KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİYARBAKIR SAHASINDA HİDROKARBON ARAŞTIRMASINDA ÜÇ BOYUTLU VİBROSİSMİK YÖNTEMİ İLE VERİ TOPLAMA VE KAYNAK PARAMETRESİNİN SEÇİMİ

AHMET YAVUZ TOKSOY

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİYARBAKIR SAHASINDA HİDROKARBON ARAŞTIRMASINDA ÜÇ BOYUTLU VİBROSİSMİK YÖNTEMİ İLE VERİ TOPLAMA VE KAYNAK PARAMETRESİNİN SEÇİMİ

AHMET YAVUZ TOKSOY

Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Tekin YEKEN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Mahir IŞIK
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Diyarbakır sahasında hidrokarbon araştırmasında kaynak parametresi belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalına sunulmuştur. Yüksek Lisans eğitimi boyunca bilgi, tecrübe ve yardımlarından faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda kullandığım verileri sağlayan kurumum Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'na ve verilerin toplanmasında emek veren Jeofizik Operasyonlar Müdürlüğü çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tez yazım sürecinde desteklerini esirgemeyen Levent Sait İLKAY'a, Dr. Arş. Gör. İsmail KAPLANVURAL'a, Yasin YEŞİL'e ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Her konuda yanımda olan, desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim Nigar Gözde OKUT TOKSOY' a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Her zaman yanımda olan ve desteklerini her zaman hissettiğim sevgili annem Mevlidiye TOKSOY'a, sevgili babam Metin TOKSOY'a, kardeşlerim Yrd. Doç. Dr. Muhammet Fatih TOKSOY 'a, Safiye Aybüke TOKSOY'a ve Merve TOKSOY'a teşekkür ederim.

Ocak – 2019 Ahmet Yavuz TOKSOY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET viii
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. SİSMİK YANSIMA YÖNTEMİ HAKKINDA GENEL BİLGİ 3
1.1. Karada Kullanılan Sismik Kaynaklar 6
1.1.1. Dinamit 7
1.1.2. Vibratör 9
2. VİBROSİSMİK YÖNTEMİ 10
2.1. Sismik Veri Toplamayı Etkileyen Parametreler 14
2.2. Tarama (Sweep) Sinyali Çeşitleri 15
2.2.1. Sweep sinyalinin tarama yönü 16
2.2.2. Doğrusal (linear) tarama sinyali 16
2.2.3. Doğrusal olmayan (non-linear) tarama sinyali 18
3. ÜÇ BOYUTLU (3B) SİSMİK VERİ TOPLAMA VE SAHA PARAMETRELERİNİN TANIMI 19
3.1. Üç Boyutlu Sismik Program Dizaynında Bazı Terim ve Parametreler 19
3.1.1. Kayıt parametreleri ve geometrisi 23
4. ARAZİDE YAPILAN ÇALIŞMALAR 32
4.1. Sahanın Tanıtımı 32
4.2. Saha Test Çalışmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar 33
4.3. Sahada Tarama Parametreleri Seçimi İçin Test Programı 35
4.3.1. Tarama başlangıç frekansı testi 36
4.3.2. Tarama bitiş frekansı testi 36
4.3.3. Tarama uzunluğu testi 37
4.3.4. Tarama sayısı testi 37
4.3.5. Vibratör sayısı testi 37
4.3.6. Vibratör dizilim testi 38
4.3.7. Tarama tipi testi 38
4.4. Tarama Parametreleri Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi 38
4.4.1. Tarama başlangıç frekansı testi 38
4.4.2. Tarama bitiş frekansı testi 41
4.4.3. Tarama uzunluğu testi 43
4.4.4. Tarama sayısı testi 46
4.4.5. Vibratör sayısı testi 52
4.4.6. Tarama tipi testi 53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 54
KAYNAKLAR 56
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 57

ÖZGEÇMİŞ 58

ŞEKLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dört tabakalı yeraltı modeli için yansıma katsayılar serilerinin gösterimi ve sismik izin elde edilmesi 4
Şekil 1.2. a) İki Boyutlu (2B) b) Üç Boyutlu (3B) sismik yansıma çalışmalarına bir örnek..... 5
Şekil 1.3. 3B sismik çalışmanın şematik gösterimi a) Veri toplama b) Ham veri örneği c) Sismik kesit örneği 6
Şekil 1.4. Dinamit ile veri toplanmasına ait bir örnek çalışma 8
Şekil 2.1. a) Vibratör aracının genel görünüşü b) Bazı önemli aksamları 12
Şekil 2.2. Vibratör sistemi ve tablası 12
Şekil 2.3. Vibrosismik yöntem..... 13
Şekil 2.4. Frekans-zaman ortamında dinamit ve vibratör kaynak dalgacıkları ve genlik spektrumlarının karşılaştırılması 14
Şekil 2.5. a) Linear yukarı taramalı sweep sinyali (10-200 Hz, 10 sn, 0,001 s örnekleme aralığı) dalga formu b) Törpüleme fonksiyonu uygulanması sonrasında 2,5 s değerine kadar zoom yapılmış tarama sinyali c) Genlik spektrumu (Fourier transformu, törpüleme uygulanmıştır) ve d) Otokorelasyon sinyali..... 17
Şekil 3.1. 3B sismiğin yeraltı ve yüzey kaplamasına ait örnek..... 20
Şekil 3.2. Kayıt parametlerinin 3B veri toplama düzeneğindeki şekli..... 23
Şekil 3.3. Sekiz katlamalı jeofon düzeni örneği..... 24
Şekil 3.4. 3B saha düzeni 26
Şekil 3.5. Patch ve Template'in yeraltı kaplaması görüntüsü..... 27
Şekil 3.6. Swath, template ve salvo şematik gösterimi 27
Şekil 3.7. 3B çalışma sahasında planlanan atış ve alıcı hatları 29
Şekil 3.8. 3B çalışma sahasında gerçekleşen alıcı ve atış hatları..... 29
Şekil 3.9. 3B sismik çalışmaların planlanan katlanma (fold) görüntüsü 30
Şekil 3.10. 3B sismik çalışmaların gerçekleşen katlanma (fold) görüntüsü 31
Şekil 4.1. Çalışma sahası..... 32
Şekil 4.2. Çalışma sahasına ait jeoloji haritası..... 33
Şekil 4.3. Tarama parametrelerinin seçimi için test programı akış şeması..... 34
Şekil 4.4. Linear sweep 8-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 39
Şekil 4.5. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 40
Şekil 4.6. Linear sweep 10-80 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep, a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 41
Şekil 4.7. Linear sweep 10-88 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 42

Şekil 4.8. Linear sweep 10-96 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 43
Şekil 4.9. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 10 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 44
Şekil 4.10. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 12 saniye, 4 vibro ve 4 sweep, a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 45
Şekil 4.11. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 16 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 46
Şekil 4.12. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 1 sweep, a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 47
Şekil 4.13. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 2 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği 48
Şekil 4.14. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 6 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 49
Şekil 4.15. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 8 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 50
Şekil 4.16. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 12 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 51
Şekil 4.17. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 2 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 52
Şekil 4.18. Non-Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği 53

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. İki boyutlu ve üç boyutlu sismik yansıma çalışmaları arasındaki belirgin farklılıklar 5
Tablo 3.1. 3B veri toplama parametreleri 21
Tablo 3.2. 3B sismik program dizaynında bazı önemli terimler 22
Tablo 4.1. Tarama başlangıç frekansı testi 36
Tablo 4.2. Tarama bitiş frekansı testi 36
Tablo 4.3. Tarama uzunluğu testi 37
Tablo 4.4. Tarama sayısı testi 37
Tablo 4.5. Vibratör sayısı testi 37
Tablo 4.6. Tarama tipi testi 38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Boyut
f	: Frekans, (Hz)
G	: Gürültü
V_P	: P Dalga Hızı, (m/s)
ρ	: Yoğunluk, (g/cm^3)
Z	: Akustik Empedans

Kısaltmalar

CDP	: Common Depth Point (Ortak Derinlik Noktası)
CMP	: Common Mid Point (Ortak Yansıma Noktası)
NMO	: Normal Move Out (Normal Kayma Zamanı)
TWT	: Two Way Time (Çift Yol Seyahat Zamanı)
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

DİYARBAKIR SAHASINDA HİDROKARBON ARAŞTIRMASINDA ÜÇ BOYUTLU VİBROSİSMİK YÖNTEMİ İLE VERİ TOPLAMA VE KAYNAK PARAMETRESİNİN SEÇİMİ

ÖZET

Vibrosismik, çeşitli frekanslar içeren sürekli sinuzoidal titreşimleri kontrollü olarak yaratan, uygulayan ve vibratör'ün enerji kaynağı olarak kullanıldığı bir sismik yöntemdir. Dünyada sismik ekiplerin %75'i hidrokarbon aramalarında vibratörü tercih etmektedirler. Vibratörün yere gönderdiği sinyal sweep (tarama) sinyal olarak adlandırılır ve hidrokarbon aramalarının çoğunluğunda doğrusal tarama sinyali uygulanır. Hidrokarbon amaçlı üç boyutlu sismik veri toplama çalışmalarında sismik çalışmaların hedeflenen başarıya ulaşması için kaynak parametrelerinin seçimi önemli yer tutmaktadır ve bu parametrelerin belirlenmesi adına test çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı tarafından hidrokarbon araştırması için üç boyutlu vibrosismik yöntem kullanılarak Diyarbakır çalışma sahasına en uygun kaynak parametreleri test edilmiştir. Testin temel amacı en kısa sürede en uygun Sinyal/Gürültü oranını ve hedef seviyelerden yansımaları elde edebilecek referans sinyal parametrelerini belirlemektir ve bu amaç için bir program dizayn edilmiştir. Test programının her aşamasında sadece bir parametre değiştirilmiştir ve diğer tüm tarama, vibro ve kayıt parametrelerinin sabit kalmıştır. Veri toplama parametrelerinden alıcı aralığı 50 m, atış aralığı 50 m, alıcı hattı aralığı 300 m ve atış hattı aralığı 400 m olarak seçilmiştir. Kayıt uzunluğu 5 sn, örnekleme aralığı da 2 ms'dir. Bu çalışmada gerçekleştirilen test parametreleri; Tarama başlangıç frekansı testi, tarama bitiş frekansı testi, tarama uzunluğu testi, tarama sayısı testi, vibratör sayısı testi, vibratör dizilim testi ve tarama tipi testidir. Aktif kanal sayımızın en yüksek olduğu bir bölgede aynı nokta üzerinde farklı test parametreleri ile atışlar yapılmıştır. Bu çalışmada hedef derinliğimize uygun olacak 14 adet parametre test atışı yapılmıştır. Her bir atıştan elde edilen veriye ait ham veri kayıtları, frekans spektrumları incelenmiştir. Tarama sinyalinin bitiş frekansı daha önce bölgede yapılan çalışmalar da incelenerek 72 Hz olarak belirlenip, 8 ve 10 Hz başlangıç frekansları test edilmiştir. 10 Hz frekansının sonucu en uygun frekans olarak seçilmiştir. 10 Hz değeri sabit tutularak 72, 80, 88 ve 96 Hz bitiş frekanslarının testi yapılmıştır ve 72 Hz sonucu uygun bulunmuştur. Sonrasında 8, 10, 12 ve 16 saniye tarama uzunlukları test edilmiştir. Tarama uzunluğu 8 saniye veya 16 saniyede Sinyal/Gürültü oranı daha yüksek gözlemlenmiştir. 8 saniye tarama boyu daha ekonomik olacağı için bu tarama boyu çalışmada tercih edilmiştir. Bir atış noktası için 1, 2, 4, 6, 8 ve 12 tarama sayıları test edilmiştir ve 4 tarama sayısı yeterli olmuştur. Çalışma sahası için vibratör sayısı testinde 4 vibro uygun bulunmuştur. Dizin testinde çalışma sahasında daha önce yapılan en uygun dizilim düzeninin kullanılması tercih edilmiş, 1x4 doğrusal vibro düzeni uygulanmıştır. Doğrusal (linear) tarama atışlarda düşük frekanslarda dalga boyu daha az sönümlendiği bilindiği için, doğrusal ve doğrusal olmayan (non-linear) atış kayıtlarına bakıldığında doğrusal tarama atışların daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan test atışları sonucunda kaynak parametreleri 10-72 Hz Frekans Bandı, 8 saniye tarama (sweep)

