımını gösteren atış-alıcı geometri şeması ise Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3 : Kaydırmalı atış düzeninin (roll-along) şematik gösterimi.

Bu çalışmada, atış-alıcı geometrisinin tanımlanmasının gerçekleştirildiği süreç oldukça uzun ve yorucu olmuştur. Bunun ardındaki neden, çok-kanallı sismik yansıma verilerinin iki ayrı günde toplanmış olması ve aynı zamanda, ikinci gün toplanan verilerin, ilk gün toplanan verilerin toplanma yönüne ters yönde toplanmış olmasıdır. Bu durum, ikinci gün toplanmış olan verilerin veri işlem yazılım paketine, toplanma yönüne ters olacak şekilde okutulması için gerekli ayarlamaların yapılmasını gerektirmiştir. Buna ek olarak, hattın bu kısmı için olan her bir atış kaydının da kendi içinde aynalanması gerekmiştir. Tüm bunlara ek olarak, verilerdeki her bir atışın doğru bir şekilde tanımlandığından emin olunması amacıyla tekrar tekrar kontrol aşamaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.4 : Echos programı ile S1 hattı için elde edilmiş atış-alıcı geometri şeması (kırmızı noktalar alıcı lokasyonlarını, mavi noktalar atış lokasyonlarını, yeşil noktalar CMP lokasyonlarını ve son olarak gri noktalar/çizgiler ise her bir atış için olan kablo serimlerini göstermektedir).

5.1.3 Verilerin ön incelemeye tabi tutulması ve problemlerin belirlenmesi

Atış-alıcı geometrisinin doğru olarak tanımlanmasının ardından gerçekleştirilmesi gereken işlem, özellikle kara sismiği verilerinde mevcut olabilecek spesifik problemlerin, gürültülerin (rastgele ve sistematik) ve bunlara ek olarak yansımaların

belirlenmesidir. Bu aşama, veri işlem adımları neticesinde yanlış bir sismik kesitin elde edilmemesi bakımından önemli bir yere sahiptir.

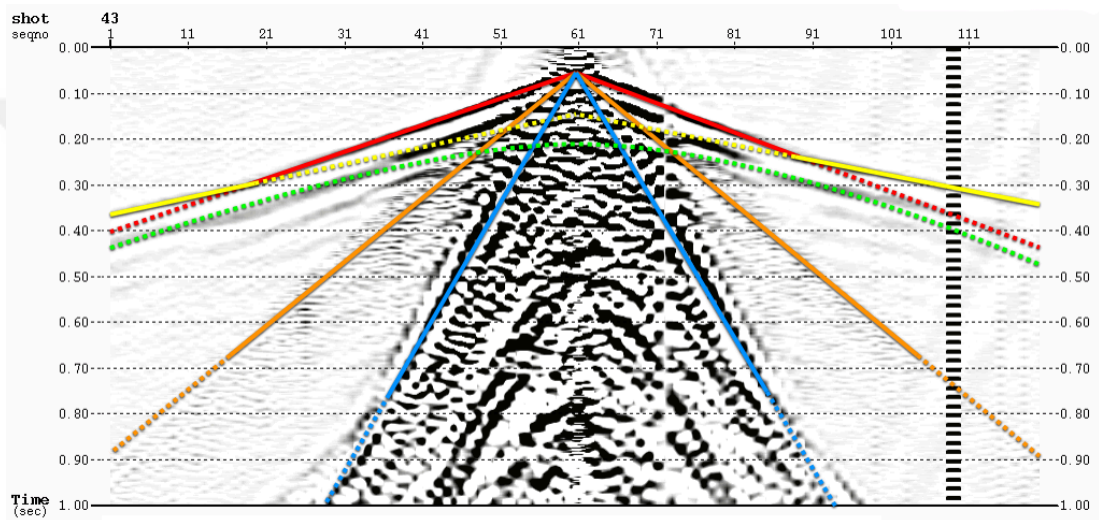
İnceleme kapsamında, verilerde belirlenmesi gereken özelliklerden ilki gürültülü izlerdir. Gürültülü izler, genellikle arazide serimi gerçekleştirilmiş alıcılardan bazılarının bir bağlantı problemi yaşaması sonucu ortaya çıkar. Verilerde rastlanılabilecek gürültülü izler veri ayıklama işlemi ile sıfırlanmalıdır. Aksi takdirde, gürültülü bir iz, final kesitin S/G oranının düşmesine neden olacaktır.

Belirlenmesi gereken ikinci önemli özellik ise yüksek genlikli ground roll gürültüsüdür. Tipik olarak Rayleigh dalgalarından oluşan ground roll gürültüsünü iki ana özellik ile tanımlamak mümkündür. Bunlardan birincisi, ground roll gürültüsünün yavaş bir faz hızına, bir başka deyişle dik bir eğime sahip olmasıdır. Dalga denklemi tanımına göre Rayleigh dalgalarının yayılım hızı doğrudan gelen bir S-dalgasından daha yavaştır. Buna göre, Rayleigh dalgaları, doğrudan gelen bir P-dalgasından da yavaş olmalıdır. Ground roll gürültüsünün bir diğer özelliği ise dispersif olmasıdır. Gürültü, ortamın yüzeyi boyunca yayılım gösterir ve gürültünün etkin olduğu alanın derinliği doğrudan doğruya gürültünün frekansına bağlıdır. Gürültünün yüksek frekanslı bileşeni, ortamın yüzeye yakın kısmıyla etkileşime girerken düşük frekanslı bileşeni ise ortamın hem sığ hem de daha derin kısımlarıyla etkileşime girer. Tüm bunlara ek olarak, ground roll gürültüsü, tipik olarak, yüzeye yakın kırılmalar ve/veya yansımalarından daha düşük bir baskın frekansa sahiptir. Belirli bir yayılım mesafesi için, ground roll gürültüsünün yüksek frekanslı bileşeni, P-dalgası yansımalarından veya kırılmalarından çok daha hızlı bir şekilde sönmülenecek olup, daha düşük bir frekans içeriğiyle kaydedilecektir.

Verilerde belirlenmesi gereken bir diğer önemli özellik ise hava dalgasıdır. Hava dalgası, sığ sismik yansıma verilerinde karşılaşılan tipik bir özellik olup, hızı yükseklik, hava basıncı, sıcaklık ve rüzgârdan dolayı değişiklik gösterse dahi her zaman 340 m/s civarındadır.

İnceleme kapsamında, son ve en önemli olarak sinyallerin, bir başka deyişle yansımaların belirlenmesi gereklidir. Zira, daha önceden de belirtildiği gibi, sismik yansıma veri işlem adımları kapsamında bu sinyallerin mümkün olduğunca gürültülerden arındırılması ve yeraltının doğru bir temsili kesitin elde edilmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan ön incelemeler neticesinde, atış kayıtlarında oldukça baskın bir ground roll gürültüsü mevcut olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak, yönlenmiş dalgaların (guided waves) da atış kayıtlarında oldukça baskın bir varlık gösterdiği söylenebilir. Hava dalgası da verilerde belirgin bir şekilde takip edilebilmektedir. Yansıma sinyalleri ise geniş bir pencere aralığı seçilerek gerçekleştirilmiş olan AGC işlemi neticesinde belirlenebilmiştir. Şekil 5.5'te doğrudan gelen dalgaların, hava dalgasının, kırılmaya uğramış dalgaların, ground roll gürültüsünün ve örnek bir yansıma sinyalinin belirtildiği bir atış kaydı örneği verilmiştir.



Şekil 5.5 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydı; kırmızı çizgiler - doğrudan gelen dalgaları, turuncu çizgiler - hava dalgasını, sarı çizgiler - kırılmış dalgaları, mavi çizgilerin içinde kalan üçgensel alan - ground roll gürültüsünü ve yeşil eğri yansıma sinyalini belirtmektedir.

5.1.4 Verilerin ayıklanması

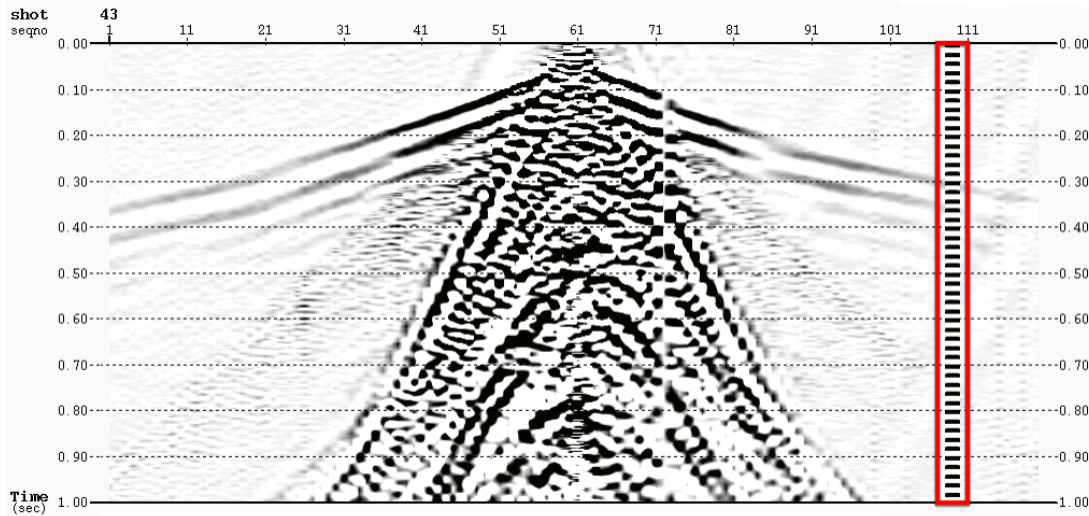
İz sıfırlama, belirtilen bir izdeki tüm genlik değerlerinin sıfırlanması anlamına gelmektedir. Gürültülü izleri sıfırlamak, oldukça basit ve bir o kadar da önemli bir işlem olup, verilere uygulanan ilk işlemlerden biri olmalıdır.

Verilerde gözlenen gürültülü izler ayrı ayrı seçilip sıfırlanabilecekleri gibi toplu olarak da sıfırlanabilirler. Zira, çoğu durumda, gürültülü bir iz, verilerin toplandığı arazi çalışmasında farkedilmemiş olabilecek, belirli bir alıcının sahip olabileceği kötü bağlantıdan kaynaklanır.

Gürültülü izlerin sıfırlanması oldukça önemlidir. Bunun ardındaki neden, gürültülü bir izin, yansıma bilgisi içermesi halinde bile, verilerin geri kalanına göre daha düşük

bir S/G oranına sahip olması dolayısıyla final kesitin S/G oranının düşmesine neden olacağıdır. Bu bağlamda, düşük S/G oranına sahip bir izin sıfırlanması, çoğu zaman, bu izin atılması halinde veri setinden önemli bilgilerin yitirileceğini varsaymanın aksine daha yararlı olacaktır.

Bu çalışma kapsamında da farklı alıcı grupları için farklı kanallara karşılık gelmiş olan bozuk izlere rastlanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan iz ayıklama işleminin daha iyi anlaşılabilmesi açısından Şekil 5.6'da bozuk bir kanal barındıran örnek bir atış kaydı verilmiştir.



Şekil 5.6 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydı; kırmızı dikdörtgen mevcut olan bozuk kanallardan birinin meydana getirdiği gürültüyü belirtmektedir.

5.1.5 Süzgeçleme

Sismik yansıma veri işlem adımlarının temel hedeflerinden biri olan S/G oranını artırmanın bir yolu, sinyalin ve gürültünün ayrılabilceği bir ortamda, gürültü olarak nitelendirilebilecek bilgilerin hafifletilmesi veya sıfırlanmasıdır. Kırılmaların, hava dalgasının (yansımaları kesen yüksek frekanslı bir olay olup, dik bir eğime sahiptir) ve ground roll gürültüsünün (zamansal olarak kırılmalardan daha sonra mevcut olup, düşük frekanslı ve yüksek genlikli bir olaydır) veriden doğru bir şekilde atılması yoluyla S/G oranında artış elde edilecektir.

Zaman-ofset (t-x) ortamında, istenmeyen alanların sıfırlanması (muting) yoluyla yansılardan farklı seyahat zamanı ve uzaklık konumlarına sahip gürültüler atılabilir.

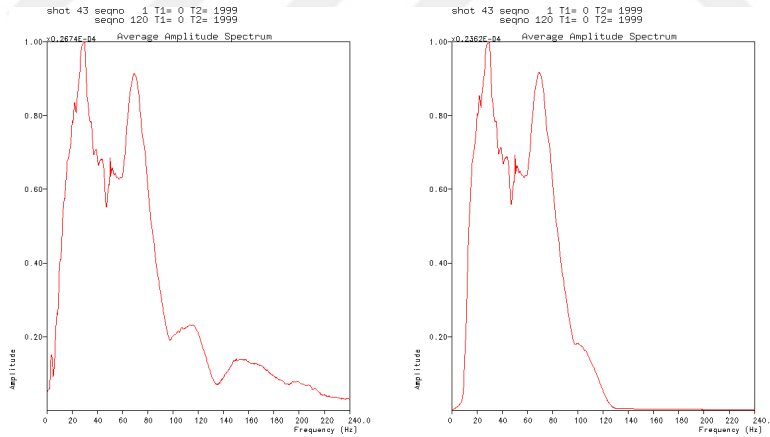
Frekans-dalgasayısı (f-k) ortamında gerçekleştirilebilecek bir süzgeçleme yoluyla da yansılardan farklı bir uzamsal ilişkiye (eğime) sahip olan gürültüleri hafifletmek mümkündür. Örneğin, hava dalgasının baskın olduğu veriler için, f-k ortamında gerçekleştirilebilecek olan bir uzamsal süzgeçleme yoluyla doğrusal hava dalgasının ortadan kaldırılması sağlanabilir. Ancak, hava dalgası genel olarak 1 KHz veya üstünde olması bakımından yüksek frekanslı olarak nitelendirilmekte olup, geniş bantlı bir gürültü formudur. Ayrıca, genellikle örtüşmeye uğramıştır (aliased). Bu nedenle, hava dalgasının f-k süzgeçlemeden yararlanarak atılması sonucunda verilerde iyileşmeden ziyade bozulma ile karşılaşılması muhtemeldir. Zira, işlem neticesinde örtüşmeye uğramış hava dalgasının artırılması söz konusu olabilir. Örtüşmeye uğramış hava dalgasının başarılı bir şekilde atılamaması durumunda, final yığma kesitinde gürültü ile karşılaşılacaktır. Hava dalgasının atılması amacıyla kullanılabilecek en iyi alternatif yöntem cerrahi sıfırlama (surgical mute) işlemidir.

Bunlara ek olarak gerçekleştirilebilecek bir diğer işlem, genlik-frekans ortamında, yansılardan farklı bir frekans içeriğine sahip olan gürültülerin frekans süzgeçleme yoluyla azaltılmasıdır. Frekans süzgeçleme sismik veri işlemin temeli konumundadır. Bu süzgeçleme yöntemi, yansımaların baskın frekansı haricinde kalan frekanslarda mevcut olan gürültüleri hafifletmek için kullanılır. Sığ sismik yansıma verilerinde, ground roll gürültüsü genellikle bu süzgeçleme yöntemi ile hafifletilmeye çalışılır. Aynı f-k süzgeçleme yönteminde olduğu gibi, frekans süzgeçleme uygulamasında da dikkat edilmesi gereken bazı noktalar mevcuttur. Bunlardan en bariz olanı, gürültü yerine sinyalin süzgeçlenmesi ve haliyle S/G oranının düşürülmesi durumudur. Sığ sismik yansıma verileri için en uygun süzgecin bulunmasındaki yolun deneme-yanılma yöntemi olması dolayısıyla, yansıma bilgisinin belirli bir aralıkta olacağını düşünerek hareket etmekten ziyade farklı aralıkta süzgeçler denemek daha yararlı olacaktır.

Bahsedilmiş olan tüm bu yöntemler, hafifletilecek veya sıfırlanacak olan verilere ait olan S/G oranının, geriye kalan verilerin S/G oranlarından çok daha düşük olduğu durumlarda geçerlidir. Buna ilaveten, bahsedilmiş olan tüm bu işlemler herhangi bir ortamda (t-x, f-k, vb.) uygulanırken, seçimin gerçekleştirildiği alanın kenarlarında yuvarlatma (tapering) yapılmalıdır (Yılmaz, 2001). Bu yuvarlatmanın yapılmasıyla, ardışık verilerin birden hafifletilmelerinden/sıfırlanmalarından ziyade yavaş yavaş azalmaları sağlanır. Yuvarlatma alanının büyüklüğü (taper size),

hafifletmenin/sıfırlanmanın uygulandığı bölgenin kenarlarında, işlem neticesinde meydana gelebilecek Gibb's etkisi gibi istenmeyen olayları minimize edebilmek amacıyla, yeterince büyük ancak sinyali gizlememek amacıyla da yeterince küçük olarak belirlenmelidir. Tipik olarak, birinci kesme frekansına ait yuvarlatmanın sınır frekansı belirlenen kesme frekansının bir oktav altında, ikinci kesme frekansına ait yuvarlatmanın sınır frekansı ise belirlenen kesme frekansının yarım oktav üstünde olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında, yansılardan farklı frekans içeriğine sahip olan gürültüler, genlik-frekans ortamında, bant geçişli süzgeç kullanılarak hafifletilmeye çalışılmıştır. Bu süzgeçleme tipi verilerde baskın olan belli bir frekans aralığının korunmasını, bu aralıktan daha yüksek ve düşük frekansların ise bastırılmasını sağlamaktadır. Süzgeçleme işleminin daha doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla atış kayıtlarına ait genlik spektrumları incelenmiş olup, süzgeç için belirtilmiş olan kesme frekansı ve yuvarlatma sınır frekansı değerlerine, yansıma sinyallerine ait frekansların bulunduğu alanlar dikkate alınarak karar verilmiştir. Şekil 5.7'de verilmiş olan genlik spektrumlarından solda olan süzgeçleme işlemi öncesine, sağda olan ise süzgeçleme işlemi sonrasına karşılık gelmektedir.



Şekil 5.7 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydına ait genlik spektrumunun süzgeçleme öncesi (solda) ve süzgeçleme sonrası (sağda) görüntüsü.

Süzgeçleme veri işlem adımı kapsamında, çalışmada kullanılmış olan sismik veri işlem yazılım paketi ECHOS® dört farklı yuvarlatma opsiyonunun kullanılmasına imkân tanır. Bunlar, HANN (Hanning), HAMM (Hamming), COS (Cosine) ve TRI (Triangular) yuvarlatma opsiyonları olup, Hanning, Hamming ve Cosine yuvarlatma katsayılarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel ifadeler Denklem 5.1 ile 5.3

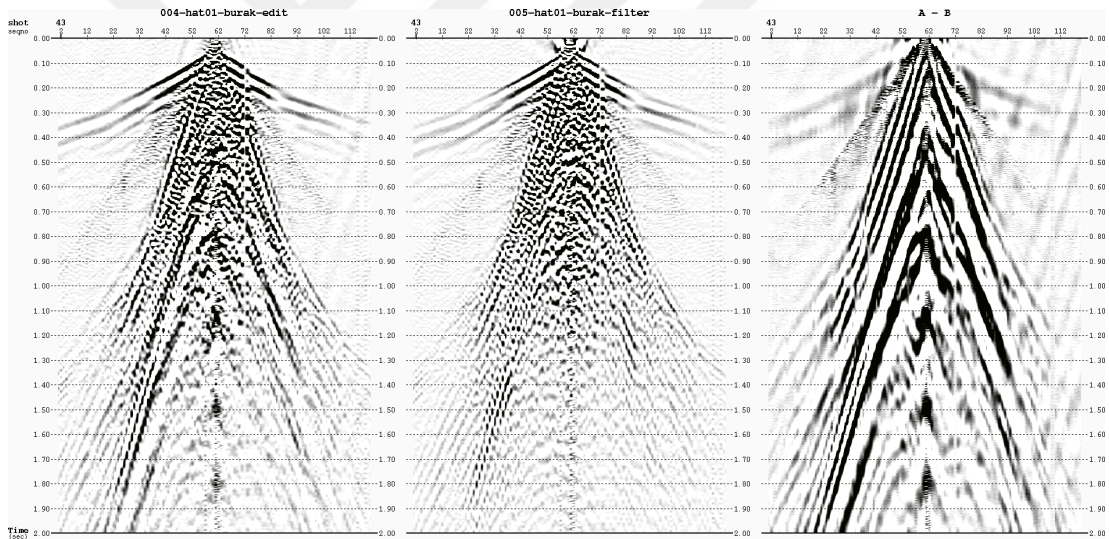
arasında verilmiştir. Triangular yuvarlatma operatörü ise doğrusal bir enterpolatör olarak çalışır.

$$\text{Hanning: } 0.5 + 0.5\cos(A), 0 < A < \pi; \quad (5.1)$$

$$\text{Hamming: } 0.54 + 0.46\cos(A), 0 < A < \pi; \quad (5.2)$$

$$\text{Cosine: } \cos(A), 0 < A < \pi/2 \quad (5.3)$$

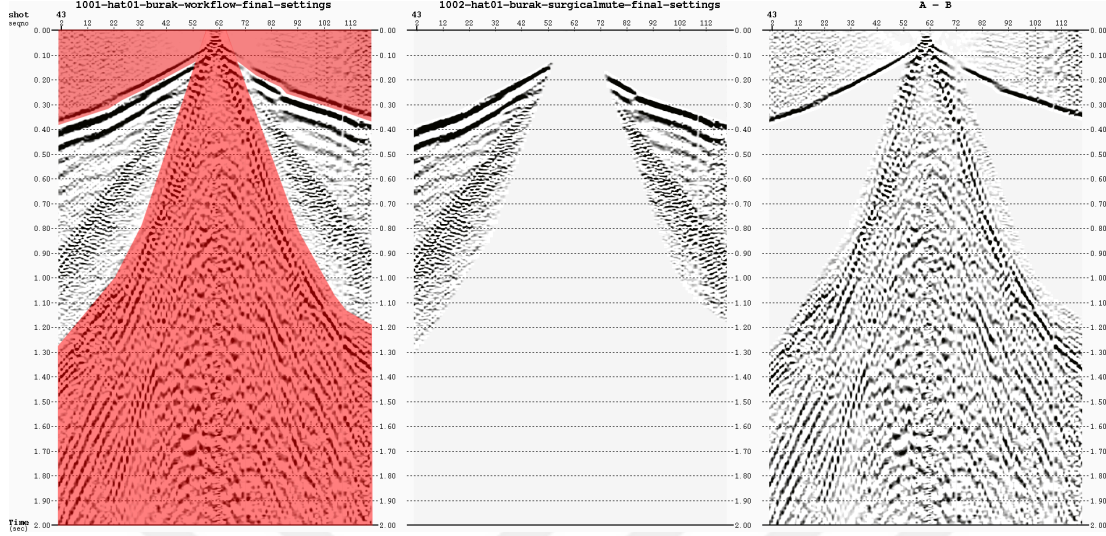
Çalışmada, süzgeçleme parametreleri olarak seçilmiş olan kesme ve yuvarlatma frekansı değerleri düşükten yükseğe doğru sırasıyla 5, 10, 90 ve 135 Hz'dir. Buna ek olarak, süzgeçleme işlemleri gerçekleştirilirken Hanning tipi yuvarlatmadan yararlanılmıştır. Örnek bir atış kaydının süzgeçleme öncesi görüntüsünün çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan süzgeçleme işlemi neticesinde elde edilen sonuç ve veriden atılmış olan gürültüler ile olan karşılaştırması Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydının süzgeçleme öncesi görüntüsü (solda), bu atış kaydının süzgeçleme sonrası görüntüsü (ortada) ve süzgeçleme neticesinde atılmış olan gürültüler (sağda).

Bahsedilmiş olan bant geçişli süzgeçleme işlemine ek olarak verilerde mevcut olan ground roll gürültülerinin verilerden atılabilmeleri amacıyla bir cerrahi sıfırlama işlemi denemesi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için gerekli olan sıfırlama alanı seçimlerinin daha doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla işlemin genlik kazancı uygulamasından sonra yapılması tercih edilmiş olup, işlem kapsamında gerçekleştirilmiş olan seçimlerin karşılık geldiği alanlar ve işlem neticesinde elde edilmiş olan sonuçlar Şekil 5.9'da verilmiştir. İlerleyen veri işlem adımlarında, bu

işlemden kaynaklanan bazı bozucu etkilerle karşılaşılması dolayısıyla cerrahi sıfırlama işlemin final veri işlem akış şemasına dahil edilmemesi uygun görülmüştür.



Şekil 5.9 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydında cerrahi sıfırlama işlemi kapsamında seçilmiş olan alan (soldaki panelde kırmızı alan ile gösterilmiştir), işlem neticesinde elde edilmiş olan sonuç (orta panel) ve veriden atılmış olan alan (sağdaki panel).

5.1.6 Genlik kazancı uygulaması

Kaynaktan yayılan küresel dalgacephesinin genliği, dalga cephesi yarıçapının r olduğu bir durum için, kaynaktan uzaklaştıkça $1/r$ ile azalım gösterir. Buna ek olarak, yayılım esnasında sinyalin frekansı da değişime uğrar ve yüksek frekans içeriği düşük frekans içeriğine göre daha hızlı soğrulur. Bu iki etkenin birleşimi ile yansımalar (genel olarak ground roll gürültüsü ve kırılmalara göre daha yüksek frekansa ve daha düşük genliğe sahiptirler) kaynaktan uzaklaştıkça sönümlenmeye uğrarlar. Matematiksel olarak bu iki faktörün birleşimini şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$A(r) = A(0) \frac{e^{-\alpha r}}{r} \quad (5.4)$$

Bu ifadede yer alan α soğrulma katsayısı olup:

$$\alpha = \pi f / QV \quad (5.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadede ise f etkin frekans, Q kalite faktörü ve son olarak V de ortamın hızına karşılık gelmektedir. Soğurma katsayısının değeri büyük oranda Q değeri tarafından belirlenir. Zira, ayrılmış zeminler için Q değeri daha küçük sıkı

zeminler için ise daha büyük olacağı için ayrılmış zeminlerde soğrulma daha fazla olacaktır.

Bahsedilmiş olan bu nedenlerden ötürü, yansımaların görünürlüklerini artırmak amacıyla, kaynaktan uzaklaştıkça daha fazla olacak şekilde kazanç düzeltmeleri gerçekleştirilir. Bu düzeltmeleri, küresel sapma kazancı, sabit kazanç ve otomatik kazanç kontrolü (AGC) olmak üzere üç farklı şekilde listelemek mümkün olmakla birlikte genlik kazancı uygulaması kapsamında en çok kullanılan genlik kazancı şekli AGC'dir.

AGC işleminde tanıtılan tek ve çok kritik bir yere sahip olan parametre AGC penceresinin uzunluğudur. Bu kazanç yöntemi kapsamında, belirtilen pencere içerisinde mevcut olan genliklerin ortalama mutlak değeri (RMS) hesaplandıktan sonra istenen RMS seviyesi ile hesaplanmış olan bu RMS değerinin oranı kazanç fonksiyonu olarak atanır. Kazanç uygulamasının neticesinde bütün izler aynı genlik seviyesinde olacaktır. AGC penceresinin çok büyük, bir başka deyişle kayıt uzunluğuna çok yakın, seçilmesi halinde, verilerde çok az bir değişiklik gözlenecektir. Bunun aksine, AGC penceresinin çok küçük seçilmesi halinde ise her şey değişime uğrayacak ve veri çok gürültülü bir hâl alacaktır.

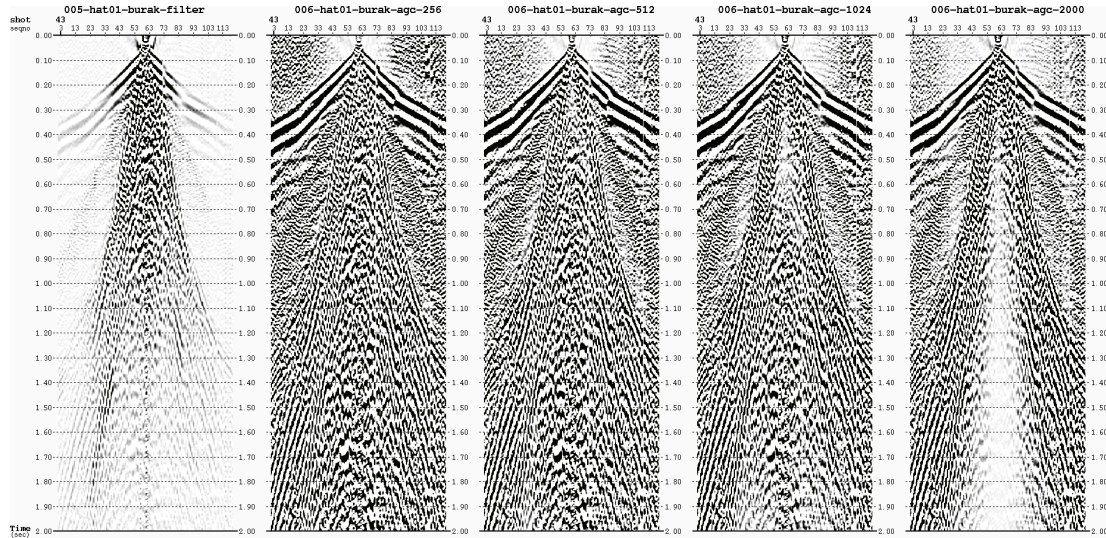
Bu çalışma kapsamında atış kayıtlarına 512 ms'lik bir pencere aralığı seçilerek AGC işlemi uygulanmıştır. Bununla birlikte, deneme amaçlı olarak, farklı pencere aralıkları seçilerek de AGC işlemi uygulanmış olup, bu seçimlerin atış kayıtlarında meydana getirdiği değişimler gözlenmeye çalışılmıştır. Deneme aşamasında tercih edilmiş olan pencere boyu değerleri sırasıyla 256, 512, 1024 ve atış kaydının toplam uzunluğu olan 2000 ms olup, işlemler neticesinde elde edilmiş olan sonuçlar Şekil 5.10'da verilmiştir.