uzunluğu, 4 vibratör, 4 tarama ve doğrusal tarama olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda üretime başlanmış ve test çalışmaları sonlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrokarbon Aramaları, Kaynak Parametre Testi, Tarama Sinyali, Üç Boyutlu Vibrosismik.

SELECTION OF DATA ACQUISITION AND SOURCE PARAMETERS IN DIYARBAKIR AREA FOR HYDROCARBON EXPLORATION BY USING THREE DIMENSIONAL VIBROSEISMIC METHOD

ABSTRACT

Vibroseismic is a seismic method which creates and applies controlled, sinusoidal vibrations containing various frequencies and used vibrator as an energy source. 75% of the seismic crews in the world prefer the vibrator for hydrocarbon explorations. The signal that the vibrator sends to the ground is called the sweep signal and the linear sweep signal is applied in the majority of the hydrocarbon researches. The selection of the source parameters is crucial in the three-dimensional seismic data acquisition for hydrocarbon studies and test studies are carried out to determine these parameters. In this study, most convenient source parameters are tested with 3-D vibroseismic method in Diyarbakır study area by the Turkish Petroleum. The main purpose of the test is to determine the most appropriate Signal/Noise ratio and reference signal parameters which can obtain the reflections from the target levels. Only one parameter was changed at each stages and all other sweep, vibro, and recording parameters remained constant. The receiver interval is 50 m, the shot interval is 50 m, the receiver line interval is 300 m, the shot line interval is 400 m. The recording length is 5 s, the sampling interval is 2 ms. Test parameters are sweep start frequency, sweep end frequency, sweep length, number of sweep, number of vibrator, vibrator array and sweep type. In this study, 14 parameter test shots were applied, raw data and frequency spectrums were obtained. The end frequency of the sweep was investigated from previous acquisition and the start frequencies of 8 and 10 Hz were tested. The result of the 10 Hz is chosen as the most suitable frequency. At 10 Hz, 72, 80, 88 and 96 Hz end frequencies were tested and 72 Hz was found more proper. After that, sweep lengths of 8, 10, 12 and 16 seconds were tested. Sweep length was observed in 8 s or 16 s highest S/N ratio. 8 s sweep length was preferred due to economic conditions. For a shot point, 1, 2, 4, 6, 8 and 12 number of sweeps were tested and 4 sweep were qualified. The number of vibrator test for the study area was approved to be a 4 vibro. In the array test, it was preferred to use the most appropriate array order in the study area called 1x4 linear vibro order. It is observed that linear sweep shots give better results when linear and non-linear shot recordings are compared because linear wavelength is less attenuated at low frequencies. As a result of the test shots, the source parameters were determined as 10-72 Hz Frequency Band, 8 seconds sweep length, 4 vibrators, 4 sweeps and linear sweep type. Production started in accordance with these parameters and the test studies were completed.

Keywords: Hydrocarbon Research, Source Parameter Testing, Sweep Signal, Three-Dimensional Vibroseismic Method.

GİRİŞ

Vibrosismik; çeşitli frekanslar içeren sürekli sinuzoidal titreşimleri kontrollü olarak yaratan ve uygulayan Vibratör'ün enerji kaynağı olarak kullanıldığı bir sismik yöntemdir (Sheriff, 1990). Vibrosismik Conoco firması araştırmacıları tarafından geliştirilmesinden bu yana kara sismik çalışmalarında özellikle hidrokarbon aramalarında dünya çapında tercih edilen bir enerji kaynağı olmuştur. Vibratör enerji kaynağı, kontrol edilebilir frekans bandına sahip olması, ideal sıfır fazlı sinyal üretebilmesi ve yıkıcı olmayan bir kaynak olması nedenleriyle sismik veri toplamada geniş çaplı bir kullanım alanı bulmuştur (Başar, 2007). Dinamit kaynağının kullanılmasına izin verilmeyen kentlerde vibratör kaynağı kullanılabilir. Dinamit kaynağı için kazılan kuyulara ihtiyaç kalmaması ile birlikte gelen maliyet azalması vibratör enerji kaynağının en önemli avantajlarından olmuştur ve dünyadaki sismik ekiplerin % 75'inde kullanılması vibrosismiğin önemini daha iyi vurgulamış olur.

Sismik Veri Toplama programını dizayn etmek, hidrokarbon arama amaçlı yapılan sismik veri toplama yöntemlerinde ilk adım olarak bilinmektedir. Bu dizaynın hedefi yeraltının zaman ve mesafe olarak örneklenmesidir. Veri toplama zamanını ve maliyetini en aza indirmek ve verilerin en iyi biçimde elde edilmesini sağlamak için amaca uygun ve iyi dizayn edilmiş bir sismik veri toplama programı yapılmalıdır. Sismik programın saha kayıt parametrelerini seçmek veri toplamadaki ikinci adımdır. Sismik verilerin veri işlem ve yorum kısmı dikkate alındığında sismik program dizaynı ve parametre seçiminin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

Vibrosismik verisinde kaydedilen iz iyi tarama (sweep) sinyalidir. Tabakalardan gelen yansımaların belirlenebilmesi için tarama sinyalinin kaydedilen sinyalin içinden çapraz ilişki ile çıkarılır. Böylelikle kaydedilen izler referans tarama sinyali ile çapraz ilişki (Cross corelation) işlemine sokulur. Taramanın çapraz ilişki işlemi, lineer tarama sinyalinin öz ilişkisi ile tanımlanan Klauder sinyalini yaratır (Sheriff, 1990). Bu tanımlama birçok doğrusal tarama ile karakterize edilen doğrusal olmayan tarama sinyalini de kapsar. Sinyalin yer yuvarı içinde seyahati sırasında yer süzgecinin etkisi nedeniyle olduğu gibi, vibratör sisteminden kaynaklı doğrusal ve

doğrusal olmayan süzgeç etkileri nedenleriyle de sinyalin genliği ve fazında değişiklikler olur.

Bu tez çalışmasında Diyarbakır çalışma sahasında vibrosismik yöntem uygulanarak tarama sinyalinin parametrelerinin test edilmesi amaçlanmış ve sonuçları tartışılmıştır. Sismik veri toplama çalışmalarında, istenilen veriye uygun olarak veri toplama için bazı faktörler dikkate alınmalıdır. Kayıt parametrelerini seçmeden önce bu faktörler hakkında detaylı çalışmalar yapılmalı ve parametreler üzerinde etkileri tartışılmalıdır. Saha kayıt parametreleri ve vibrosismik parametreler program başlamadan önce sahada yapılan testlerle belirlenir. Tarama (sweep) parametreleri için detaylı test çalışmalarının yapılması elde edilecek sonuçlara sahaya en uygun, en yüksek S/G oranına sahip, en ekonomik ve hedef seviyelerinden en iyi yansımaların kaydedilmesini sağlayan test aşamalarını içermelidir. Bu çalışmada ham veri üzerinde sonuçlar karşılaştırılarak en iyi kaynak parametreleri seçilmiştir ve yeraltında istenilen yapının özelliklerine göre en iyi sonucu veren verinin toplanması hedeflenmiştir.

1. SİSMİK YANSIMA YÖNTEMİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Yeraltı yapısı hakkında en ayrıntılı ve sağlıklı bilgi veren sismik yansıma yöntemi jeofizik yöntemler arasında en çok kullanılan yöntemdir. Sismik yansıma yönteminin en önemli avantajlarından birisi tek çözümlü olmasıdır. Gravite, manyetik ve diğer jeofizik yöntemlerde farklı derinliklerde veya farklı yapılardaki pek çok kütle aynı anomaliyi verebilir. Sismik yansıma yöntemi, özellikle petrol ve doğalgaz araştırmalarında geniş ölçüde kullanılan, yeraltı tabakalarının sınırlarını ve yapısal unsurları yansıma kesitleri şeklinde sunan en etkili yöntemlerden birisidir ve çok maliyetli olmasına rağmen petrol aramacılığında sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Yeraltına gönderilen sinyaller elastik dalga yayınımı teorisine göre, arayüzeylerden yansıyarak yeryüzündeki alıcılara ulaşırlar ve kayıtçılarda kaydedilirler. Yeryüzünde bu arayüzeyleri fark etmemizi sağlayan en önemli parametre, tabakalar arası akustik empedans farkıdır. Bir tabakanın akustik empedansı, matematiksel olarak hız ve yoğunluğun çarpımı şeklinde ifade edilir (Denklem 1.1),