5.1.7 Statik düzeltme

Statik düzeltme veya yükseklik statığı düzeltmesi kapsamında gerçekleştirilecek olan düzeltme referans seviyesi statığı olup, düzeltme neticesinde her bir kaynak ve alıcı, zamansal olarak, düz bir referans seviyesine kaydırılmış olur.

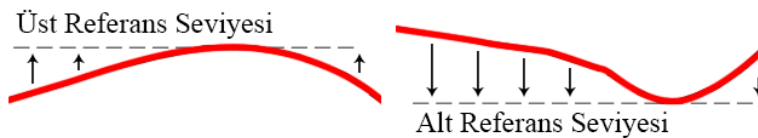
Referans seviyesinin konumunu iki şekilde belirlemek mümkündür. Bunlardan birincisi, referans seviyesinin, hattın en alt kısmına karşılık gelecek şekilde konumlandırılmasıdır (Şekil 5.11-sağ). Bu konumlandırma şeklinin, referans

seviyesinin üzerinde kalan alana ait hızın doğrudan gelen dalgaların enerjisinden belirlenenebilmesi dolayısıyla başarılı olduğu söylenebilir.



Şekil 5.10 : Toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerinden 43. atış için olan sismik atış kaydının süzgeçleme sonrası görüntüsü (solda), ve soldan sağa doğru, sırasıyla 256, 512, 1024 ve 2000 ms pencere boyu değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olan AGC sonuçları.

İkinci konumlandırma şeklinde ise, referans seviyesi, hattaki en üst kısma karşılık gelecek şekilde belirlenir (Şekil 5.11-sol). Bu konumlandırma şekli, yansıma olaylarının, hattaki en yüksek konum ile en düşük konum arasında gözlemlendiği durumlarda tercih edilir.



Şekil 5.11 : Statik düzeltme, kaynakların ve alıcıların görünür konumlarını, üst (solda) veya alt (sağda) referans seviyesine taşımak amacıyla uygulanır. Resimde gösterilmiş olan oklar, kaynak ve alıcı konumlarının, yeryüzeyinden referans noktasına olan (pozitif veya negatif) kaydırma derinliğini ifade eder.

Bahsedilmiş olan referans seviyesi seçimlerine ek olarak, uzunluğu boyunca nispeten düzgün bir eğime sahip olan bir hat için, kaydırma miktarını en aza indirmek amacıyla, eğimli bir referans seviyesi kullanılabilir.

Statik düzeltmelerin hesaplanması için bir alt referans seviyesinin kullanılması halinde, yansıma bilgilerinin, sismik kesitin dışına kayma ihtimali vardır. Bununla birlikte, yükseklik düzeltmelerindeki temel problem, yüzeyden referans seviyesine

doğru olan ortalama hızın belirlenmesidir. Hızın yanlış olarak belirlenmesi halinde, yapılan düzeltmeler fazla veya yetersiz olacak ve dolayısıyla son yığma kesitinde yanlış bir yapı elde edilecektir. Bir başka deyişle, son yığma kesitinde gözlenecek olan yapı, düzeltmenin fazla olması durumunda, yükseklikteki değişimle doğru orantılı, düzeltmenin yetersiz olması durumunda ise, yükseklikteki değişimle ters orantılı olacaktır.

Bu çalışma kapsamında, veri işlem aşamalarının gerçekleştirildiği çok-kanallı sismik yansıma verilerinin toplandığı bölgenin oldukça düzlük bir alanda olması nedeniyle herhangi bir statik düzeltme işlemi gerçekleştirilmemiştir.

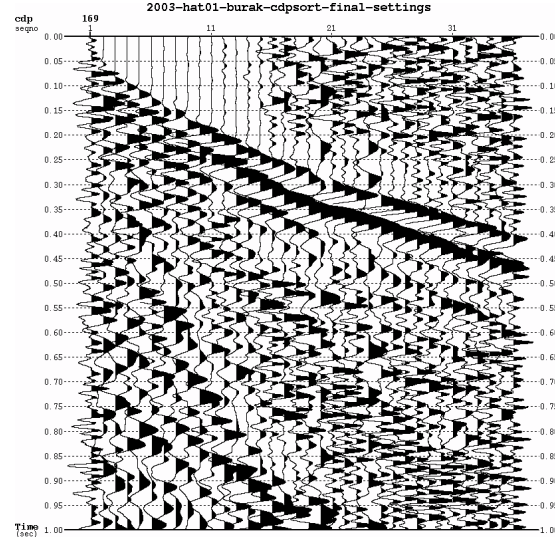
5.1.8 CMP sıralama

CMP sıralama işleminin temelini, ortak-orta-nokta kavramı (Common-Mid-Point, CMP) oluşturmaktadır. Atış grupları yeraltındaki farklı noktalardan gelen bilgileri temsil ederken CMP grupları yeraltındaki tek bir noktaya ait bilgileri temsil eder.

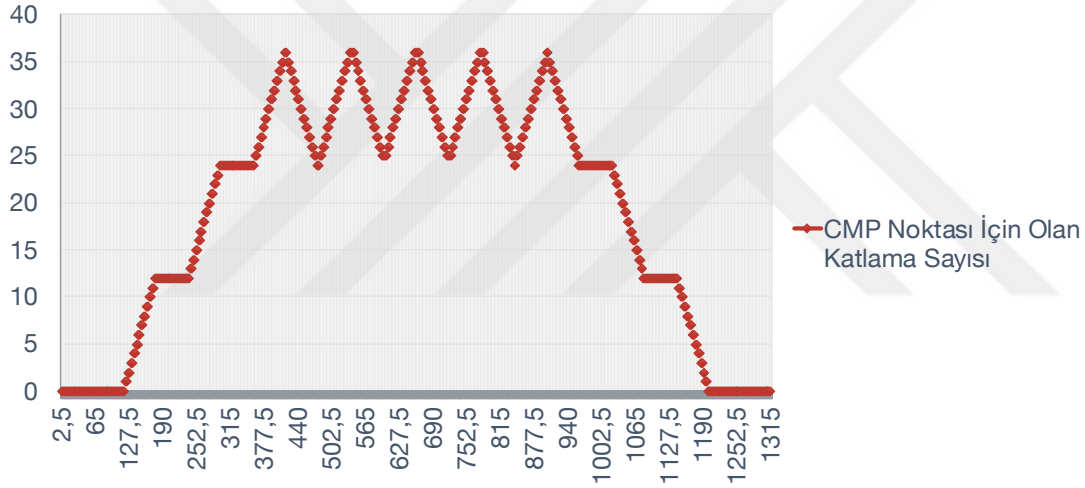
Geçmişte yapılan sismik çalışmalarda, kullanılan sismografların daha az kanallı olması, buna ek olarak çalışmalar kapsamında hedeflenen tabakaların neredeyse yatay olması dolayısıyla yeraltının görüntüsünü elde etmek için gerçekleştirilen veri işlem adımları çoğu zaman başarılı olmuştur. Bununla birlikte, teknolojiye ve yansıma sismiğinde yaşanan gelişmeler, ayrıca çalışmalar kapsamında hedeflenen tabakaların yatay olmadığı durumların söz konusu olması doğrultusunda hâlihazırda kullanılan uzamsal veri işlem algoritmaları başarısız olmaya başlamıştır. Bu durum, CMP işleminin geliştirilmesine neden olmuştur.

Atış-alıcı geometrisinin doğru bir şekilde tanımlanmasının ardından, izlerin CMP gruplarına göre yeniden düzenlenmesi oldukça basit bir işlemdir. Bu düzenlemenin, ortak-alıcı veya ortak-ofset gruplarına yapılması da mümkündür.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan CMP sıralama işlemi neticesinde elde edilen örnek bir görüntü Şekil 5.12’de verilmiştir. Bahsedilmiş olan bu şekilde, maksimum katlama sayısına ulaşılan ilk CMP noktası olan 119. noktaya ait (numaralandırma olarak 169’a karşılık gelmekte olup, hat başına olan mesafesi 416.25 m’dir) bant-geçişli süzgeçleme ve AGC işlemi uygulanmış verilerden elde edilmiş olan CMP sıralama sonucu mevcuttur. Buna ek olarak, Şekil 5.13’te bu çalışmada kullanılmış olan sismik yansıma verilerine ait her bir CDP noktası için elde edilmiş olan katlama sayısı değerleri mevcuttur (Denklem 5.7).



Şekil 5.12 : Bant-geçişli süzgeçleme ve AGC işlemi uygulanmış verilerden elde edilmiş olan CMP sıralama sonucu.



Şekil 5.13 : Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan CMP sıralama işleminin ardından her bir CMP için mevcut olan katlama sayısı değeri.

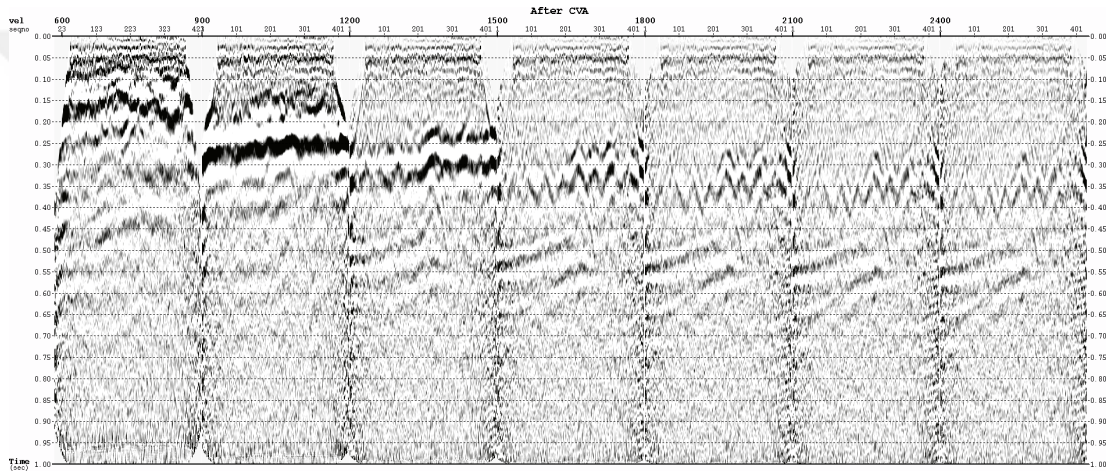
5.1.9 Hız analizi

Veri işlem adımları arasındaki en önemli adımın yansımaları belirlemek olduğu söylenebilir. Bunu takip eden en önemli işlem ise hız analizidir. Zira, yansımaların yığma hızları hız analizi doğrultusunda belirlenmekte olup, doğru bir hız analizi gerçekleştirilmeden, yansımalar, son yığma kesitinde doğru bir şekilde ifade edilemeyeceklerdir.

Hız analizi yöntemleri arasında, semblans hız grafiklerini kullanmak, CMP grupları üzerinde hiperboller belirlemek ve sabit-hız-yığması kesitleri (CVS) kullanmak gibi pek çok yöntem mevcuttur. Sığ sismik yansıma verileri için kullanılabilecek belki de

en kolay yöntem CVS grafiklerinden yararlanmaktır. Genel olarak, sığ sismik verilerin keşif ölçeğindeki sismik verilere göre veri hacmi bakımından daha küçük olması dolayısıyla, tüm veri setinin sabit hızlı yığmalarını kullanmak mümkün ve oldukça verimli olmaktadır. Zira, daha farklı yöntemlerden yararlanılarak hızların parça parça belirlenmesinden ziyade, tüm veri setinde CVS yönteminin kullanılmasıyla, hızlar daha çabuk bir şekilde belirlenebilir ve tüm yansımalarda maksimum uyum elde edilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmada da hız analizi aşaması kapsamında CVS yönteminden yararlanılmıştır. CVS denemeleri kapsamında kullanılmış olan hız değerleri sırasıyla 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 ve 2400 m/s şeklindedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 : Sırasıyla 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 ve 2400 m/s hız değerleri için elde edilmiş, 1 s'lik bir zaman aralığı için olan CVS kesitleri.

5.1.10 Normal kayma zamanı (NMO) düzeltmesi

Kayma zamanı (moveout), kaydedilmiş bir yansıma dalgasının kaynak-alıcı fonksiyonu cinsinden karşılık aldığı değerler ile yansıtıcı arayüzeyin sıfır ofsetteki düşey konumu arasındaki seyahat zamanı farklılıklarını ifade etmektedir.

Normal kayma zamanı (NMO), aralarında belirli bir mesafe bulunan bir kaynak-alıcı çiftine ait olan yansıma olayı için kaydedilen seyahat zamanı ile kaynak ve alıcının aynı konumda olduğu bir durumda kaydedilen seyahat zamanı arasındaki farka karşılık gelmektedir. NMO düzeltmesi, verilere, hız analizi aşamasında belirlenen hız alanından yararlanılarak uygulanır. Eğim kayma zamanı (DMO) ise, yansıma olayının eğimli bir yansıtıcı arayüzeyden gerçekleşmesi halinde, iki farklı noktada bulunan alıcılarda kaydedilecek olan seyahat zamanlarının farkına karşılık gelmektedir.

Yeraltına ait doğru bir zamansal ve uzamsal görüntünün elde edilmesi NMO ve DMO etkilerinin giderilmesi ile mümkün olup, bu etkiler için olan düzeltmelerin doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmeleri için doğru bir hız bilgisinin elde edilmesi ve uygulanması gereklidir.