$$Z=V \times p \tag{1.1}$$

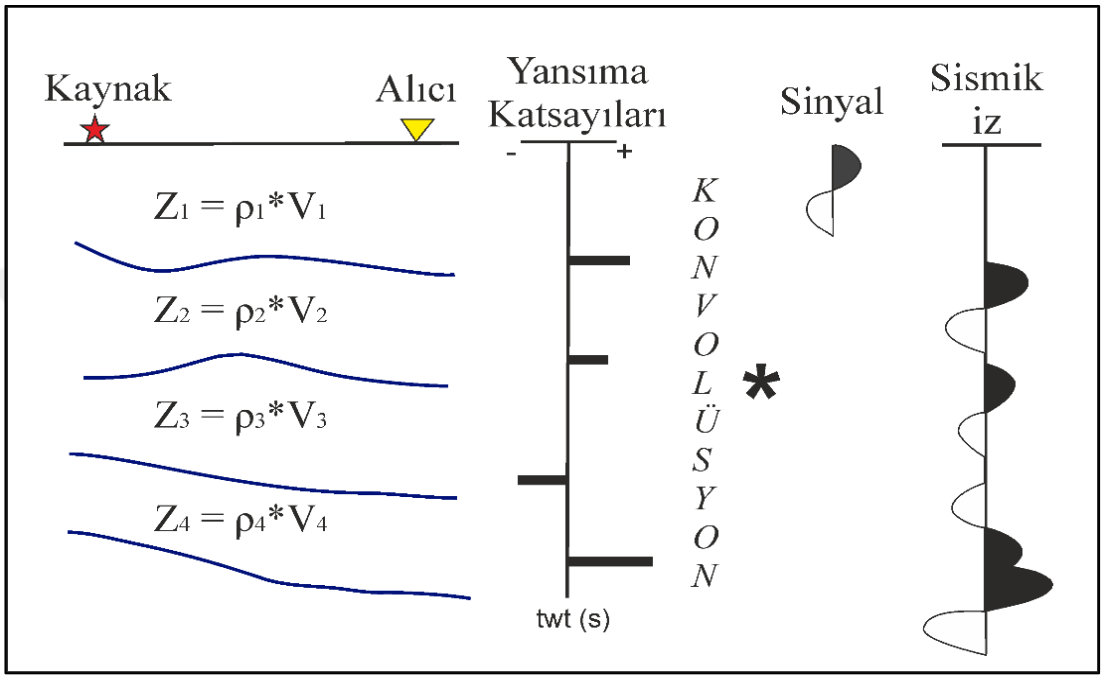
Burada; "V", Sismik hızı ve "ρ", Kayaç yoğunluğunu temsil etmektedir.

Tabakaları birbirinden ayıran arayüzeylerde, ortamdaki elastik özellik değişimleri ilerleyen dalgaları etkilemektedirler. Bir sismik dalga, farklı akustik empedanslara sahip tabakaların yüzeyinden geçerken, enerjinin bir kısmı bu arayüzeyde, bir kısmı bu arayüzeyden yansır. Yansıma yönteminde, yeraltından herhangi bir noktadan alıcıya ulaşan sinyali tanımlayan en önemli parametre, yansıma katsayısıdır (Denklem 1.2).

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \tag{1.2}$$

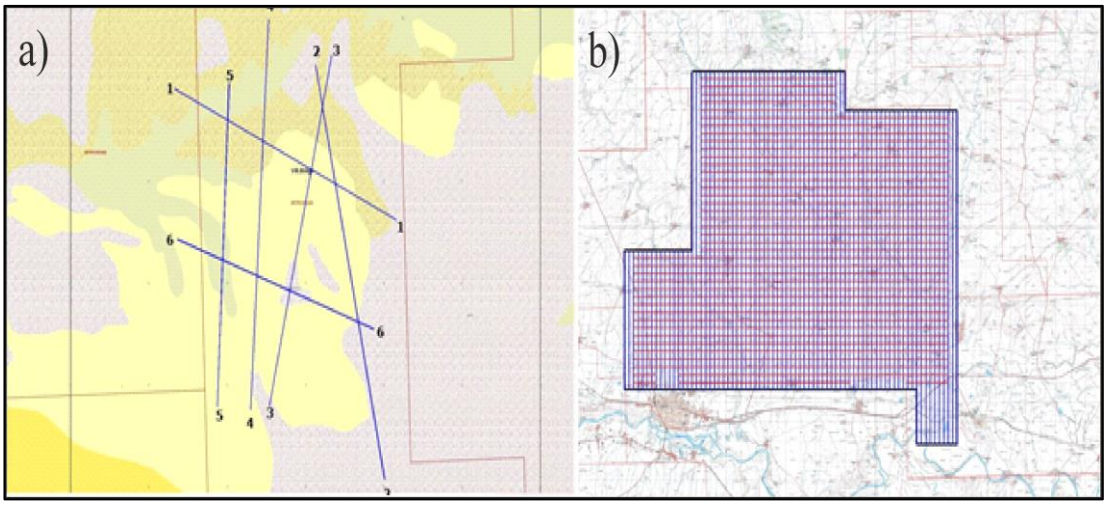
Burada; "Z", akustik empedans parametresini temsil etmektedir ve Denklem 1.1'de matematiksel ifadesi görülmektedir.

Şekil 1.1'de her bir ara yüzeyin çift yol seyahat zamanlarına (twt) karşılık gelen yansıma katsayıları hesaplanarak yansıma katsayıları serileri oluşturulmaktadır. Bu yansıma katsayılarının kaynak dalgacığı (sinyal) ile konvolüsyonu sonucu sismik iz elde edilmektedir. Tek bir ara yüzey için yansıma katsayısı hesabı, akustik empedans farklarının toplamlarına bölünmesi ile elde edilmektedir.



Şekil 1.1. Dört tabakalı yeraltı modeli için yansıma katsayılar serilerinin gösterimi ve sismik izin elde edilmesi (URL-1)

Sismik yansıma yöntemi denildiğinde, P dalgasının düşey bileşeninin kullanıldığı iki boyutlu (2B) veya üç boyutlu (3B) yansıma sismiği ile veri toplanması akla gelmektedir. Yansıma çalışmalarında toplanan ham veriler, sismik veri işlem adımlarının uygulanması ile yorumlama için gerekli olan sismik kesitler elde edilir. Yansıyan dalgaların frekansları yaklaşık 20-80 Hz civarındadır. Karada yapılan sismik uygulamada haritada önceden belirlenen hatlara ait atış ve kayıt noktaları arazide belirlenir. Bu noktaların iki boyutlu (2B) olması durumunda bir hat boyunca, uygulamanın üç boyutlu (3B) olması durumunda ise harita düzleminde her iki boyutta eşit aralıklı olarak belirlenir ve alıcı-atış noktaları dik olacak şekilde alansal olarak veri toplanır (Şekil 1.2). Bu iki farklı boyutlarda kayıtlar arasındaki fark Tablo 1.1'de sıralanmıştır.

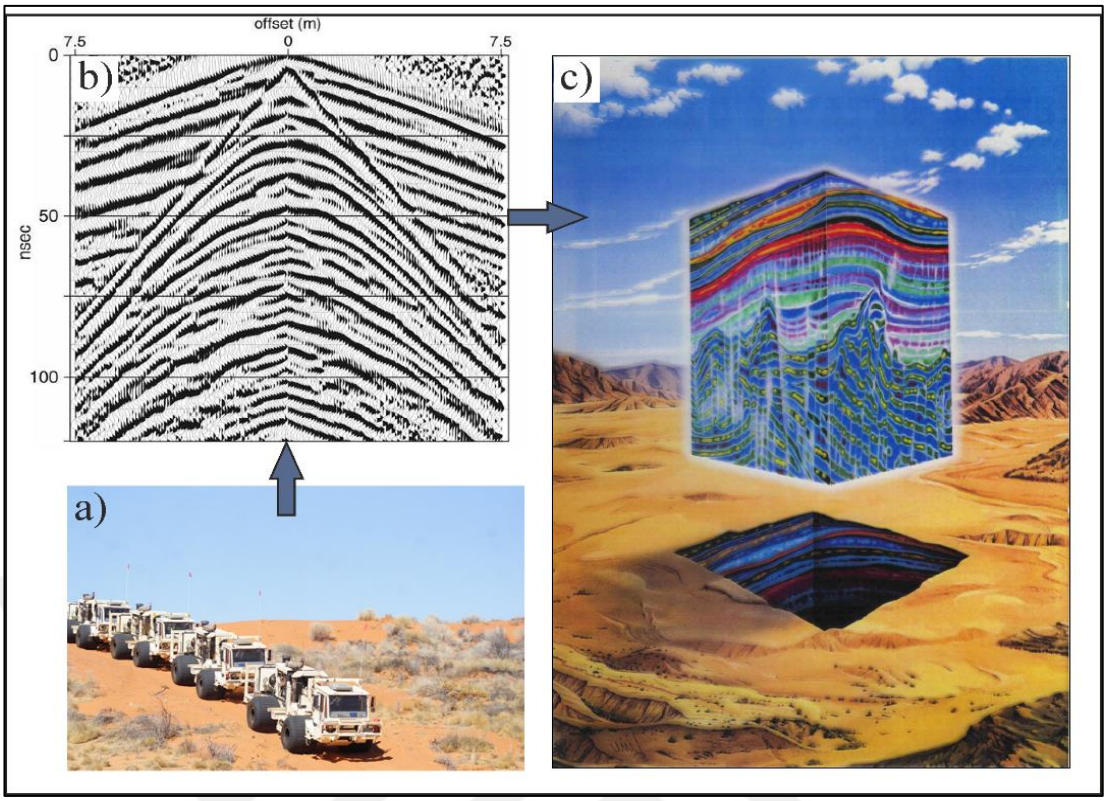


Şekil 1.2. a) İki Boyutlu (2B) b) Üç Boyutlu (3B) sismik yansıma çalışmalarına bir örnek (TPAO)

Tablo 1.1. İki boyutlu ve üç boyutlu sismik yansıma çalışmaları arasındaki belirgin farklılıklar (TPAO)

2B Sismik	**3B Sismik**
Doğrusal Sismik Profil	Alansal Profil
Kaynak ve Alıcı Aynı Profil Üzerinde	Kaynak Hattı Alıcı Hattına Dik
Jeofon Serimi Doğrusal	Jeofon Serimi Alansal
Yeraltı Bilgisi Noktasal (Cdp)	Yeraltı Bilgisi Alansal (Bin Size)
İzler Aynı Açı ile Geliyor	İzler Farklı Açılardan Geliyor (Azimuth)
Sadece Profil Boyunca Hız Analizi	Hem Profil Boyunca Hem de Profile Dik Yönde Hız Analizleri
Sadece Profil Boyunca Görüntüleme	In-Line, Cross-Line ve Time-Slice Boyunca Görünteleme
Doğrusal Sismik Profil	Alansal Profil

Atışların gerçekleştirilmesinden sonra ham veriler kaydedilir ve veri işlem adımlarının uygulanmasına hazır hale getirilir. Veri işlem adımlarının uygulanmasından sonra sismik kesitler elde edilerek yansıma çalışması tamamlanmış olunur (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. 3B sismik çalışmanın şematik gösterimi a) Veri toplama b) Ham veri örneği c) Sismik kesit örneği (TPAO)

1.1. Karada Kullanılan Sismik Kaynaklar

İstenilen enerjiyi yerin içine gönderecek ve geniş frekans aralıklarını kapsama özelliklerini barındıran enerji kaynakları olmalıdır. Toplanılan ham veri daha sonraki işlemleri yapmak için minimum fazlı olmalıdır. Bu nedenle uygun sismik kaynaklar geniş bir frekans aralığı içerisinde eşit enerji kapsayan bir iğnecik olmalıdır (Kara, 2010).