Hiperbolik yansıma olaylarının düzleştirilmesi amacıyla, yığma adımı öncesinde, CMP gruplarına NMO düzeltmesi uygulanır. NMO düzeltmesinin belirlenmesinin ardındaki temel varsayım, kullanıcı tarafından ölçülen yığma hızlarının NMO hızlarına eşit olmasıdır. Bu varsayım, yapısal dalgalanmaların veya yanal hız değişimlerinin küçük olduğu durumlarda geçerlidir. NMO hızı, hiperbolik yansıma olaylarının doğru bir şekilde düzleştirilebileceği hızdır. Daha önceden de bahsedildiği gibi, NMO düzeltmesi, yansımayı sıfır-ofset seyahat zamanına (t_0) taşımak için uygulanmakta olup, şu şekilde ifade edilebilir:

$$t_0^2 = t_x^2 - \frac{x^2}{v_{rms}^2} \quad (5.6)$$

Burada t_x , aralarındaki mesafe x olan bir kaynak ve alıcı için kaydedilmiş olan seyahat zamanını, v_{rms} ise yansıtıcı arayüzeyin kök-kare-ortalama hızını ifade etmektedir. Yansıma olaylarından ilki için, yukarıda verilmiş olan denklem daha basit bir hâl alır. Zira, bu durumda, v_{rms} doğrudan gelen enerjiden ölçülebilir olup, yüzey katmanının hızına eşit olacaktır. Daha sonraki yansıma olayları için, v_{rms} , CMP gruplarındaki yığma hızlarından yaklaşık olarak elde edilebilir.

NMO düzeltmesi miktarı, derinlik/zaman, NMO hızı ve kaynak-alıcı arasındaki ofset ile ilişkilidir. NMO düzeltmesi, hız geçişinin çok büyük olduğu durumlarda ya da NMO gerilmesinin önemli bir sorun teşkil ettiği kaynak-alıcı ofsetlerinin varlığında kararsız bir tutum sergiler (Miller, 1992; Miller ve Xia, 1998).

Yansıma bilgisi, yansıma hiperbolünün üst ve alt kısımları arasında NMO farklılıkları olması dolayısıyla bozulmaya uğrayabilir. Bu durum NMO gerilmesi olarak adlandırılmakta olup, yakın-yüzey CMP yansımalarının görüntülenmesi esnasında karşılaşılmaması beklenen bir durumdur. Bununla birlikte, NMO düzeltmesi esnasında, NMO gerilmesi sıfırlama (stretch mute) işleminden yararlanılarak, bozulmaya uğramış yansıma bilgilerini sıfırlamak mümkündür.

Bu noktada, NMO gerilmesi sıfırlama işleminin, NMO düzeltmesi kapsamında önemli bir yere sahip olduğu belirtilmelidir. Zira, gerçekleştirilecek olan sıfırlama

işleminin yeterli olmaması halinde, final yığma kesitinde bozulmaya uğramış düşük frekanslı yansıma bilgisi mevcut olacaktır. Sıfırlama işleminin, gereğinden fazla olarak gerçekleştirilmesi halinde ise yansıma bilgisi azaltılabilir. Bu durum da yığma sonucunda S/G oranında bir artış elde edilememesine neden olacaktır.

DMO düzeltmesi ise yansıtıcı arayüzeylerin ciddi bir eğime sahip olduğu durumlarda gerekli olup, yığma öncesi migrasyon işleminin yerine gerçekleştirilir. Bu düzeltme, 10 dereceden küçük eğim açısına sahip yansıtıcı arayüzeyler için ihmal edilebilir olup, genellikle yakın-yüzey sismik çalışmalar kapsamında uygulanması gerekli değildir.

5.1.11 Yığma

Yığma işlemi NMO-düzeltilmesi uygulanmış CMP gruplarında yer alan izlerin düşey olarak toplanması (yığılması) ve müteakip izlerin ilgili CMP noktalarına konumlandırılmasına dayanmaktadır. Bu işlem neticesinde, atış grubunu oluşturan izlerde mevcut olabilecek gelişigüzel gürültüler sönmünecek ve S/G oranında katlama sayısının kareköküyle doğru orantılı olarak bir artış gözlenecektir. Katlama sayısı şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$\text{Katlama Sayısı} = \frac{\text{Kanal Sayısı} \times \text{Grup Aralığı}}{2 \times \text{Atış Aralığı}} \quad (5.7)$$

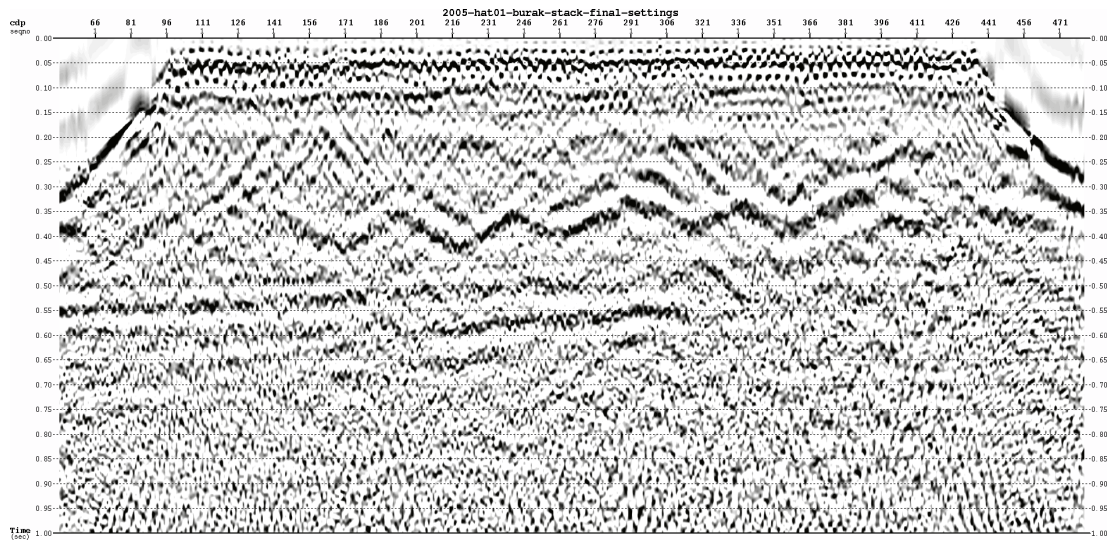
Sismik verilerin katlama sayısı ne kadar yüksek olursa, S/G oranları da bir o kadar yüksek olacaktır. Ancak, sismik verilerde gelişigüzel olmayan (tutarlı) gürültülerin mevcut olması hâlinde, bu varsayım geçerliliğini yitirecek olup, böyle bir durumda S/G oranı, katlama sayısı karekökü kadar hızlı bir şekilde artmayacaktır. Hatta, bazı durumlarda, bahsedilmiş olan bu gürültüler düzgün bir şekilde giderilemeyecek olup, S/G oranında hiçbir artış elde edilemeyecektir.

Bu çalışma kapsamında oluşturulmuş olan CVS panellerinden yola çıkarak belirlenmiş olan hızların kullanımı neticesinde elde edilmiş yığma kesiti Şekil 5.15'te verilmiştir.

5.1.12 Migrasyon

Sismik çalışmanın gerçekleştirildiği ortamda mevcut olan yeraltı tabakalarının düz bir şekilde uzanım göstermesi halinde, yığma işleminin gerçekleştirilmesi neticesinde elde edilen kesitte, yeraltının uzamsal görüntüsü doğru bir şekilde yer alacaktır.

Bununla birlikte, yanal hız değişimlerinin fazla olduğu ve/veya oldukça dik eğimlere sahip arayüzeylerin bulunduğu ortamlarda ise yeryüzeyindeki alıcılarda kaydedilmiş olan bilgiler yeraltı yapısını doğru bir şekilde temsil etmeyecektir. Buna ek olarak, bu tip ortamlarda kaydedilmiş verilerde saçılmalara rastlanması mümkündür. Saçılmalar, yerin içerisine gönderilen sismik dalgaların yeraltında bulunan keskin yapılara çarpması veya geometrik açıdan kısıtlı alanlara girmesi sonucu rastlanılan hiperbolik olaylar olup, yansımaları gizleyebilirler ve/veya yansımaların sürekliliklerini bozabilirler.



Şekil 5.15 : Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan yığma işlemi neticesinde elde edilmiş kesitin 1 s'ye kadar olan görüntüsü.

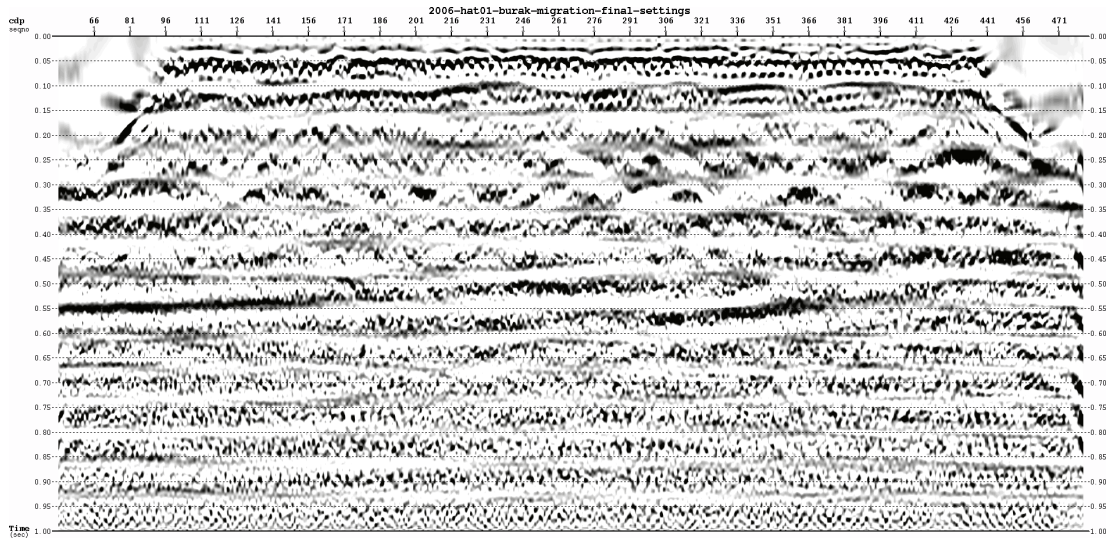
Migrasyon (göç) işlemi, yığma öncesinde veya sonrasında, CMP verilerine uygulanabilen bir ters çözüm işlemi olup, yansıma verilerinin gerçek (sıfır ofset) konumlarına atanmasını sağlar. Bu sayede, yansımaların, yığma verilerinde mevcut olan görünür eğim açıları yeraltı yapısını temsil eden doğru eğim açlarına dönüştürülür. Buna ek olarak, migrasyon işlemiyle, saçılmaların yarattığı etkiler giderilerek veya hafifletilerek verinin S/G oranı artırılabilir. Tüm bunlara ilaveten, migrasyon işlemi sayesinde, yanal hız değişimlerinin fazla olması halinde bile verileri zaman ortamından derinlik ortamına doğru bir şekilde dönüştürmek mümkün olmaktadır.

Migrasyon türlerini saçılma-yığma migrasyonu (diffraction-stack migration) ve dönüşüm migrasyonu (transformation migration) olmak üzere iki başlık altında incelemek mümkündür. Saçılma-yığma migrasyon teknikleri her bir yansıtıcıyı yakın aralıklı saçıcı noktalar olarak ele alır (Sheriff ve Geldart, 1995). Saçılma-yığma

migrasyon tekniklerinin en yaygın olarak kullanılan şekli Kirchoff migrasyonu olup, bu migrasyon şekli genlik değerlerini eğim ve açılıma bağlı olarak düzenledikten sonra görünür konumlarından olması gereken konumlarına taşır. Dönüşüm migrasyonu tekniklerine örnek olarak ise frekans-dalgasayısı (f-k) migrasyonu, Stolt migrasyonu ve faz kayması ya da bir diğer adıyla Gazdag migrasyonu verilebilir (Gazdag, 1978; Stolt, 1978; Robinson, 1983; Gazdag ve Sguazzero, 1984a; Gazdag ve Sguazzero, 1984b). Bu tekniklerin tümünde, migrasyon işleminin gerçekleştirilmesinin öncesinde, zaman-ofset (t-x) ortamından bir başka ortama dönüşüm gerçekleştirilir.

Migrasyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için her şeyden önce kullanılan veri setinin, migrasyon işlemi sonrasında verinin kenarlarında meydana gelecek olan istenmeyen etkileri minimuma indirecek oranda büyük olması gereklidir. Buna ek olarak, hız profillerinin doğru olarak belirlenmesi ve elde edilen sonuçların doğru olduğundan emin olabilmek için tekrar tekrar kalite kontrol işlemlerinin gerçekleştirilmesi gereklidir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan migrasyon işlemi neticesinde elde edilmiş kesit Şekil 5.16'da verilmiştir. Elde edilmiş olan bu kesitte istenmeyen etkilerin çok fazla olduğu ve bu kesit baz alınarak doğru bir jeolojik yorumun yapılamayacağı düşünülmüş olup, yorumlamaların gerçekleştirileceği final kesitin Şekil 5.15 ile verilmiş olan yığma kesiti olarak seçilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 5.16 : Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan migrasyon işlemi neticesinde elde edilmiş kesitin 1 s'ye kadar olan görüntüsü.

5.1.13 Final sismik kesidin elde edilmesi

Bu çalışmanın daha önceki kısımlarında da bahsedildiği gibi, sismik yansıma çalışmalarının kapsamında gerçekleştirilen tüm işlemler neticesinde yeraltının temsili bir görüntüsünün elde edilmesi hedeflenir. Bir başka deyişle, bu çalışmalarda, çalışmanın gerçekleştirildiği ortamda mevcut olan yansıtıcıların ve bu yansıtıcılara ait derinliklerinin belirlenmesi istenmektedir.

Ortamdaki arayüzeylerin eğimlerinin ve yanal hız değişimlerinin küçük olduğu durumlarda, elde edilmiş olan zaman kesitlerini, hız analizi aşamasında belirlenmiş olan hız fonksiyonlarından yararlanarak derinlik kesitlerine dönüştürmek mümkün olmaktadır. Bu noktada önemli olan, Dix dönüşümünün kullanılması ve yığma hızlarının aralık hızlarına (interval velocity) dönüştürülmesidir. Aralık hızlarının hesaplanmasının ardından, derinlik kesitleri oluşturulabilir. Aralık hızlarının daha iyi bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla kırılma ve sondaj kuyusu bilgileri gibi farklı bilgilerden de yararlanılabilir.