Sinyal/Gürültü oranının arttırılmasında alıcı düzenleri kadar kullanılan sismik kaynaklarda önemlidir. Yeraltı formasyonu ve hedef derinliği enerji kaynağı seçiminde belirleyici olmaktadır. Kaynak seçiminde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulur;

- Yüzeyin kireçtaşı, bazalt vb. yüksek hızlı formasyonlardan oluşan sahalarda hem vibrosismik hem de dinamit enerji kaynağı olarak kullanılabilir.
- Formasyonların kalınlığı ve jeolojik özellikleri enerji kaynağını belirlemede önemli bir etkendir. Kireçtaşı ve bazalt gibi formasyonların ince olduğu yerlerde vibrosismik kullanılması tercih edilebilir.

- Kireçtaşı veya bazalt gibi formasyonların kalın olduğu yerlerde dinamit kullanmak, enerjinin derinlere gitmesini sağlamış olur.
- Kireçtaşı ve bazalt gibi formasyonların ince olduğu yerlerde vibrosismik kullanılması tercih edilebilir.
- Geniş dere yataklarında, kalın alüvyon tabakalarında enerji kaynağı olarak vibrosismik kullanılması daha uygundur. Çünkü böyle alanlarda açılan sondajların sığ olması ve dinamitin düşük hız sonunda kalması nedeniyle sinyal/gürültü oranı düşük olacaktır. (Kara, 2010)

Günümüzde petrol aramacılığında daha çok dinamit ve vibroseis sismik enerji kaynağı olarak kullanılsa da; dinoseis, ağırlık düşürme, geoflex gibi enerji kaynakları da tercih edilmektedir.

1.1.1. Dinamit

Dinamit klasik ve etkin bir enerji kaynağı olarak sismik yansıma yönteminde yaygın olarak kullanılan ve halen önemini koruyan bir kaynak türüdür (Şekil 1.4). Patlama hızı çok yüksektir. Her bölgede (hem deniz hem karada) rahatlıkla kullanılabilen, enerjisinin ısı ile değişmediği bir kaynaktır. Sismik uygulamalarda kullanılan dinamit 30-40 cm boyunda 3-5 cm çapında plastik muhafazalar içinde dinamit çubukları şeklindedir ve çok yüksek patlama hızına (yaklaşık olarak 7000-8000 m/s) sahiptir. Dinamit çubukları birbirlerine vidalanarak birleştirilebilir ve birçok dinamitin aynı anda patlatılması sağlanır. Patlayınca yüksek miktardaki enerji ani olarak yer altına iletilir. Kara sismiğinde, ortaya çıkan enerjinin azamisini yere gönderebilmek amacıyla yeryüzünde açılan kuyularda patlatılır. Düşük hız tabakasının altına inilerek açılan kuyularla, yer altına daha fazla enerji gönderilebilir ve yüzey dalgalarını zayıflatmak için patlayıcıyı daha derine indirmek gerekebilir. Düşük hız tabakasından daha derine yerleştirilen patlayıcıyla yüksek frekanslı bileşenleri de sağlıklı şekilde toplamak mümkündür. Bu nedenle patlayıcının düşük hız zonunun (weathering zone) altına yerleştirilmesi tavsiye edilir. Dinamit yüzeye yakın patlatılması durumunda kayıtlarda S ve yüzey dalgaları baskın olarak görülecektir ve bu durum veri işlem aşamasında istenmeyen gürültülere neden olacaktır.



Şekil 1.4. Dinamit ile veri toplanmasına ait bir örnek çalışma (TPAO)

1.1.2. Vibratör

Vibratörler frekansı zamanla değişen bir tarama sinyalini uzun bir süreyle yeryüzüne aktarılar. Tarama (sweep) sinyali adı verilen sinyal, frekansın zamanla doğrusal veya üstel bir değişim göstermektedir. Frekans bandı, frekansın zamanın bir fonksiyonu olarak artması veya azalması özelliği kullanılarak sismik çalışmanın amacına ve sahanın özelliklerine göre seçilir. Günümüzde en çok kullanılan kara sismik kaynak olarak bilinmektedir. Daha ekonomik, pratik ve yerleşim yerlerine yakın yerlerde kullanılması nedeniyle tercih edilen kaynak türüdür. Kaydedilen sismik iz yeraltından yansıyan tarama sinyallerinin süper pozisyonu olduğu için doğrudan yorumlanması imkânsızdır. Kayıt edilen izin tarama sinyali ile çapraz ilişkisi alınarak sismik iz tepkisel kaynaklarla elde edilen sismik ize benzetilir ve yorumlanabilir bir duruma getirilir. Vibrosismik yönteminde üretilen enerjinin iğnecik şeklinde olmaması dinamitten ayıran en önemli özelliktir. Vibratör kaynağı ve üretilen sinyal hakkında detaylı şekil ve bilgiler Bölüm 2'de verilecektir.

2. VİBROSİSMİK YÖNTEMİ

Vibrosismik; Vibratör'ün enerji kaynağı olarak kullanıldığı çeşitli frekanslar içeren sürekli sinuzoidal titreşimleri kontrollü olarak üreterek uygulayan bir sismik yöntemdir (Sheriff, 1990). Özellikle hidrokarbon aramalarında çok yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, kara sismik çalışmalarında dünya çapında tercih edilmektedir. Vibratör enerji kaynağı da kontrollü bir kaynak olması nedeniyle günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Vibratör sistemi ilk defa, 1952 yılında Continental Oil Company (CONOCO) tarafından geliştirilmiştir. Vibratörün yeri titreştirmesi ile gönderilen tarama (sweep) sinyalinin istenilen güç ve frekansla tasarlanması, diğer sismik kaynaklara göre daha verimli, ekonomik ve çevreye dinamit kaynağından daha zararsız olması nedeniyle daha çok tercih edilen bir sismik kaynaktır.

Vibratör, gücü az ancak tarama sinyalini uzun süreli tutarak yüksek enerji sağlamaktadır. Uzun süreli olan bu tarama sinyali yansıma zamanlarının tam kestirilmesi için uygun değilken, vibrosismikte uzun tarama sinyalini kısa bir dalgacık içerisine sıkıştırarak aynı sonuçlar elde edilmiştir (Anstey, 1991). Tarama sinyali, sınırlı bir frekanstan diğer frekanslara geçen ve sinüzoidal bir şekilde yayılan enerji olarak tanımlanmıştır. Tarama sinyalinin tanımlanması ve istenen enerjinin tarama sinyali ile elde edilebilmesinin bir sonucu olarak vibrosismiğin temel prensipleri ortaya konulmuş ve yöntemin doğruluğu kanıtlanmıştır. Çalışmalar sonucunda, dinamit yerine, uzun süreli tarama sinyali ile de sismik çalışmaların yapılabileceği kanıtlanmıştır. (Crawford vd., 1960; Anstey, 1991). Vibrosismik yönteminin avantajları;

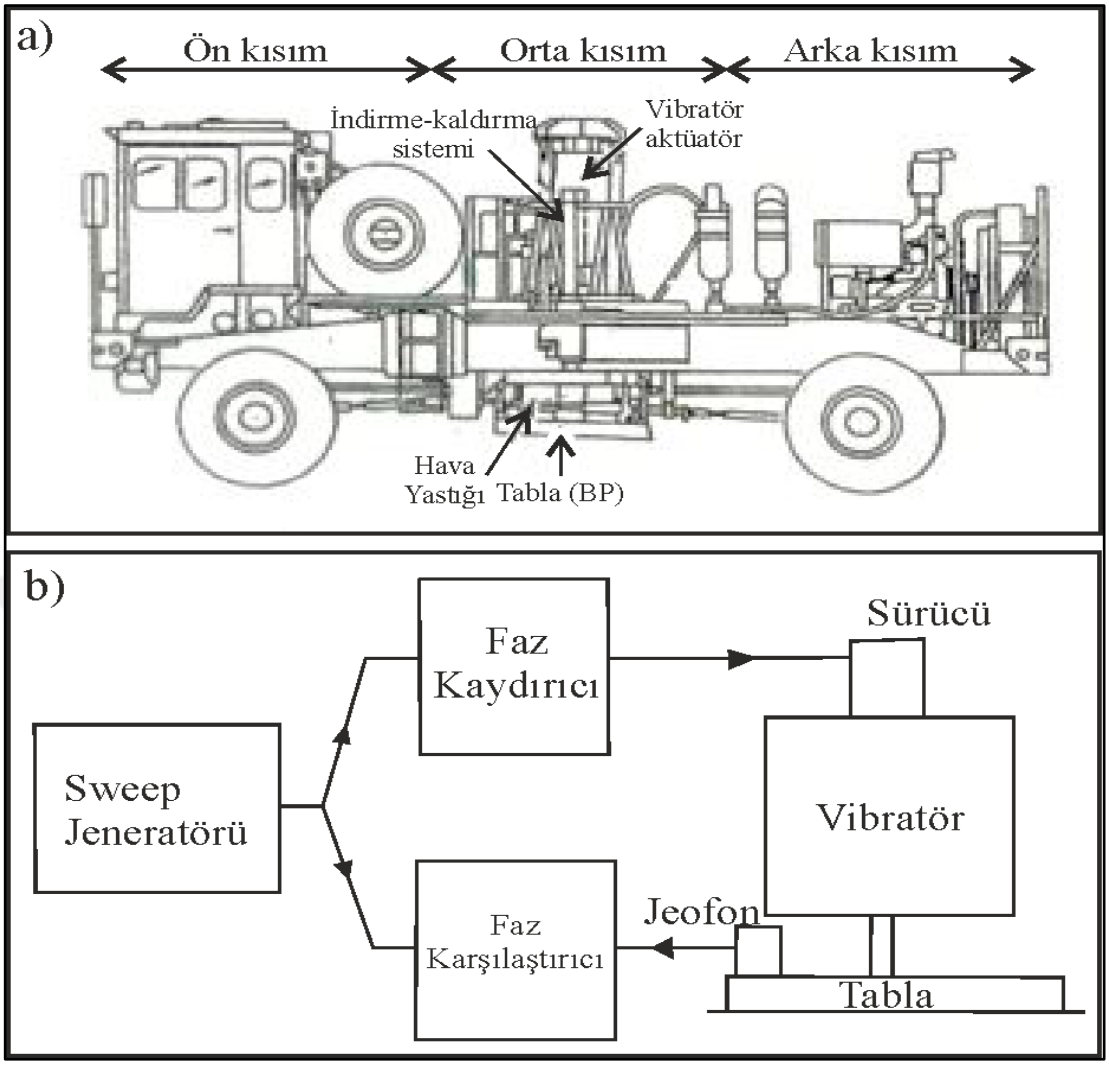
- Frekans içeriği kontrol edilebilir, kontrollü bir enerji kaynağı olması,
- Maliyeti düşük ve verimliliği yüksek bir kaynak olması,
- Atış noktasında fazla atış yaparak sinyal/gürültü oranı artırılması,
- Herhangi bir atış probleminde tekrarlanabilmesi,
- Özel koşullarda şiddeti düşürülerek sorunsuz uygulanabilmesi,
- Sahanın sinyal karakterine uygun frekanslar belirlenebilmesi,

- Yerleşim yerlerine yakın bölgelerde zarar vermeden çalışılabilmesi,
- Yeraltında aranan jeolojik yapıların özelliklerine göre kaynak dalgacığı kontrol edilebilmesidir.