Dix dönüşümü şu şekilde tanımlanmaktadır (Dix, 1955):

$$V_{\text{int}} = \sqrt{(t_2 V_{\text{RMS2}}^2 - t_1 V_{\text{RMS1}}^2) / (t_2 - t_1)} \quad (5.8)$$

Bu ifadede, V_{int} aralık hızına, t_1 birinci yansıtıcı arayüzeye kadar zamana, t_2 ikinci yansıtıcı arayüzeye kadar olan zamana, V_{RMS1} birinci yansıtıcı arayüzeye kadar olan kök-kare-ortalama hız değerine ve son olarak V_{RMS2} de ikinci yansıtıcı arayüzeye kadar olan kök-kare-ortalama hız değerine karşılık gelmektedir.

Sismik yansıma verilerinin işlenmesi başlığı altında, şu ana kadar bahsedilmiş olan tüm veri işlem uygulamalarının gerçekleştirilmesi neticesinde final kesiti elde edilmiş olacaktır.

Final kesitlerinin zaman ortamında mı yoksa derinlik ortamında mı olduğunun belirtilmesi oldukça önemlidir. Mümkün olması halinde, derinlik kesitleri herhangi bir düşey abartma olmadan sunulmalıdır.

Kesitlerin sunumunda dalgacık (wiggle), değişken alan (Variable Area, VA) ve değişken yoğunluk (Variable Density, VD) gibi farklı gösterim tiplerinden yararlanılabilmektedir. Buna ek olarak kesitlerin siyah beyaz olarak veya renklendirilerek sunulması da tercih edilebilmektedir.

5.2 Sismik Kırılma Tomografisi Yöntemiyle Sismik Verilerin İşlenmesi

Sismik kırılma verilerinin geleneksel olarak yorumlanması, yüzeye geri dönen sismik dalgaların seyahat zamanlarının derinlik değerlerine dönüştürülmesi ve yeraltının, farklı sismik hızlara sahip katmanlı bir ortam olarak ifade edilmesi şeklindedir. Günümüzde, gelişen yorumlama teknikleri sayesinde, hız değişikliklerini ayrı katmanlar olarak yorumlamanın yanında bir hız gradyanı ile ifade etmek de mümkün hale gelmiştir. Bu hız gradyanı, kırılma tomografisi olarak da bilinmekte olup, ışın izleme algoritmasını, bir başka deyişle, yeraltından geçen sismik enerjinin hareket yollarının yorumlanmasını kullanır.

Sismik kırılma tomografisi yöntemiyle sismik verilerin işlenmesi kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde lisanslı olarak bulunan SeisImager/2DTM programından yararlanılmıştır. SeisImager/2DTM programı, sismik çalışmalarından elde edilen kırılma ve yüzey dalgalarının analizi için kullanılan ve Pickwin, Plotrefa, WaveEq ve GeoPlot olmak üzere dört modül barındıran bir programdır. Çalışma kapsamında, bahsedilmiş olan bu modüllerden sadece "Pickwin" ve "Plotrefa" modülleri kullanılmıştır.

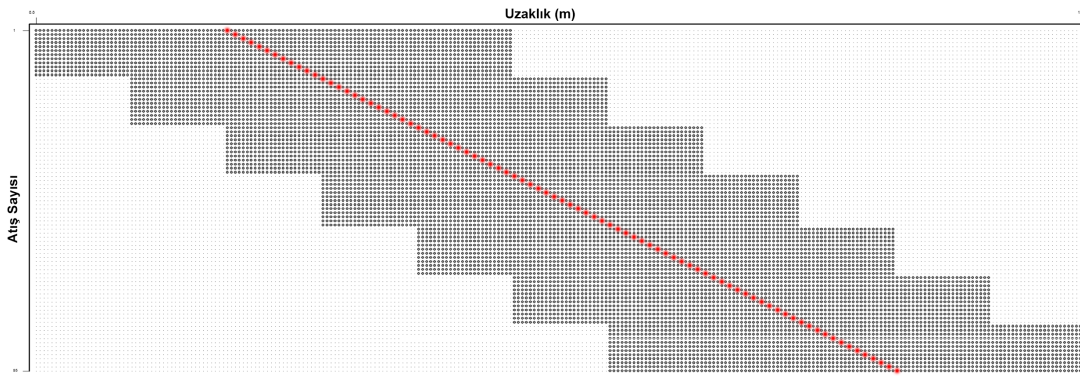
Pickwin modülü, başlıca, arazide kayıt edilen sismik verilerdeki direkt ve kırılarak gelen dalgaların ilk varışlarının işaretlenmesi için kullanılmaktadır. Bunun yanında, modül, işaretlenen ilk varışların, değerlendirildikleri modül olan Plotrefa'da kullanılabilecek formatta kayıt edilmesine imkân tanır. Pickwin modülü bünyesinde, genellikle, SEG2 dosya uzantısının kullanılması tercih edilir.

Yöntem kapsamında gerçekleştirilmiş olan ilk adım, Pickwin modülüne verilerin toplu olarak okutulmasıdır. Bu adım kapsamında ilk olarak modüle aktarılacak istenen verilerin grup halinde seçimi gerçekleştirilir. Bu aşamanın ardından, modül, seçilmiş olan dosyaların sayısını gösteren yeni bir pencere açtıktan sonra, izlere ait başlıklarda yer alan kaynak ve alıcı pozisyonlarını kullanmanın tercih edilebileceği yeni bir pencere açar. Bu pencerenin ardından ise kaynak, birinci alıcı ve alıcı aralığı gibi bilgilerin girilebileceği, çağırılabilmesi (import) ya da dışa aktarılabilmesi (export) yeni bir pencere ile karşılaşılır. Gerekli bilgiler, uygun olarak girildikten sonra, verilere görsel olarak ulaşılır.

Girilmiş olan bilgilerde herhangi bir değişiklik yapılmak istenmesi durumunda, bilgilerin girildiği pencereye tekrar ulaşmak mümkündür. Tercih edilmesi halinde,

açılmış olan veriler ve girilmiş olan bilgiler kaydedilebilir. Bu sayede, kaydedilmiş olan dosya yine açılabilir, dolayısıyla verilere ve girilmiş olan bilgilerine daha hızlı bir şekilde erişim sağlanabilir.

Modül, tanıtılmış olan verilere ait atış-alıcı geometrisine ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Verilerde mevcut olan kaynak, alıcı ve CMP sayılarının belirtildikten sonra her atış sekansını sembolize eden bir geometrik şemaya ulaşılabilir (Şekil 5.17).

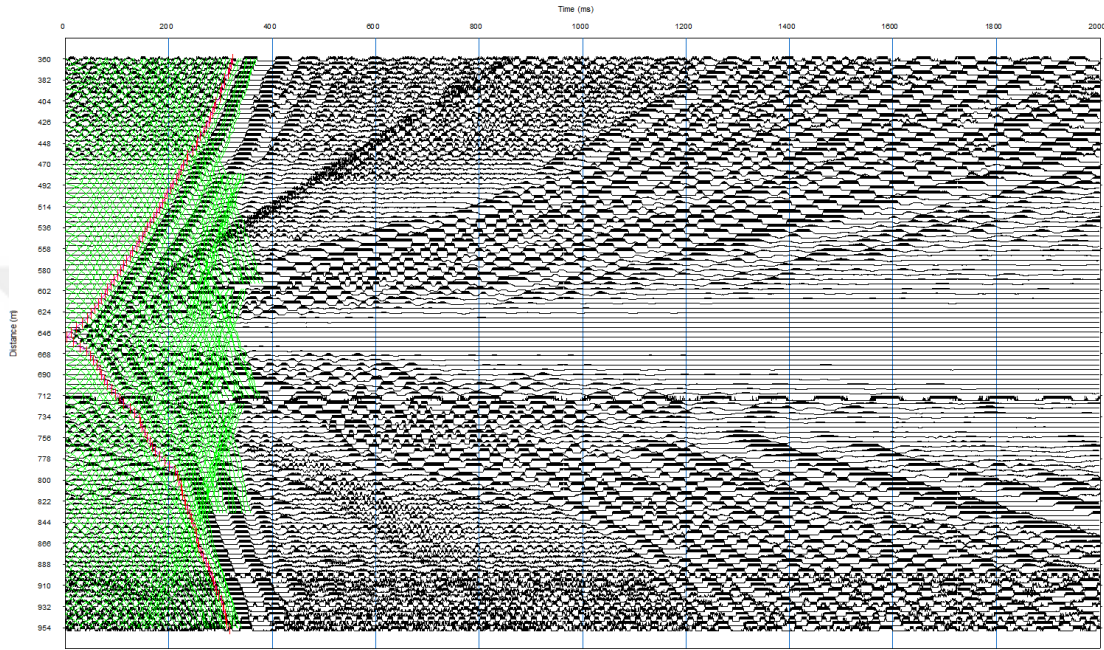


Şekil 5.17 : SeisImager/2D™ programı ile S1 hattı için elde edilmiş atış-alıcı geometri şeması (kırmızı noktalar atış lokasyonlarını, gri noktalar ise alıcı lokasyonlarını göstermektedir).

Verilere görsel olarak ulaşılmasının ardından gerçekleştirilecek olan adım, alıcılara ait ilk varış zamanlarının işaretlenmesi ve seyahat zamanı eğrilerinin oluşturulmasıdır. Bu işlem, modülün üst kısmında yer alan butonlardan  butonu kullanılarak gerçekleştirilir. İşaretlemeler neticesinde elde edilen eğrilerin hız değerleri ise  butonundan yararlanılarak kontrol edilebilir. Yapılmış olan ilk varış işaretlemelerine bir örnek Şekil 5.18’de verilmiştir. Şekildeki kırmızı işaretler, görselde mevcut olan atış için yapılmış olan işaretlemeler olup, yeşil işaretler ise geri kalan atışlar için yapılmış olan işaretlemelerdir.

Yapılan ilk varış işaretlemeleri .vs dosyaları olarak kaydedilebilir ve kaydedilmiş olan bu dosyalar daha sonra modülde tekrar çağırılabilir. Yapılan ilk varış işaretlemelerinin .vs dosyaları olarak kaydedilmesinin ardından Plotrefa modülünde seyahat zamanı eğrilerinin okutulmasına geçilebilir. Seyahat zamanı eğrilerinin oluşturulmasının ardından, sismik değerlendirmeleri gerçekleştirmek mümkün olacaktır.

Plotrefa modülüne, işaretlenmiş olan ilk varış verilerinin okutulması ile seyahat zamanı eğrileri oluşturulmuş olur. Tercih edilmesi halinde, oluşturulmuş olan bu seyahat zamanı eğrileri silinmeden veya değişikliğe uğratılmadan, bu eğrilere ek olacak nitelikte, farklı ilk varış verileri tanıtılabilir. Oluşturulmuş olan seyahat zamanı eğrileri kaydedilebilir. Tüm bunlara ek olarak, modüle bir yükseklik verisinin tanıtılması sağlanabilir.



Şekil 5.18 : İlk varış işaretlemeleri gerçekleştirilmiş bir atış grubu örneği.

Seyahat zamanı eğrilerinin de elde edilmesinin ardından sismik değerlendirme süreci başlamıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında, yanal hız değişimlerine, değişen topoğrafyaya ve karmaşık yakın-yüzey yapısal özelliklerine duyarlı sonuçlar üretebilen tomografik ters çözüm yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Zira, Plotrefa modülü dahilinde gerçekleştirilebilecek bir diğer ters çözüm yöntemi olan zaman ortamı ters çözüm yöntemi, hızlı ve pratik olmakla beraber, yanal hız değişimlerinde ve atış sayısının fazla olduğu durumlarda başarılı olamamaktadır.

Tomografik ters çözüm yöntemi, kaydedilen sismik dalgaların, ilk varış zamanlarından oluşturulan bir başlangıç modelini kullanır. Bu başlangıç modelinde, ışın izleme yaklaşımı ile hesaplanan seyahat zamanları, ölçülen seyahat zamanları ile karşılaştırılarak, zamanlar arasındaki fark minimum olana kadar ters çözüm işlemi gerçekleştirilir. Modülde, bu başlangıç modelinin belirlenmesi iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan birincisi, seyahat zamanlarından, zaman ortamı ters çözüm yöntemi ile elde edilmiş, hâlihazırda mevcut olan bir yeraltı modelinin

başlangıç modeli olarak kullanılması şeklindedir. Başlangıç modelinin belirlenmesinin ikinci şekli, modülde “Depth to Top of Lowest Layer”, “Minimum Velocity” ve “Maximum Velocity” değerlerinin mevcut seyahat zamanı eğrileri için doğru olarak girilmesi ile mümkündür. Minimum ve maksimum hız değerlerini seyahat zamanı eğrilerinin üzerinden  butonunu kullanarak doğrudan belirlemek mümkündür. En alt tabakanın üst sınırının derinliği ise Denklem 5.9 ile 5.13 arasında verilmiş olan ifadelerde, çalışma kapsamında oluşturulmuş seyahat zamanı eğrilerinden belirlenmiş olan hızlar kullanılarak elde edilebilir.

$$h_1 = \frac{T_1 V_1 V_2}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}} \quad (5.9)$$

$$\cos_{ik3} = \left[1 - \left(\frac{V_k}{V_3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.10)$$

$$h_2 = \left(\frac{T_2}{2} - \frac{h_1}{V_1} \cos_{i13} \right) \frac{V_2}{\cos_{i23}} \quad (5.11)$$

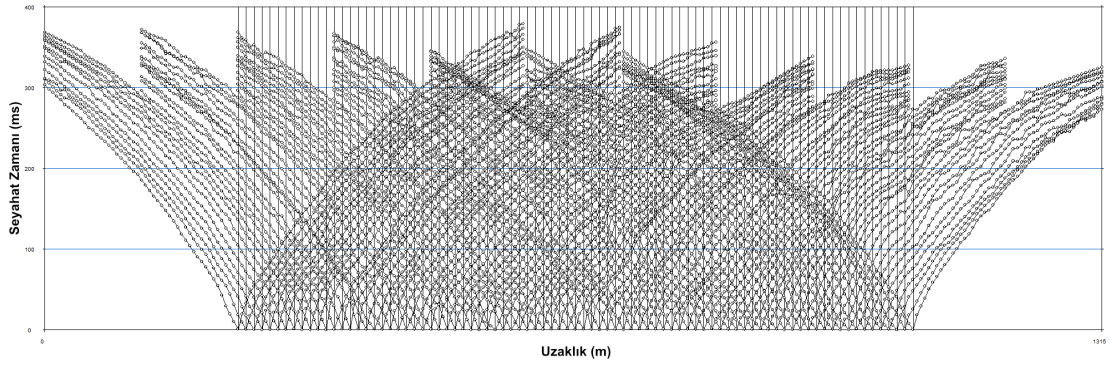
$$\cos_{ik4} = \left[1 - \left(\frac{V_k}{V_4} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.12)$$

$$h_3 = \left(\frac{T_3}{2} - \frac{h_1}{V_1} \cos_{i14} - \frac{h_2}{V_2} \cos_{i24} \right) \frac{V_3}{\cos_{i34}} \quad (5.13)$$

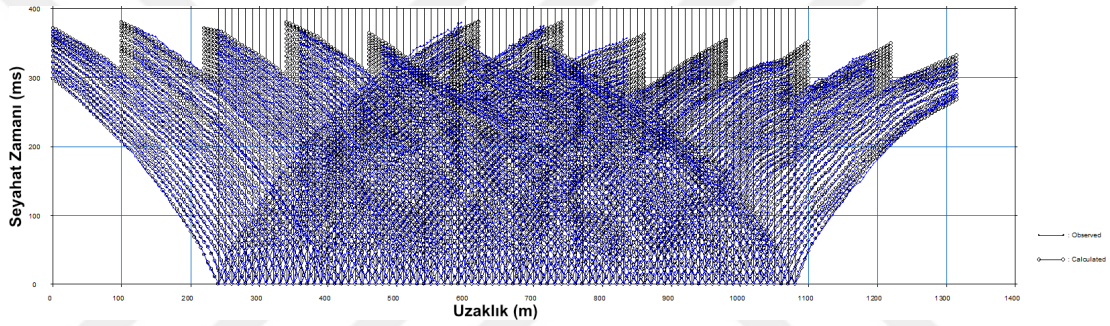
Bu denklemlerde mevcut olan T , seyahat zamanı eğrilerinden belirlenmiş olan tabaka kesme zamanlarına, V seyahat zamanı eğrilerinden belirlenmiş olan tabaka hızlarına ve h ise hesaplamalar neticesinde belirlenmiş olan tabaka kalınlıklarına karşılık gelmektedir. Üç tabakalı bir model için, hesaplanan üç derinlik değerinin toplanması neticesinde en alt tabakanın üst sınırının derinliği elde edilecektir.

Elde edilen tüm bu değerler doğru bir şekilde hesaplanıp bahsedilmiş olan pencerede girildikten sonra ters çözüm işlemi başlatılabilir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm ters çözüm işlemlerinde, iterasyon sayısı 10 olarak seçilmiştir. Ters çözüm işleminin tamamlanmasının ardından modül bir RMS hata penceresi sunar ve tomografi sonucuna ulaşılabilir.

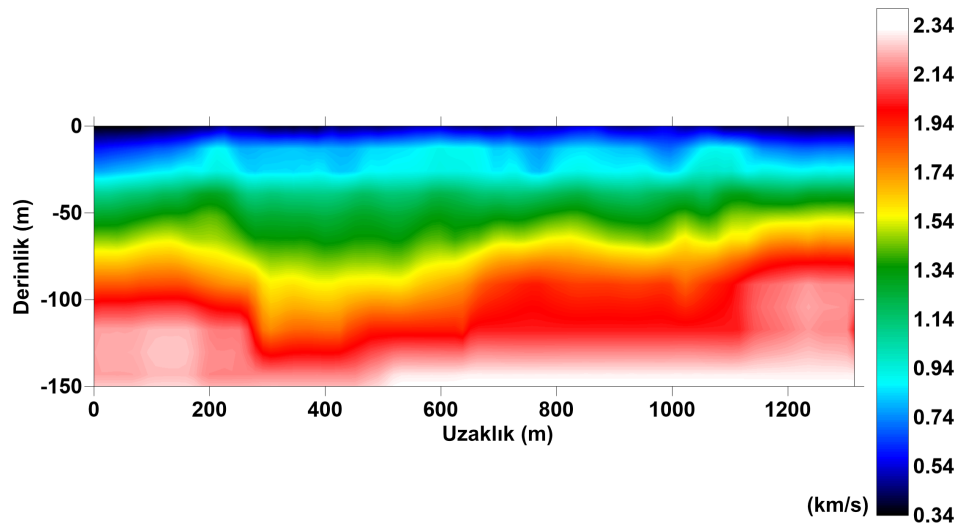
Gerçekleştirilmiş olan sismik kırılma tomografisi işlemi neticesinde S1 hattı için elde edilmiş seyahat zamanı eğrileri, ışın algoritması eğrileri ve sismik kırılma tomografisi sonucu sırasıyla Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.19 : S1 için elde edilmiş olan seyahat zamanı eğrileri.



Şekil 5.20 : S1 için elde edilmiş olan seyahat zamanı eğrileri ve ışın algoritması eğrileri.



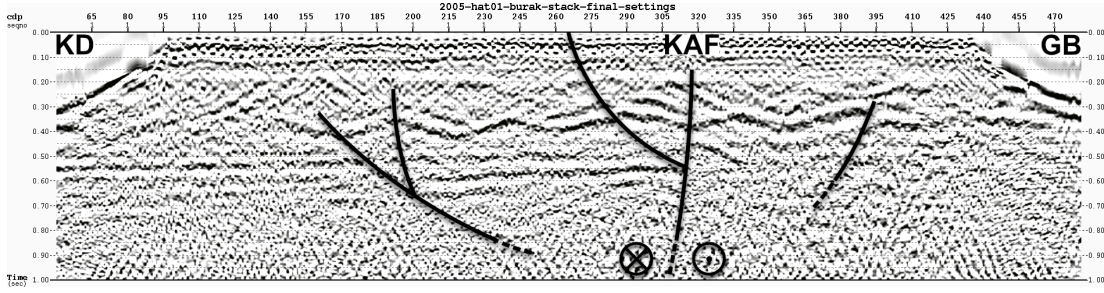
Şekil 5.21 : S1 için elde edilmiş olan sismik kırılma tomografisi görüntüsü.



6. YORUMLAR VE SONUÇLAR

Çalışmanın bu başlığı altında, 117Y130 numaralı TÜBİTAK-1001 Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, Kasım 2018 tarihinde, Sapanca Gölü'nün ~15 km doğusunda, Ekinli köyünün ise ~1 km kuzeyinde kalan karasal bir alanda 1,3 km kadar bir uzunluğa sahip S1 hattı boyunca toplanmış çok-kanallı sismik yansıma verileri için gerçekleştirilmiş olan veri işlem adımları neticesinde elde edilmiş sonuçlar yorumlanmıştır.

Çok-kanallı sismik yansıma verileri için yapılmış olan yorumlamalar elde edilmiş olan yığma kesiti üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1). Bunun ardındaki temel neden elde edilmiş olan migrasyon kesitinde istenmeyen etkilerin çok fazla olması ve dolayısıyla migrasyon kesiti baz alınarak doğru bir jeolojik yorumun yapılamamasıdır. Yığma kesitinin yorumlanmamış hâli çalışmanın önceki bölümlerinde ilgili veri işlem adımının yer aldığı kısımda verilmiştir (Şekil 5.15). Yorumlanmış olan yığma kesitinin orijinal kayıt uzunluğu 2 s'dir. Kaynaktan yayılan sismik enerjinin inebileceği derinliğin kısıtlı olması ve buna ek olarak yığma kesiti üzerinde net bir yorumlamanın yapılabildiği alanın bahsedilmiş olan kayıt uzunluğundan daha küçük bir alan olması dolayısıyla yorumlamanın yapıldığı kesitin maksimum kayıt uzunluğunun 1 s olarak sınırlandırılması tercih edilmiştir. Yorumlanmış olan yığma kesitinin sağ tarafı güneybatı yönünü sol tarafı ise kuzeydoğu yönünü göstermekte olup, bu bilgiler kesit üzerinde de verilmiştir. Kesitin yatay ekseninde mevcut olan sayılar CMP noktalarını ifade etmekte olup, her bir CMP aralığı 2,5 m'ye karşılık gelmektedir. Kesitin sunumunda yaklaşık olarak 2 katlık bir düşey abartma mevcuttur. Abartmanın belirlenmesi kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalarda 1 s'ye kadar olan ortalama sismik hızın yaklaşık olarak ~2400 m/s olduğu hesaba katılmış olup, bahsedilmiş olan zaman değerine karşılık gelen derinlik değeri bu hız değeri kullanılarak belirlenmiştir. Kesitin sunumunda, veri işlem yazılım paketinin seçim imkânı sunduğu wiggle, VA ve VD gibi farklı gösterim tiplerinden VD gösterim tipinin en zengin görsel sonucu verdiğine kanaat getirilmiş ve kullanımı tercih edilmiştir.

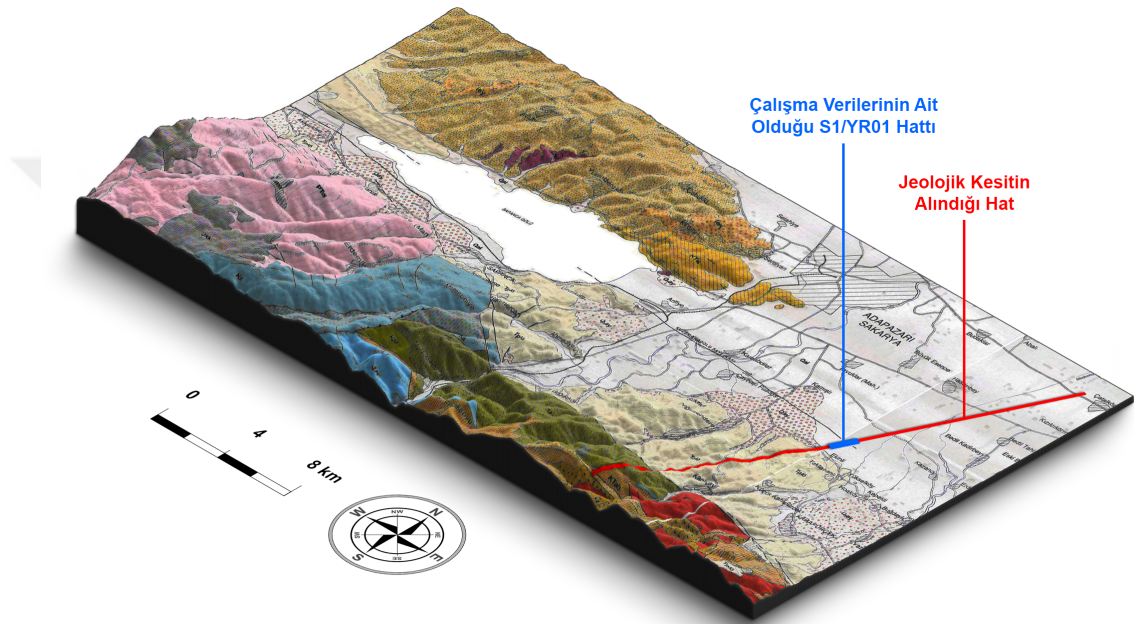


Şekil 6.1 : Çok-kanallı sismik yansıma verilerine uygulanmış olan veri işlem adımları neticesinde elde edilmiş olan final kesitinin KAF'ın derine doğru olan geometrisi ve KAF'a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapılar ile ilişkilendirmesi.

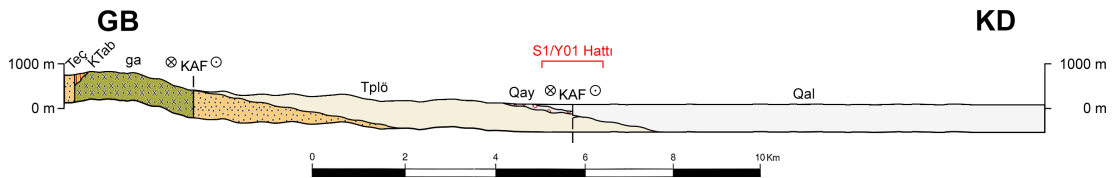
S1 hattına ait yığma kesitinde, ~320. CMP noktasında düşeye oldukça yakın bir şekilde konumlanmış bir süreksizlik olduğu gözlenmiştir. Bu süreksizliğin kuzeyinde ve güneyinde kalan alanlarda farklı litolojik birimler kolaylıkla gözlenebilmekte olup, bu alanın KAF'nın yer aldığı konuma karşılık geldiği düşünülmektedir. KAF olduğu düşünülen yapının düşeye oldukça yakın bir şekilde konumlanmış olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak, final kesitinde, üç farklı sismik stratigrafik unsur gözlenmiştir. KAF olduğu düşünülen yapının bu stratigrafik birimlere negatif çiçek yapısı ortaya koyacak şekilde bir geometri kazandırdığı gözlenmektedir.

Bahsedilmiş olan stratigrafik birimlerden ilki yaklaşık olarak 0.20 s'ye kadar gözlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, Timur ve Aksay (2002), ve ayrıca Gedik ve Aksay (2002) tarafından hazırlanmış olan, G24-G25 paftalarına ait 1/100.000 ölçekli jeolojik haritalardan yararlanılarak bir jeolojik kesit oluşturulmuş olup, bu jeolojik kesitten yolla çıkılarak yığma kesitinde bahsedilmiş olan kısmın Holosen alüvyon ve alüvyon yelpazesi birimlerinden (yararlanılmış olan jeolojik haritalarda sırasıyla Qal ve Qay olarak geçmektedir) oluştuğu düşünülmüştür (Şekil 6.2 ve 6.3). Bu kısmın altında kalan, yaklaşık olarak 0.40 s'ye kadar gözlenebilmekte olan ve oldukça belirgin ondülasyonlara sahip birimin ise akarsu taraçasına karşılık geldiği düşünülmektedir. Bu birim ise, açısal uyumsuzlukla, nispeten yatay bir doğrultuda uzanım gösteren bir diğer birimi üzerlemektedir. Yine aynı jeolojik kesitten yola çıkılarak bu birimin de Örencik Formasyonu'na (yararlanılmış olan jeolojik haritalarda Tplö birimi olarak geçmektedir) karşılık geldiği düşünülmüştür (Şekil 6.2 ve 6.3). Örencik Formasyonu'nun altında ise daha önceden de bahsedilmiş olan jeolojik haritalar ve jeolojik kesitten yola çıkılarak Çaycuma Formasyonu'nun (yararlanılmış olan jeolojik haritalarında Teç birimi olarak geçmektedir) yer aldığı

düşünülmekte ancak bu iki formasyonun ayrım sınırı yorumlanmış olan yığma kesitinden belirlenememektedir (Şekil 6.2 ve 6.3). Yararlanılmış olan jeolojik haritalarda, Örencik Formasyonu'nun da Çaycuma Formasyonu'nu açısız uyumsuzlukla üzerlediği belirtilmiştir (Timur ve Aksay, 2002; Gedik ve Aksay, 2002). Tüm bunlara ek olarak, final kesitin özellikle güneybatı bölümünde yer alan ondülasyonlu yapılarda mevcut olan kırıklı yapıların varlığının Adapazarı çöküntü havzasının güney kısmında yer alan normal fayların varlığıyla ilişkili olduğu düşünülmüştür.