Vibrosismik yönteminin dezavantajları ise;

- Sismik kayıtlar üzerinde yüzey ve hava dalgalarının etkili olması,
- Kaynağın yüzeyde olması nedeniyle, statik düzeltmeler için düşük hız tabakası ve altındaki tabakanın hızları hakkında doğru bilgiler elde edilememesi sonucu ayrıca kuyu atışları ve rekreasyon çalışmalarına da gerek duyulması,
- Korelasyon işlemi sonucu gürültülerin etkin olması,
- Engebeli arazilerde çalışmanın zorlukları olarak sıralanabilir

Vibratörler genellikle kamyonlara veya buggy olarak adlandırılan arazi kabiliyetleri yüksek iş makinelerine monte edilirler. Bir atış noktası için birden fazla vibratör belirli bir düzende sıralanarak kaynak düzenleri oluşturulabilirler. Sıradan kamyonlarla yaklaşık aynı büyüklükte olup ağırlıkları 40–80 ton civarındadır. Genelde maksimum güç yerçekiminin birkaç katı olarak ivmelenir. Bu nedenle tablanın yer ile bağlantısını koruyabilmek için ilave ağırlığa ihtiyaç vardır. Araç ağırlığı bu nedenle önemlidir (Başar, 2007). Vibratör kaynağı ile yere gönderilen sinyal belirli frekansları içerir ve vibratörün çelik tablası bu frekanslara uygun şekilde titreştirilir. Vibratör atış noktasına geldiğinde çelik tabla yere indirilerek sinyal yere belirli süre içerisinde gönderilir ve tabla süre bitiminde tekrar yukarı kaldırılır. Bu işlem her atış noktası tekrarlanarak kayıtlar kaydedilir. Şekil 2.2'de vibratörün hidrolik sistemi ve tablası sinyal gönderme anında görülmektedir. Sismik vibratör başlıca üç ana kısımdan oluşur. Bunlar ön kısım, orta kısım ve arka kısımdır. Orta kısımda vibratör aktüatör (harekete geçirici), indirme-kaldırma sistemi, tabla ve hava yastığı sistemin başlıca mekanizmalarını oluşturur (Şekil 2.1-a). Ön kısımda genellikle haberleşme, kalite-kontrol sistemleri ile yakıt tankı bulunurken, arka kısımda motor ve soğutma sistemleri yer almaktadır. Sistemin şematik gösterimi ise Şekil 2.1-a ve b'de gösterilmiştir. Bir noktada yapılan taramaların toplamından elde edilen kayıt bir dinamitli atış kaydına denk gelmektedir.



Şekil 2.1. a) Vibratör aracının genel görünüşü b) Bazı önemli aksamları (TPAO)



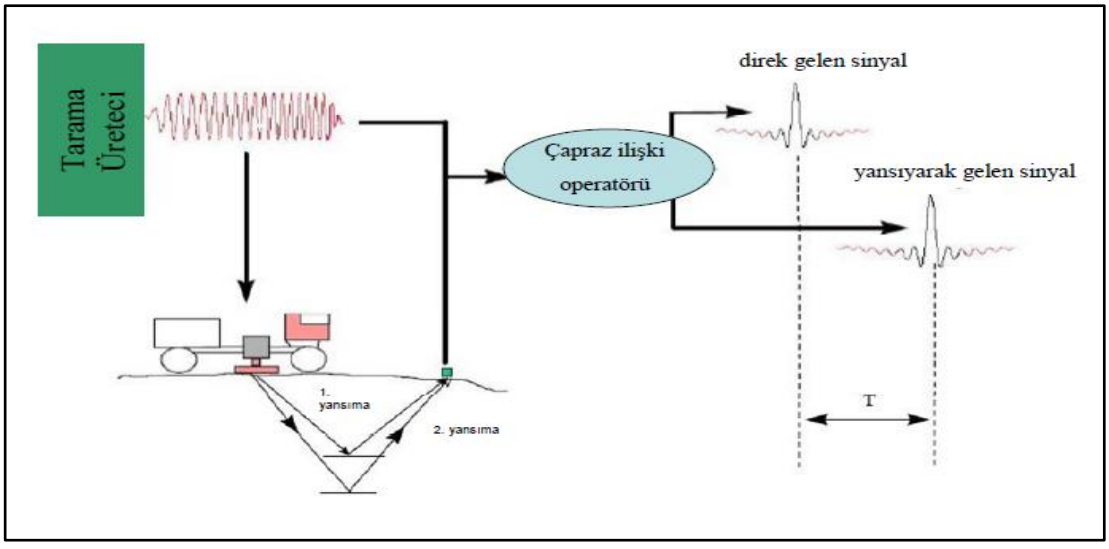
Şekil 2.2. Vibratör sistemi ve tablası

Bu tez çalışmasında vibratörün petrol arama amaçlı sismik çalışmalarda kullanımı ile ilgili parametrelerin belirlenmesi olduğundan S dalgası kayıtları kullanılmamış sadece P dalgası üreten vibratörlerden (Tabla hareketi düşey yönde) elde edilen veriler kullanılmıştır.

Vibratör sistemi toplam olarak üç ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.3). Bunlar sinyali oluşturan tarama üreteci, tarama sinyalini yere göndermek için vibratör ve uzun tarama biçimini kısa yansıma serilerine çevirmek için çapraz ilişki operatörüdür (Başar, 2007). Burada;

T; Kaynaktan çıkan sinyalin seyahat süresi.
Direk gelen sinyal = Vibratör tablasındaki alıcı tarafından ölçülen sinyal
Yansıyarak gelen sinyal, dinamitli çalışmadaki yansımanın karşılığıdır.

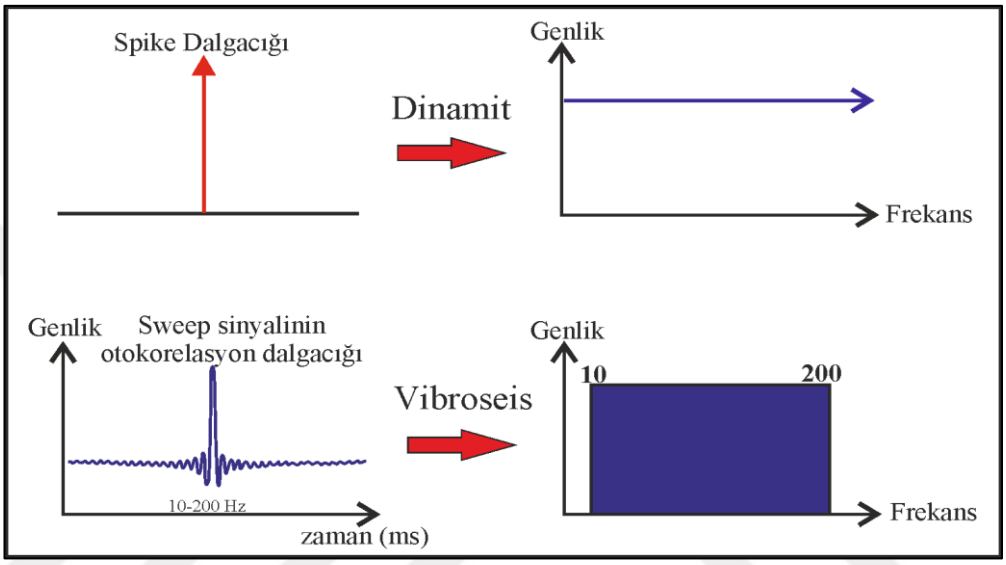
Sistem şu şekilde çalışmaktadır: Tarama üreteci ile uzun biçime getirilen sismik sinyal telsiz vasıtası ile vibratör üzerindeki elektronik sisteme gönderilir. Vibratör, elektronik sisteminde tanımlanmış olan sinyali, üzerindeki hidrolik sistem ile mekanik hareketlerle yere gönderir. Yer içinde ilerleyen sinyal yansıtıcı ara yüzeylerden yansıyarak alıcılara varır. Alıcılara ulaşan bu sinyal bütün yansıtıcı yüzeylerin bilgisini içermektedir. Bu nedenle, kaydedilen sinyal referans sinyali ile çapraz ilişki operatöründe çapraz ilişki işlemine girer. Sonuç olarak yeraltındaki tabakaları ifade eden zaman ortamındaki yansıma serisi elde edilir (Başar, 2007).



Şekil 2.3. Vibrosismik yöntem (Başar, 2007)

2.1. Sismik Veri Toplamayı Etkileyen Parametreler

Dinamit kaynağı ile vibro kaynağı sinyalinin frekans bandındaki fark Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Dinamit kontrollü bir kaynak olmadığından, kaynak dalgacığı bir spike fonksiyonu olduğundan, genlik spektrumu tüm frekansları içermektedir. Vibratör kaynağı ile üretilen enerjinin frekans kaynağı, çalışma alanına uygun frekansları üretecek şekilde tasarlanabilir.



Şekil 2.4. Frekans-zaman ortamında dinamit ve vibratör kaynak dalgacıkları ve genlik spektrumlarının karşılaştırılması (Sakallıoğlu vd., 2012'den uyarlanmıştır.)

Örneğin, 10-200 Hz aralığında veri toplamaya uygun frekans bandı seçilsin. Spike yerine, 10-200 Hz arasında sıfır fazlı bir dalga formu oluşturulur. Genlik spektrumu tüm frekanslar yerine, çalışmanın amacına en uygun frekansları üretilebilecek kaynak parametreleri seçilebilir ve bunlar test çalışmaları ile belirlenir (Şekil 2.4).

Vibrosismiğin ideal sonucunda korelasyon işlemi ile elde edilen giriş sinyali, otokorelasyon fonksiyonunun yerin cevabı ile konvolüsyonudur. Farklı elastik özelliklere sahip tabaka sınırlarındaki yansıma katsayılarını gösteren her bir iğnecik (spike) için, otokorelasyon sinyalinin uygun genlik ve polarite ile bir benzerini yer cevabına yerleştirilebilir. Eğer yerin cevabı bilinirse ya da bir iğnecikli sentetik iz oluşturulup otokorelasyon fonksiyonu sentetik iz ile konvolüsyona tutulursa ideal bir sismik iz elde edilebilir ve matematiksel ifadeleri Denklem 2.1'de gösterilmiştir.

$$S(t)=g(t) \times r(t) \quad (2.1)$$

S (t) = sismik iz

g(t) = otokorelasyon fonksiyonu

r(t) = yerin cevabı veya sentetik iğnecik iz

Giriş sinyalinin süresi ve genlik spektrumuna bağlı olarak otokorelasyon sinyalinin özellikleri belirlenir. Yansımaların en iyi ayrımlılığını sağlayacak şekilde giriş sinyalini seçmek gerekmektedir. Sınırlı bir band genişliğine sahip giriş sinyali, çok daha geniş band genişliğine sahip giriş sinyalinden daha iyi ayrımlılık veren yansımalar almamızı sağlayabilir. Giriş sinyalinin özellikleri ve bunun otokorelasyon fonksiyonu ile arasındaki ilişki vibrosismiğin önemli bir aracıdır (Sakallıoğlu vd., 2012).