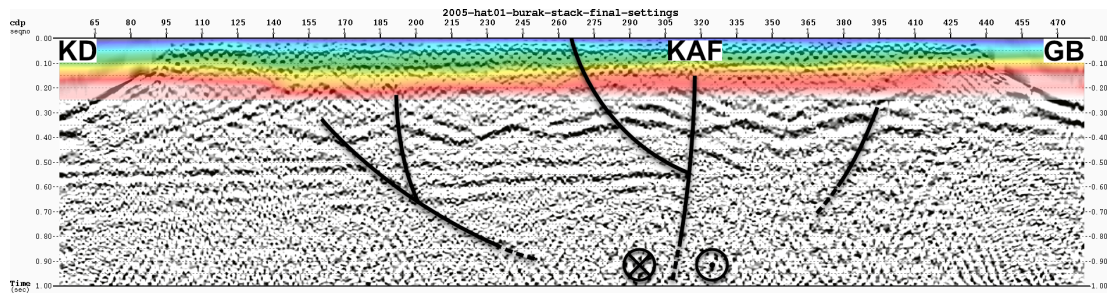
Şekil 6.2 : G24 ve G25 paftalarına ait jeolojik haritalardan ve bu bölge için mevcut olan 30 m SRTM yükseklik verilerinden oluşturulmuş 3D model üzerinde çalışma verilerinin toplandığı hat olan S1 hattının (KD-GB yönelimli mavi çizgi) ve Şekil 6.3'te verilmiş olan jeolojik kesitin elde edildiği hattın (KD-GB yönelimli kırmızı çizgi) karşılık geldiği konumlar (NASA Jet Propulsion Laboratory, 2000; Timur ve Aksay, 2002; Gedik ve Aksay, 2002).



Şekil 6.3 : Şekil 6.2'de verilmiş olan KD-GB yönelimli kırmızı hat için elde edilmiş olan jeolojik kesit. Kesitte mevcut olan birimler GB yönünden KD yönüne doğru sırasıyla Teç: Çaycuma Formasyonu; KTab: Abant Formasyonu; ga: gabro-amfibolit; Tplö: Örencik Formasyonu; Qay: Alüvyon yelpazesi; Qal: Alüvyon şeklindedir (Timur ve Aksay, 2002; Gedik ve Aksay, 2002).

Yeryüzeyinin hemen altında mevcut olan alüvyon birimlerin yığma kesitindeki seçilebilirlikleri ne yazık ki yüksek değildir. Bu durum, kara sismiği çalışmalarında, yakın-yüzey yapıları için oldukça yaygın olarak gözlenen bir durumdur. Her ne kadar alüvyon birimlerin yığma kesitindeki seçilebilirlikleri düşük de olsa hız analizi veri işlem adımı ile belirlenmiş olan hızlardan yararlanılarak bu birimlerin kalınlıklarının 100-150 m'leri aştığı gözlenmektedir.

Yakın-yüzey yapısıyla ilgili sonuçların güçlendirilebilmesi amacıyla, toplanmış olan çok-kanallı sismik yansıma verilerindeki ilk varışlardan yararlanılarak sismik kırılma tomografisi yöntemi ile hız gradyanı kesiti de elde edilmiştir. Sismik kırılma tomografisi yöntemi neticesinde elde edilmiş olan yorumlanmamış hız gradyanı kesiti Şekil 5.21'de verilmiştir. Şekil 6.4'te aynı kesit, sismik yansıma final kesitinin elde edilmesi kapsamında belirlenmiş olan hızlardan yararlanılarak hesaplanmış olan derinlikler dikkate alınarak yığma kesiti üzerinde çakıştırılmıştır. Bahsedilmiş olan kesitlerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş yeni kesitin sığ kesimlerdeki arayüzeylerde gözlenen ondülasyonlu yapıların, KAF zonuna ait derindeki faylarla örtüştüğü gözlenmiştir. Bir başka deyişle, kesitte mevcut olan hız değişimlerinin fay zonunu işaret ettiği düşünülmüş ve sismik anomaliler KAF zonunun varlığı ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 6.4 : Şekil 6.1'de verilmiş olan yorumlanmış yığma kesitinin ve sismik kırılma tomografisi yöntemi neticesinde elde edilmiş olan hız gradyanı kesitinin KAF'ın derine doğru olan geometrisi ve KAF'a bağlı olarak gelişen fay zonunda yer alan aktif yapılar ile ilişkilendirmesi.

KAYNAKLAR

- Barka, A.** (1981). *Seismotectonic aspects of the North Anatolian Fault zone* (Ph. D. Thesis), University of Bristol.
- Barka, A.** (1985). Geology and tectonic evolution of some Neogene-Quaternary basins in the North Anatolian fault zone. *Ketin Symposium. Spec. Publ. Geol. Soc.*, Turkey, 209-227.
- Barka, A.** (1992). The North Anatolian Fault zone. *Ann. Tecton.*, 6, 164-95.
- Barka, A., Akyüz, H.S., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbaş, A., Yerli, B., Altunel, E., Armijo, R., Meyer, B., Chabalier, J.B., Rockwell, T., Dolan, J.R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J., Page, W.** (2002). The surface rupture and slip distribution of the August 17, 1999 İzmit earthquake, $M = 7.4$, North Anatolian Fault. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 43-60.
- Çakır, Z., de Chabalier, J.B., Armijo, R., Meyer, B., Barka, A., Peltzer, G.** (2003). Coseismic and early post-seismic slip associated with the 1999 İzmit earthquake (Turkey), from SAR interferometry and tectonic field observations. *Geophys. J. Int.*, 155, 93-110.
- Dewey, J.F., Şengör, A.M.C.** (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 90, 84-92.
- Dikbaş, A., Akyüz, H.S., Meghraoui, M., Ferry, M., Altunel, E., Zabcı, C., Langridge, R., Yalçın, C.Ç.** (2018). Paleoseismic history and slip rate along the Sapanca-Akyazı segment of the 1999 İzmit earthquake rupture ($M_w = 7.4$) of the North Anatolian Fault (Turkey). *Tectonophysics*, 738–739, 92-111.
- Dix, C.H.** (1955). Seismic velocities from surface measurements. *Geophysics*, 20, 68-86.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E.** (1998). Neogene-quaternary evolution of the eastern Marmara region, northwest Turkey. *Bull. Mineral Res. Explor. Inst. Turk.*, 120, 119–145.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F.** (2013). 1/250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- Ergintav, S., Reilinger, R.E., Çakmak, R., Floyd, M., Cakir, Z., Doğan, U., King, R.W., McClusky, S., Özener, H.** (2014). Istanbul's earthquake hot spots: geodetic constraints on strain accumulation along faults in the Marmara seismic gap. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2014GL060985.

- Gasperini, L., Polonia, A., Bortoluzzi, G., Henry, P., Le Pichon, X., Tryon, M., Çağatay, N., Géli, L.** (2010). How far did the surface rupture of the 1999 İzmit earthquake reach in Sea of Marmara? *Tectonics*, 29, TC1010.
- Gasperini, L., Polonia, A., Çağatay, M.N., Bortoluzzi, G., Ferrante, V.** (2011). Geological slip rates along the North Anatolian Fault in the Marmara region. *Tectonics*, 30 (6), TC6001.
- Gazdag, J.** (1978). Wave equation migration with the phase-shift method. *Geophysics*, 43, 1342-1351.
- Gazdag, J., Squazzero, P.** (1984a). Migration of seismic data. *Proceedings of the IEEE* 72, 10, 1302-1315.
- Gazdag, J., Squazzero, P.** (1984b). Migration of seismic data by phase-shift plus interpolation. *Geophysics*, 49, 124-131.
- Gedik, İ., Aksay, A.** (2002). Adapazarı-G25 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
- Grall, C., Henry, P., Thomas, Y., Westbrook, G.K., Çağatay, M.N., Marsset, B., Saritas, H., Çifçi, G., Géli, L.** (2013). Slip rate estimation along the western segment of the Main Marmara Fault over the last 405–490 ka by correlating mass transport deposits. *Tectonics*, 32, 2012TC003255.
- Gürbüz, A. ve Gürer, Ö.F.** (2008). Tectonic geomorphology of the North Anatolian Fault Zone in the Lake Sapanca Basin (Eastern Marmara Region, Turkey). *Geosciences Journal*, 12:3, 215-225.
- Hartleb, R.D., Dolan, J.F., Akyüz, H.S., Dawson, T.E., Tucker, A.Z., Yerli, B., Rockwell, T.K., Toraman, E., Cakir, Z., Dikbaş, A., Altunel, E.** (2002). Surface rupture and slip distribution along the Karadere segment of the 17 August 1999 İzmit and the western section of the 12 November 1999 Düzce, Turkey, earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 67-78.
- Herece, E., Akay, E.** (2003). Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Atlası/Atlas of North Anatolian Fault (NAF). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B., Barka, A.** (2002). Morphology, displacement, and slip rates along the northern Anatolian Fault, Turkey. *J. Geophys. Res.*, 107 (B10), 2235.
- International Seismological Centre.** (2019). On-line bulletin. <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seismol. Cent., Thatcham, United Kingdom, <http://doi.org/10.31905/D808B830>
- Ketin, İ.** (1948). Überdietektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums. *Geol. Rund.* 36, 77-83.
- Kondo, H., Özaksoy, V., Yıldırım, C.** (2010). Slip history of the 1944 Bolu-Gerede earthquake rupture along the North Anatolian fault system: implications for recurrence behavior of multisegment earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 115, B04316.

- Kozacı, Ö., Dolan, J., Finkel, R., Hartleb, R.** (2007). Late Holocene slip rate for the North Anatolian fault, Turkey, from cosmogenic ^{36}Cl geochronology: implications for the constancy of fault loading and strain release rates. *Geology*, 35 (10), 867-870.
- Kozacı, Ö., Dolan, J., Finkel, R.** (2009). Late Holocene slip rate for the North Anatolian fault, Turkey, from cosmogenic ^{10}Be geochronology: implications for the constancy of fault loading and strain release rates. *J. Geophys. Res.*, 114, B01405.
- Kurt, H., Sorlien, C.C., Seeber, L., Steckler, M.S., Shillington, D.J., Cifci, G., Cormier, M.H., Dessa, J.X., Atgin, O., Dondurur, D., Demirbag, E., Okay, S., Imren, C., Gurcay, S., Carton, H.** (2013). Steady late quaternary slip rate on the Cinarcik section of the North Anatolian fault near Istanbul, Turkey. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 4555-4559.
- Langridge, R.M., Stenner, H.D., Fumal, T.E., Christofferson, S.A., Rockwell, T.K., Hartleb, R.D., Bachhuber, J., Barka, A.A.** (2002). Geometry, slip distribution and kinematics of the surface rupture on the Sakarya fault segment during the 17 August 1999 İzmit, Turkey, earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 107-125.
- Lettis, W., Bachhuber, J., Witter, R., Brankman, C., Randolph, C.E., Barka, A., Page, W.D., Kaya, A.** (2002). Influence of releasing step-overs on surface fault rupture and fault segmentation: examples from the 17 August 1999 Izmit earthquake on the North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 19-42.
- McKenzie, D., Jackson, J.** (1983). The relationship between strain rates, crustal thickening, palaeomagnetism, finite strain and fault moments within a deforming zone. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 65, 182-202.
- Meghraoui, M., Aksoy, M.E., Akyüz, S., Ferry, M., Dikbaş, A., Altunel, E.** (2012). Paleoseismology of the North Anatolian Fault at Güzelköy (Ganos segment, Turkey): size and recurrence time of earthquake ruptures in the West Marmara Sea. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q04005.
- Miller, R.D.** (1992). Normal moveout stretch mute on shallow-reflection data. *Geophysics*, 57, 1502-1507.
- Miller, R.D., Xia, J.** (1998). Large near-surface velocity gradients on shallow seismic reflection data. *Geophysics*, 63, 1348-1356.
- Okay, A.İ., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ.** (2000). Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321, 189-218.
- Polonia, A., Gasperini, L., Amorosi, A., Bonatti, E., Bortoluzzi, G., Cagatay, N., Capotondi, L., Cormier, M.H., Gorur, N., McHugh, C., Seeber, L.** (2004). Holocene slip rate of the North Anatolian Fault beneath the Sea of Marmara. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 227, 411-426.

- Pucci, S., De Martini, P.M., Pantosti, D.** (2008). Preliminary slip rate estimates for the Düzce segment of the North Anatolian Fault Zone from offset geomorphic markers. *Geomorphology*, 97, 538-554.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G.** (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia, Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.*, 111.
- Robinson, E.A.** (1983). *Migration of geophysical data*. International Human Resources Development Corp., Boston, MA.
- Sheriff, R.E., Geldart, L.P.** (1995). *Exploration Seismology*, 2nd Edition. Cambridge University Press, New York.
- NASA Jet Propulsion Laboratory.** (2000). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003 [Data file]. Retrieved from: <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MEASURES/SRTMGL1.003/2000.02.11/N40E030.SRTMGL1.2.jpg>
- Stein, R.S., Barka, A.A., Dieterich, J.H.** (1997). Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophys. J. Int.*, 128, 594-604.
- Stolt, R.H.** (1978). Migration by Fourier transform. *Geophysics*, 43, 23-48.
- Şengör, A.M.C.** (1979). The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London*, 136, 269-82.
- Şengör, A.M.C.** (1985). Structural classification of the tectonic history of Turkey. *Ketin Symposium. Spec. Publ. Geol. Soc. Turkey*, 37-64.
- Taymaz, T., Jackson, J., ve McKenzie, D.** (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.*, 106, 433-90.
- Timur, E., Aksay, A.** (2002). Adapazarı-G24 paftası jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
- Vernant, P.** (2015). What can we learn from 20 years of interseismic GPS measurements across strike-slip faults? *Tectonophysics*, 644-645, 22-39.
- Yılmaz, Ö.** (1987). *Seismic Data Processing*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists
- Yılmaz, Ö.** (2001). *Seismic Data Analysis*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., ve diğ.** (2002). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In *Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area*, ed. E. Bozkurt, J.A., Winchester, J.D.A., Piper, *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 173, 353-84.