Vibrosismikte sinyal/gürültü oranını arttırmak için iki önemli aşama vardır. İlki; tarama sinyalinin band genişliğini belirleyen başlangıç, bitiş frekanslarının ve sinyal süresinin seçimidir. İkincisi; kroskorelasyon işlemi olup, bu aşamada daha iyi bir sinyal/gürültü oranı geliştirilebilir.

2.2. Tarama (Sweep) Sinyali Çeşitleri

Vibrosismik çalışmalarda ilgilenen hedef seviyeye bağlı olarak yere gönderilen tarama farklı tiplerde olabilir. En yaygın kullanılan iki çeşit tarama tipi vardır. Bunlar; doğrusal (Linear) tarama ve doğrusal olmayan (Non-linear) tarama sinyalleridir. Hidrokarbon aramalarında vibrosismik yöntemi uygulamalarında çoğunlukla doğrusal (linear) tarama sinyali kullanılır. Eğer hedef seviyeler sığ veya hedef seviyelerde yüksek ayrımlılık isteniyorsa doğrusal olmayan (Non-linear) tarama çeşitlerinin kullanıldığı sahalarda olmaktadır.

Vibratörün yere gönderdiği tarama sinyali en genel şekliyle Denklem 2.2 ile tarif edilebilir;

$$S(t) = B \sin[2\pi Q(t)] \qquad 0 \leq t \leq T \quad (2.2)$$

S(t) = tarama sinyali, B=tarama genliği ve Q(t)= f(t)'nin ntegralidir

Vibrosismikte giriş sinyali sabit bir genliğe sahip ve frekansı zamanla değişen bir sinyaldir. Giriş sinyalinin başlangıç ve frekansını f1, bitiş frekansını f2 alırsak, sinyal f1 ‘den f2’ye zamanla artarak değişir. Bu iki frekans arasında ki fark band genişliğidir ve $(\Delta f) = f2 - f1$ bağıntısı ile ifade edilir.

2.2.1. Sweep sinyalinin tarama yönü

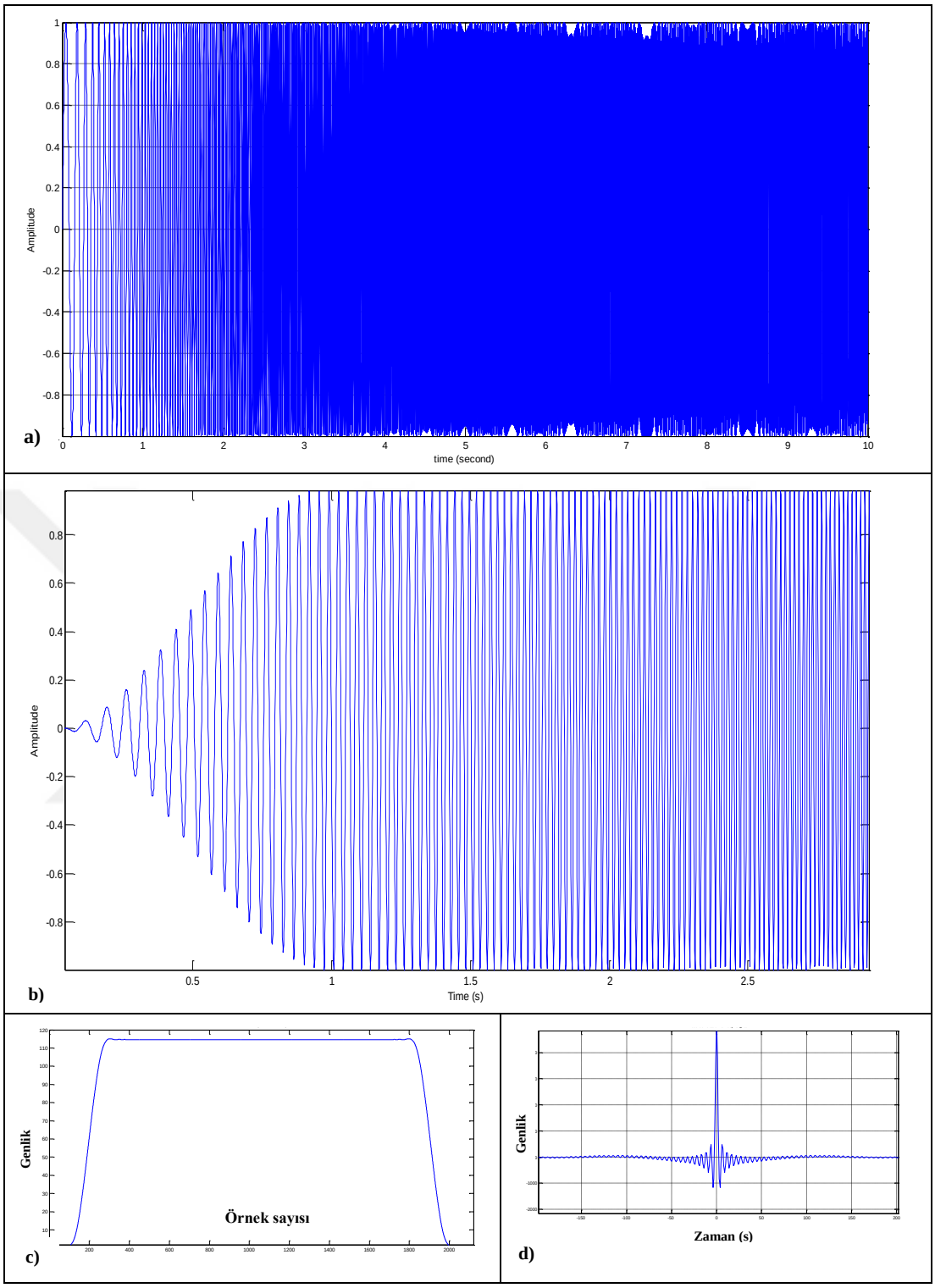
Tarama sinyalleri tarama yönlerine göre iki gruba ayrılır. Bunlar yukarı tarama ve aşağı tarama olarak adlandırılırlar. Eğer vibratör, tarama sinyalinin frekanslarını, tarama süresinin artışı ile orantılı olarak alçaktan yükseğe doğru tarayarak yayıyorsa yukarı taramalı (up-sweep), yüksekten alçağa doğru tarıyorsa aşağı taramalı (down-sweep) olarak adlandırılır.

Şekil 2.5’te yukarı taramalı tarama sinyali dalga formu (Şekil 2.5a), törpüleme fonksiyonu uygulanması ve 2,5 s’de yakınlaştırılmış görüntüsü (Şekil 2.5b), genlik spektrumu (Şekil 2.5c) ve otokorelasyon dalgacığı (Şekil 2.5d) gösterilmiştir. Tarama süresi boyunca genlik değerlerinin sabit olması; vibratör her bir frekansta yere eşit miktarda enerji gönderdiğini göstermektedir.

Sinyalin başlangıç ve bitişindeki harmonik rezonansları en aza indirmek için, başlangıç ve bitiş genlikleri konikleştirilerek, törpüleme fonksiyonu uygulanmıştır. Sinyalin boyu %3-5’i kadar başlangıç ve bitişinde törpüleme fonksiyonu uygulanmıştır. Böylelikle otokorelasyon dalgacığının yan salınımları bu aynı zamanda “Gibbs etkisi” olarak da adlandırılır, azaltılarak sinyal spekturumundaki gürültülerin oluşması engellenmiştir. Vibrosismik çalışmalarında aksi belirtilmediği takdirde tarama sinyali denildiğinde yukarı taramalı sweep sinyali anlaşılır.

2.2.2. Doğrusal (linear) tarama sinyali

Doğrusal (linear) tarama sinyalinde frekanslar zamanla doğrusal olarak artar ve frekansların zamanla değişimi de sabit olur (Goupillaud, 1976). Şekil 9’da Doğrusal (Linear) tarama örneği görülmektedir. 10 saniyelik örnekte frekans zamanla doğrusal olarak artarak 10 sn’de 10 Hz’den 200 Hz’ ulaştığı yorumu yapılabilir.



Şekil 2.5. a) Linear yukarı taramalı sweep sinyali (10-200 Hz, 10 sn, 0,001 s örnekleme aralığı) dalga formu b) Törpüleme fonksiyonu uygulanması sonrasında 2,5 s değerine kadar zoom yapılmış tarama sinyali c) Genlik spektrumu (Fourier Transformu, törpüleme uygulanmıştır) ve d) Otokorelasyon sinyali

Tarama süresi boyunca, genlik değerlerinin sabit olması vibratörün her bir frekansta yere eşit miktarda enerji gönderiyor olması demektir. Eğer yere gönderilen frekanslar eşit ise genlik spektrumu düze yakın olacaktır.

Linear tarama sinyali, anlık frekansının zamanla değişim Denklem 2.3'teki gibi gösterilir.

$$fi(t) = fi + (f2 - f1) / T \quad (2.3)$$

f1 = Başlangıç Frekansı

f2 = Bitiş Frekansı

T = Tarama süresi

Başlangıç ve bitiş frekanslarının seçilmesi çalışma alanında aranan jeolojik yapıya ait hedef seviyelerinin en uygun şekilde belirlenmesi oldukça önemli parametrelerdir. Sinyal/Gürültü oranı band genişliğinin, tarama sinyalinin tüm band genişliğine eşit olarak seçilmesine önem verilmelidir. Vibrosismik çalışmalarda, tarama sinyalinin band genişliğinin çok geniş seçilmesi daha fazla ve uzun süreli tarama sinyalinin uygulanması demektir. Ancak bu durum operasyonel maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle linear tarama uygulamalarında frekans kayıplarına yol açacak etkenleri (vibro düzeni, vibro tablasının yer ile teması gibi) en aza indirmek, gürültüleri mümkün olduğu kadar sönümlemek ve vibratör gücünü artırmak gerekir (Sakallıoğlu vd., 2012).