- Zabcı, C., Sançar, T., Akyüz, H.S., Kıyak, N.G.** (2015). Spatial slip behavior of large strike-slip fault belts: implications for the Holocene slip rates of the eastern termination of the North Anatolian Fault, Turkey. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 8591–8609.
- Zabcı, C., Akyüz, H.S., Sançar, T.** (2017). Palaeoseismic history of the eastern part of the North Anatolian Fault (Erzincan, Turkey): implications for the seismicity of the Yedisu seismic gap. *J. Seismol.*, <http://dx.doi.org/10.1007/s10950-017-9673-1>.





EKLER

EK A: Yer Radarı Yöntemi, Yer Radarı Verilerinin Toplanması ve İşlenmesi

Bu bölümde, 117Y130 numaralı TÜBİTAK-1001 Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, çok-kanallı sismik yansıma verilerine ek olarak toplanmış olan yer radarı verilerinin toplanmasına ve işlenmesine ilişkin bilgiler bulunmaktadır.

Yer radarı yöntemi, yüksek frekanslı (10 MHz – 2 GHz) bir elektromanyetik yöntem olup, yakın-yüzey araştırmalar için tercih edilen bir yöntemdir. Yöntemden, karstik boşluk ve kırıkların bulunması, çevre kirliliği araştırmaları, duvar ve kolon yapısı araştırmaları, zemin ve tünel çalışmaları, arkeolojik çalışmalar, metalik materyal arama çalışmaları, maden araştırmaları ve yapısal araştırmalar gibi pek çok alanda yararlanılabilmektedir.

Yöntem kapsamında, verici anten aracılığıyla yer içerisine çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar gönderilir. Yer içerisine gönderilen bu dalgalar, herhangi bir nesne ile karşılaşmaları halinde yansıma ve saçılmaya uğrar. Yansımaya ve saçılmaya uğramış olan dalgalar da alıcı yardımıyla zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilir. Kayıt edilen izler yan yana gelerek radagramı oluşturur. Radagramda yatay eksen uzaklığa (metre), düşey eksen ise zamana (nanosaniye) karşılık gelmektedir.

Yer radarı ekipmanlarını, genel olarak, verici ve alıcı anten/antenler, el/kontrol ünitesi ve kayıtçı olarak listelemek mümkündür. Kapalı anten düzeneklerinde verici ve alıcı elektronikleri bir kutu içerisinde bulunmakta olup, merkez frekansına uygun aralıklarda konumlandırılmışlardır.

Yöntem kapsamında kullanılan anten düzenleri, gerçekleştirilen çalışmanın amacına göre seçilir. En çok tercih edilen anten düzeni profil yönüne dik olarak birbirine paralel hatlar boyunca gerçekleştirilen anten düzenidir. Bu anten düzeni haricinde, profil yönüne paralel ve birbirine paralel hatlarda gerçekleştirilen anten düzenleri, buna ek olarak profil yönüne dik ve birbirine ardışık hatlar boyunca gerçekleştirilen

anten düzenleri mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, profil yönüne dik ve birbirine ardışık hatlar boyunca gerçekleştirilen anten düzeninden yararlanılmıştır.

Tüm bunlara ek olarak, veri toplama çeşitleri, sabit anten aralıklı veri toplama, ortak orta nokta profil ölçümü ve geniş açılı yansıma profil ölçümü olmak üzere üç grup altında incelenebilir. Bu çalışma kapsamında, sabit anten aralıklı veri toplamadan yararlanılmıştır.

Yer radarı verilerinin toplanması için ise proje planında toplamayı gerçekleştiren kurumda mevcut olan 100 ve 400 MHz'lik antenlerden, 100 MHz'lik olanı kullanılmıştır (Şekil A.1). Bu anten, Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI)'ın Model 3207 isimli anteni olup, çalışmanın takibinin ve parametre seçimlerinin gerçekleştirildiği el ünitesinin ismi ise SIR-3000'dir. Kullanılan anten tipi, spesifik olarak 100 MHz bi-static anten (iki parçadan oluşan bir anten çiftidir) olarak isimlendirilmekte olup, verici ile alıcı arasında en az 1 metre mesafe olacak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Cihaz, antenleri bağlamak ve belirtilmiş olan sabit açılım değerini korumak için fiberglas raylar bulundurur. Bu anten tipi derin yer yadarı yeraltı çalışmaları için kullanılmakta olup, tipik penetrasyon derinliği 2 ile 15 m arasındadır. Yeraltının ve kaya yapılarının derine doğru etkili bir şekilde görüntülenmesi gereken durumlar için ideal bir kullanıma sahiptir. Genellikle geoteknik, mühendislik ve maden araştırmalarında kullanımı tercih edilmektedir.

Bahsedilmiş olan anten tipiyle birlikte Model 570 Fiber Optik iletim bağlantısı, Model 620 araştırma tekerleği ve daha önceden de bahsedilmiş olan el ünitesi SIR-3000 kullanılmıştır. Bi-static operasyon modunda, anten çifti arasında bağlanan ortak eksenli (coaxial) kablonun ön ve arkada yer alan kasaların kenarlarının altına sarkmamasına dikkat edilmelidir. Düşük seviyede kalan bir tetikleme (trigger) kablosu, iki anten çifti arasında çınlama etkisine (ringing) neden olur. Bu kapsamda, Model 570 Fiber Optik iletim bağlantısının kullanılması daha iyi kalitede veri üretilmesini sağlayacaktır. Buna ek olarak, Model 620 araştırma tekerleğinin kullanımı, Model 3207 cihazının herhangi bir kullanım konfigürasyonunda mesafeye bağlı verilerin kolay bir şekilde toplanmasına imkân tanır. Araştırma tekerleği, anten çiftini oluşturan kasalardan birine bağlanır ve antenin arkasından yüzey araştırması hattı boyunca anteni takip eder. Araştırma tekerleğinin, bağlanan anten çifti gövdesine cıvatalandığından emin olunmalıdır. Buna ek olarak, tekerleğin yanında bulunan üçgen fiberglas plakanın tabana doğru bakması ve bu sayede kodlayıcının

korunması sağlanmalıdır. Yer radarı çalışmasında kullanılan ekipmanlara ve arazi çalışmalarına ait görüntüler de Şekil A.1’de verilmiştir.



Şekil A.1 : Yer radarı verilerinin toplanmasında kullanılan ekipmanlara ve arazideki veri toplama çalışmalarına ait görüntüler.

Bahsedilmiş olan proje kapsamında toplanan yer radarı verilerine İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nde lisanslı olarak bulunan ReflexW programı kullanılarak çeşitli veri işlem adımları uygulanmış olup, görüntü kalitesi artırılmış kesitlerin oluşturulması sağlanmıştır. Veri işlem aşamalarına ait bilgilendirmeler ve parametre seçimleri, buna ek olarak yine bu hat için elde edilmiş olan final yer radarı kesiti bu başlığın son kısmında verilmiştir (Şekil A.2).

ReflexW programı açıldıktan sonra ilk olarak yapılan işlem eğer daha önce herhangi bir veri işlem aşamasına başlanmadıysa yeni bir çalışma dosyasının oluşturulmasıdır. Hâlihazırda bir proje dosyası bulunuyorsa, bu dosya seçilerek verilere erişim sağlamak için gereken ilk işlem gerçekleştirilmiş olur. Verilere erişim sağlayabilmek ve veri işlem adımlarını gerçekleştirmek için genel pencerede yer alan “Modules” sekmesine tıklanır ve ardından “2D-data-analysis” seçeneği seçilir. Bu işlem programın veri işlem arayüzünü açacaktır.

Programın veri işlem arayüzü açıldıktan sonra gerçekleştirilmesi gereken ilk işlem, ham verilerin, programın kendi veri formatına uygun hale dönüştürülmesidir. Yer radarı verilerinin toplanması amacıyla kullanılan cihazın GSSI tarafından üretilmesi ve ham verilerin .dtz formatında olması dolayısıyla “Input Format: RADAN” olarak

seçilmiştir. Verilerin programa tanıtılması ile ilgili olan diğer seçimlerin de gerçekleştirilmesinin ardından ham veriler programın kendi formatına uygun hale dönüştürülmüş olur.

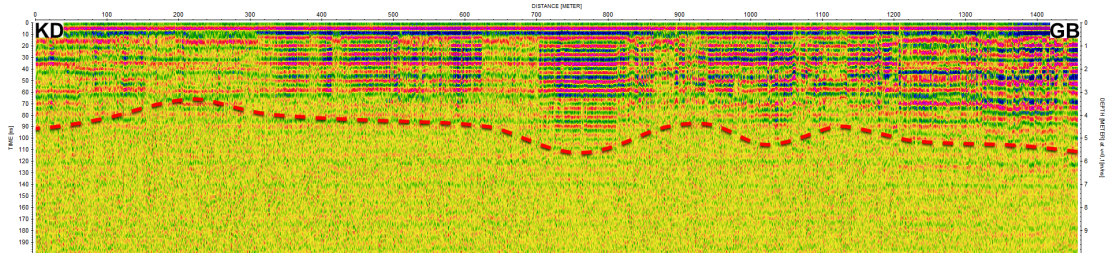
Sıradaki adım, veri işlem aşamalarından ilki olarak niteleyebileceğimiz “Dewow” işleminin uygulanmasıdır. Bu işlemin uygulanmasındaki amaç yer radarı verilerinde olma ihtimali bulunan düşük frekanslı gürültülerin atılmasıdır. Her ne kadar yer radarı verilerinde kullanılan kaynak frekansı değerleri yüksek de olsa verilerde düşük frekanslı gürültüler mevcut olabilir. Buna wow etkisi denmekte olup, bu etkinin giderilmesi amacıyla dewow adı verilen süzgeçleme işlemi uygulanır. İşlem, bir zaman penceresi seçilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma kapsamında bu değer 10 ns olarak seçilmiştir.

Uygulanmış olan sıradaki veri işlem adımı “DC Shift” adımıdır. Yer radarı verileri toplanırken yer altına alternatif akım gönderilir. Bu veri işlem adımından da veride mevcut olan doğru akımları (direct current, DC) veriden ayırmak amacıyla yararlanılır. İşlem, iki adet zaman değerinin seçilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma için seçilmiş olan değerler sırasıyla 0 ns ve 75 ns şeklindedir.

Bir sonraki veri işlem adımı frekans süzgeçleme adımıdır. Frekans süzgeçleme tiplerini, alçak geçişli süzgeç, yüksek geçişli süzgeç ve bant geçişli süzgeç olmak üzere üç farklı şekilde incelemek mümkündür. Alçak geçişli süzgeçleme veride yer alan yüksek frekanslı olayların bastırılması için kullanılır. Yüksek geçişli süzgeçleme ise alçak frekanslı olayların bastırılması amacıyla kullanılır. Buna ek olarak, bant geçişli süzgeçlemede ise amaç, verilerde baskın olan belli bir frekans aralığının korunmasını sağlamaktır. Bu sayede belirtilen aralıktan yüksek ve düşük frekanslar bastırılacaktır. Bu veri işlem adımı kapsamında sadece bant geçişli süzgeç uygulanması tercih edilmiş olup, yuvarlatma opsiyonu olarak Butterworth tipi yuvarlatmadan yararlanılmıştır. Seçilmiş olan kesme frekansı değerleri sırasıyla 60 ve 180 MHz şeklindedir.

Son olarak gerçekleştirilmiş olan veri işlem adımı ise genlik kazancı uygulamasıdır. Elektromanyetik dalganın derinlere doğru inmesi ile birlikte sönümlenmesi söz konusudur. Genlik kazancı uygulaması ile bu sönümlenme telafi edilmeye çalışılır. İşlemin gerçekleştirilmesinde Scaled Window Gain modülü kullanılmış olup, modül

için gerekli olan parametrelerden pencere başlangıç ve pencere bitiş değerleri sırasıyla 0 ve 942 ns (kaydın toplam uzunluğu) olarak seçilmiştir.



Şekil A.2 : Yer radarı verilerine uygulanmış olan veri işlem aşamaları neticesinde elde edilmiş olan kesit ve yaklaşık olarak 5-6 m derinliklere denk geldiği düşünülen suya doymun alan (kırmızı kesikli çizgi ile verilmiştir).

Verilerin toplandığı alanda, yer içinin 5-6 m’lik derinliklerden sonra suya doymun olması yer içine gönderilen elektromanyetik kaynak dalganın sönümlenmesine ve dolayısıyla daha derinlere nüfuz edememesine neden olmuştur. Bu durumdan ötürü, kullanılan 100 MHz’lik antenle yaklaşık 15 m gibi bir derinlikten bilgi alınması beklendiği halde bu sonuç alınamamıştır. Aynı sorunla yaklaşık 100 m derinlikleri hedefleyen 25 MHz’lik anten kullanılması durumunda da karşılaşılmaması kaçınılmazdır.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Burak İnanc
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.05.1992 / İstanbul
E-posta : inancb@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010-2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2016- , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeofizik Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Temmuz-Ağustos 2013: Jeofizik Mühendisliği Stajyeri, Yerbilim Mühendislik Müşavirlik İnşaat Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti.
- Temmuz-Ağustos 2015: Jeofizik Mühendisliği Stajyeri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Araştırmaları Departmanı
- Mart 2018- : Lisansüstü Jeofizik Mühendisliği Öğrencisi/Bursiyer, TÜBİTAK-1001 Bilimsel Araştırma Projesi, No: 117Y130

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İnanc, B., Okut-Toksoy, N.G., Kurt, H.** 2018. Doğu Marmara Bölgesi'nde sismik kırılma tomografi yöntemiyle Kuzey Anadolu Fayı'nın araştırılması. *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, 30 Mayıs – 2 Haziran 2018, İzmir, Türkiye.*

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İnanç, B., Kurt, H.** 2015. Interpretation of AVA Cross-Plots In Terms of Seismic Velocities and Porosity for Reservoir Rocks. *IPETGAS 2015 - Türkiye 20. Uluslararası Petrol ve Doğal Gaz Kongre ve Sergisi, Mayıs 2015, Ankara, Türkiye.*
- **İnanç, B., Kurt, H.** 2015. Forward AVA Curve and AVA Cross-Plot Modeling for Reservoir Rocks. *YER' 2015 - Yerbilimlerinde Üniversite-Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sergisi, Haziran 2015, İstanbul, Türkiye.*