2.2.3. Doğrusal olmayan (non-linear) tarama sinyali

Vibrosismiğin bir diğer önemli avantajı da doğrusal olmayan (Non-linear) tarama üretebilmesidir. Hedef seviyelere uygun, yüksek ayrımlı verilerin toplanması için doğrusal olmayan tarama sinyalleri oluşturulabilir. Doğrusal olmayan tarama çeşitlerinde, vibratör tarafından gönderilen frekanslar kontrol edilip, güçleri artırılarak verideki düşey ayrımlılık geliştirilebilir. Doğrusal olmayan tarama için vibratör, ihtiyaç duyduğumuz ve güçlendirmek istediğimiz frekansları yavaş tararken, fazla ihtiyaç duyulmayan frekansları daha hızlı tarar. Doğrusal olmayan taramada frekans aralığının zamanla değişimi sabit değildir (Sakallıoğlu vd., 2012).

3. ÜÇ BOYUTLU (3B) SİSMİK VERİ TOPLAMA VE SAHA PARAMETRELERİNİN TANIMI

Sismik verilerin toplanmasında çalışma alanın jeolojisine ve hedef derinliğine göre en ekonomik ve en uygun saha parametreleri ile toplanabilmesi için sahaya gitmeden önce, saha programını tasarlamak ve tüm bilgiler eşliğinde en uygun saha kayıt parametrelerini belirlemek gerekmektedir.

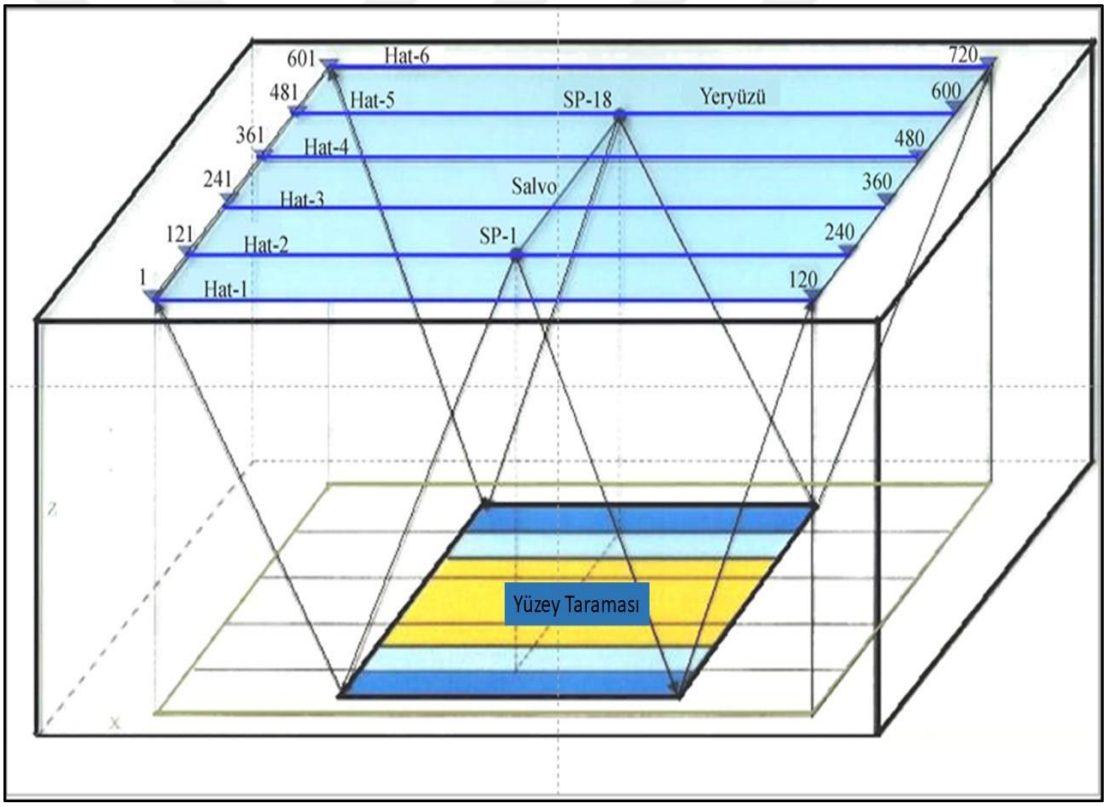
Hidrokarbon aramalarında ilgilenilen yeraltı yapısının doğası üç boyutludur (Örn.: Tuz domları, ters fay kuşakları, resifler, deltayik kumtaşları ve düzensiz tabakalı stratigrafik yapılar). İki boyutlu (2B) bir sismik kesit üç boyutlu (3B) sismik cevabın sadece enine kesitini göstermektedir. Çünkü 2B kesit yeraltında düzlem dışı dahil bütün yönlerden gelen bilgileri içermektedir. Oysaki 2B göç (migrasyon) işlemi, bütün sinyallerin profil düzleminden geldiğini kabul eder ve bu düzlem dışından gelen dalgalar yanlış yorumlamalara neden olabilir. Bu nedenle 2B sismik kesitlerde yanlış yorumlamalara neden olacak üçüncü boyut olaylarını ortadan kaldırmak için 3B veri toplamaya ve bu verilerin 3B migrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. 2B sismik çalışmalarda yeraltı hız alanının sadece sismik profil boyunca dağılımı elde edilirken, 3B sismik çalışmalarda profil yönüne dik yönde hız dağılımı sağlanarak 3B göç işlemi karmaşık yeraltı yapısını daha gerçekçi ortaya koymaktadır (Küçük, 2006).

Sahada sismik yansıma çalışmasına başlamadan önce, mevcut jeolojik ve jeofizik verilerle, daha önce açılmış kuyulara ait veriler değerlendirilmelidir. Ayrıca saha kayıt ve vibrosismik parametrelerinin testlerinin yapılması oldukça önemlidir. Daha önce çalışma yapılmış bir saha ise, eski yıllara ait sismik kesitler de incelenip sahanın sismik özellikleri belirlenebilir.

3.1. Üç Boyutlu Sismik Program Dizaynında Bazı Terim ve Parametreler

Hidrokarbon amaçlı 3B sismik veri toplama çalışmalarında sismik çalışmaların hedeflenen başarıya ulaşması için saha kayıt parametrelerinin seçimi önemli yer

tutmaktadır. Yanlış seçilen parametreler, toplanan verinin kalitesini etkileyeceği gibi istenilen hedefe ulaşamama durumunu da etkileyebilmektedir. Bu da zaman ve maliyet olarak çalışmayı olumsuz etkileyecektir. Saha kayıt parametrelerinin seçiminde, önceki yıllarda yapılmış çalışmalardan elde edilen bilgileri de kullanmak çalışmalarımızda kolaylık sağlayacaktır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte üç boyutlu (3B) veri toplama daha detaylı araştırma olanağı sağladığı için iki boyutlu (2B) çalışmalara nazaran daha çok tercih edilmektedir. Özellikle hidrokarbon çalışmalarında üç boyutlu sismik yansıma veri toplama teknikleri petrol sektöründe yaygın olarak uygulanmaktadır. Şekil 3.1'de 3B veri toplamadaki yeraltı kaplaması üç boyutlu olarak verilmiştir. Bu uygulamada 6 hatlı sistem kullanılmıştır ve her bir hat üzerinde 120 kanal vardır. Yani, toplam kanal sayısı: 6 x 120 = 720 kanaldır.



Şekil 3.1. 3B sismiğin yeraltı ve yüzey kaplamasına ait örnek (TPAO)

Üç boyutlu sismik veri toplama çalışmalarında dikkate alınan parametreler aşağıdaki tablolarda (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2) gösterilmektedir (Sakallıoğlu vd., 2012).

Tablo 3.1. 3B veri toplama parametreleri (TPAO)

Genel Parametreler	3D çalışma sahasının büyüklüğü
	Aktif kayıt kanal sayısı
	Kaynak tipi
	Bin boyutu
	Katlama sayısı (Fold)
	Alıcı hattı yönünde katlama sayısı
	Kaynak hattı yönünde katlama sayısı
	En büyük 3D katlama sayısı
	Km^2'deki kaynak nokta sayısı
	Km^2'deki iz sayısı
	3D alanındaki toplam alıcı istasyonu sayısı
	3D alanındaki toplam kaynak istasyonu sayısı
Kayıt Parametreleri	Kayıt cihazının tipi
	Kayıt uzunluğu
	Örnekleme aralığı
	Kayıt formatı
	Kayıt ortamı Teyp, CD,DVD ve Hard Disk
	Ön yükseltici kazancı
	Alçak kesim frekansı
	Yüksek kesim frekansı
	Kayıt korelasyonu
	Gürültü azaltma
	Kayıt polaritesi
	Vibratör ve kayıt fazı
Kayıt Geometrisi	3D program tasarımı ve geometrisi
	Alıcı hat aralığı
	Alıcı grup aralığı
	Alıcı hattı sayısı
	Bir alıcı hattındaki aktif kanal sayısı
	Alıcı ve kaynak hatlarının yönü
	Kaynak hat aralığı
	Kaynak grup aralığı
	Kaynak noktası sayısı
	Kaynak hatları yönünde hareket eden alıcı hattı sayısı
	Alıcı hatları yönündeki en geniş açılım
	Atış hatları yönündeki en geniş açılım
	En büyük açılım (maksimum ofset)
	En küçük yakın açılım (minimum ofset)
	En geniş yakın açılım
	3D görüş oranı

Tablo 3.1.(Devam) 3B veri toplama parametreleri (TPAO)

Kaynak Parametreleri	Kaynak tipi ve gücü
	Vibratör elektroniği ve modeli
	Bir kaynak noktası için vibratör sayısı
	Vibratör sürüş seviyesi (%)
	Bir kaynak noktasındaki tarama sayısı
	Kaynak dizini ve boyutları
	Vibratörler arasındaki boyuna ve enine mesafe
	Vibratör kayma mesafesi
	Tarama sinyali tipi ve başlangıç, bitiş frekansları
	Tarama sinyali boyu
	Tarama sinyali törpüleme fonksiyonu tipi ve uzunlukları
Alıcı Parametreleri	Alıcı tipi ve doğal frekansı
	Bir gruptaki alıcı sayısı
	Alıcı dizini geometrisi, boyutları ve şekli
	Bir string'deki alıcı sayısı
	String sayısı
	İki alıcı arasındaki enine ve boyuna uzunluk
	İki string arasındaki kayma miktarı

Tablo 3.2. 3B sismik program dizaynında bazı önemli terimler

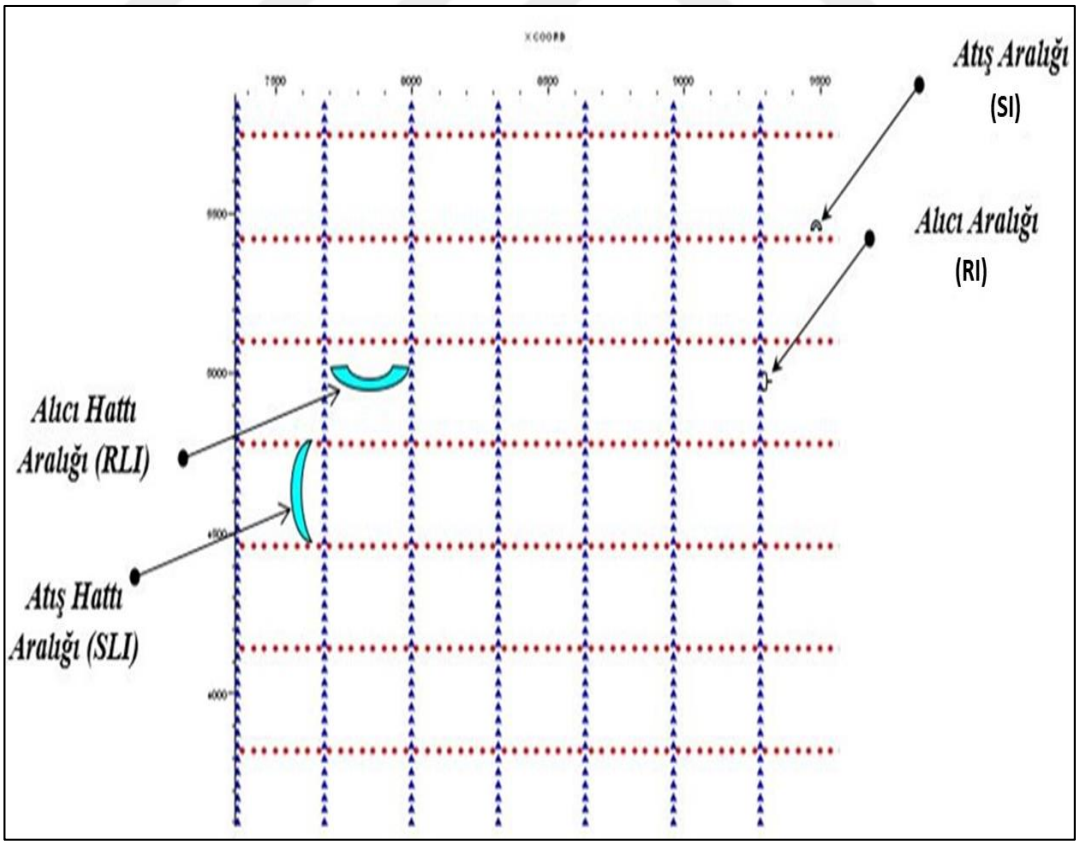
Migrasyon mesafesi	Swath
Katlama azalımı	Salvo
X_{min}	Fold
Midpoint	Sinyal/Gürültü oranı
CMP Bin	Bin boyutu
Patch	Hedef seviye genişliği
Template	Yanal ayrımlılık
En geniş açılım – Smax	

Bu tez çalışmasında Tablo 3.1'de gösterilen parametrelerin bir kısmından bahsedilecektir, daha detaylı bilgiler Başar, 2007 ve Sakallıoğlu vd., 2012 referanslarında yer almaktadır.

3.1.1. Kayıt parametreleri ve geometrisi

Sismik veri toplama çalışmalarında kayıt uzunluğu, yansıtıcı ve saçıcı yüzeylerin migrasyon işleminden sonra sismik kesitte görünebilir şekilde kaydedilmesini sağlayacak kadar uzun seçilmelidir. Örneğin aranan hedef derinliğinin 1,5 saniyede, daha derinlerdeki temel seviyenin 2,5 saniyede olması durumunda, difraksiyon için geçen süre 500 ms, statik zamanı 100 ms ve kayıt sistemi için ilave zaman 150 ms olarak alınırsa, yeterli kayıt uzunluğu için en az 5 saniye seçilmelidir (Sakallıoğlı vd., 2012). Uzun kayıt sürelerinin vibrosismik çalışmalarda veri toplama zamanı ve maliyeti arttıracağı dikkate alınmalıdır. Günümüzde ilerleyen teknolojilerle birlikte veriler artık manyetik teyplere değil hafızası çok geniş olan hard disklere kaydedilmektedir.

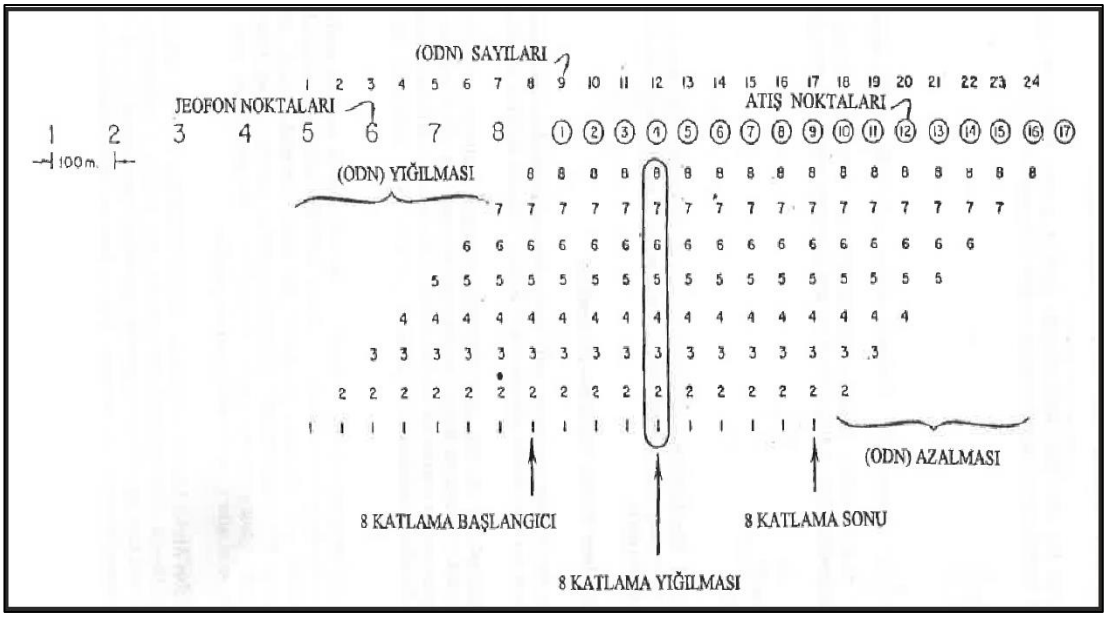
3B sismik veri toplamada kaynak hatları alıcı hatlarına dik olacak şekilde alınır ve bu düzene ortogonal 3B dizaynı adı verilir. Kayıt geometrisinde kullanılan bazı terimlerin açıklaması aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.2. Kayıt parametrelerinin 3B veri toplama düzeneğindeki şekli (TPAO)

Alıcı Aralığı (Group Interval; GI), iki alıcı grubu arasındaki mesafe; Atış Aralığı (Shot Interval; SI), iki kaynak grubu arasındaki mesafe; Alıcı hatları aralığı (Receiver Line Interval; RLI), iki alıcı hattı arasındaki mesafe; Atış hatları aralığı (Shot Line Interval; SLI) ise iki kaynak hattı arasındaki mesafedir (Şekil 3.2). 3D sismikte alıcı hatlarının yönüne "In-line", kaynak hatlarının yönüne "Cross- line" denilir. 3B sismik verisi yorumculara hem in-line ve cross-line yönlerinde düşey kesitler sağlar hem de yatayda zaman dilimleri (time slices) şeklinde kesitler sunmaktadır. Bu yatay kesitler yorumlanmış seviyeler için kontur haritalarının elde edilmesinde kullanılır.

3B veri toplamada bir diğer önemli parametre kaynak ve alıcı hatları aralığıdır. Bu aralıkların mümkün olduğu kadar dar ve birbirlerine eşit olması istenmektedir. Bu tarz çalışmalar daha kaliteli veri toplanmasını sağlayacaktır. Kayıt geometrisini tam olarak anlayabilmek için bazı genel parametre terimlerinin bilinmesi gerekmektedir. Genel parametrelerden Katlama (Fold) Sayısı, her bir bin içerisine düşen yansıma noktası sayısıdır. In-line katlama parametresi matematiksel olarak (Kanal Sayısı x Alıcı Aralığı) / (2 x Atış hattı aralığı) ifade edilirken, Cross-line katlama parametresi (Alıcı hatları sayısı / 2) olarak ifade edilir. En büyük 3D katlama sayısı In-line ve Cross-line katlama sayılarının çarpımına eşittir. Fold parametresi o sahanın S/G oranına bağlıdır.



Şekil 3.3. Sekiz katlamalı jeofon düzeni örneği (Kurtuluş, 2002)

Bir diğer önemli kayıt geometrisi en büyük açılım değeri olan "Xmin"; iki alıcı ve atış hatlarının oluşturduğu dikdörtgen kutunun tam ortasındaki "bin"in sahip olacağı en büyük minimum açılım mesafesinin 3B alanındaki en kısa açılımıdır.

Matematiksel olarak,

$$\sqrt{(\mathrm{RLI}-\mathrm{SI})^2+\mathrm{SLI}-\mathrm{RI}^2} \tag{3.1}$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. RLI; alıcı hattı aralığı ve SLI; atış hattı aralığıdır. Sığ seviyelerinin uygun bir şekilde örneklenmesi için Xmin değerinin yeteri kadar kısa olması gereklidir. En büyük açılım olan Xmax değeri belirlenirken, ilgilenilen hedef derinliğinden daha büyük olması tercih edilir. Xmax parametresini etkileyen önemli faktörler şöyle sıralanabilir;

- Hedef derinlik
- Direk dalga girişimleri
- Kırılan dalga girişimleri
- En derin düşük hız zonunun belirlenmesi için Xmax
- Maksimum NMO (Normal Kayma Zamanı) gerilmesine göre Xmax
- NMO düzeltmesi için Xmax
- Gaz aramalarında genlik analizi için Xmax
- Maksimum kablo genişliğine bağlı olarak Xmax (Sakallıoğlu vd., 2012)

Hidrokarbon aramalarında sahada en derin hedef seviyelerinden yansımaların kaydedilebilmesi için en geniş açılım yani maksimum ofset değerinin en derin hedef seviye derinliğinden 1,5 katı olması önerilir. Bu nedenle bu parametrenin mümkün olduğu kadar uzun seçilmesinin avantajları bulunmaktadır. Diğer önemli kayıt geometrisi parametrelerinden birisi de 3B görüş oranıdır. Xline mesafesinin Inline mesafesi yarısına oranıdır. Genel bir kural olarak 0,5 değerinden büyük olmalı, ideal olarak 1,0 seçilmelidir (Sakallıoğlu vd., 2012).

3B tasarımında birbirine yakın iki alıcı ve kaynak hattı arasındaki kare veya dikdörtgen alan "kutu alanı (box) olarak adlandırılır. Midpoint; kaynak-alıcı arasındaki mesafenin yarısına yerleştirilmiş noktadır. Eğer 3B çalışmada 720 kanal alıcı patch'i yerleştirilmiş ise (Şekil 10), her bir kaynak noktası 720 Ortak Nokta (Midpoint) oluşturacaktır. Ortak orta yansıma (CMP) bini bu alanın tam ortasına

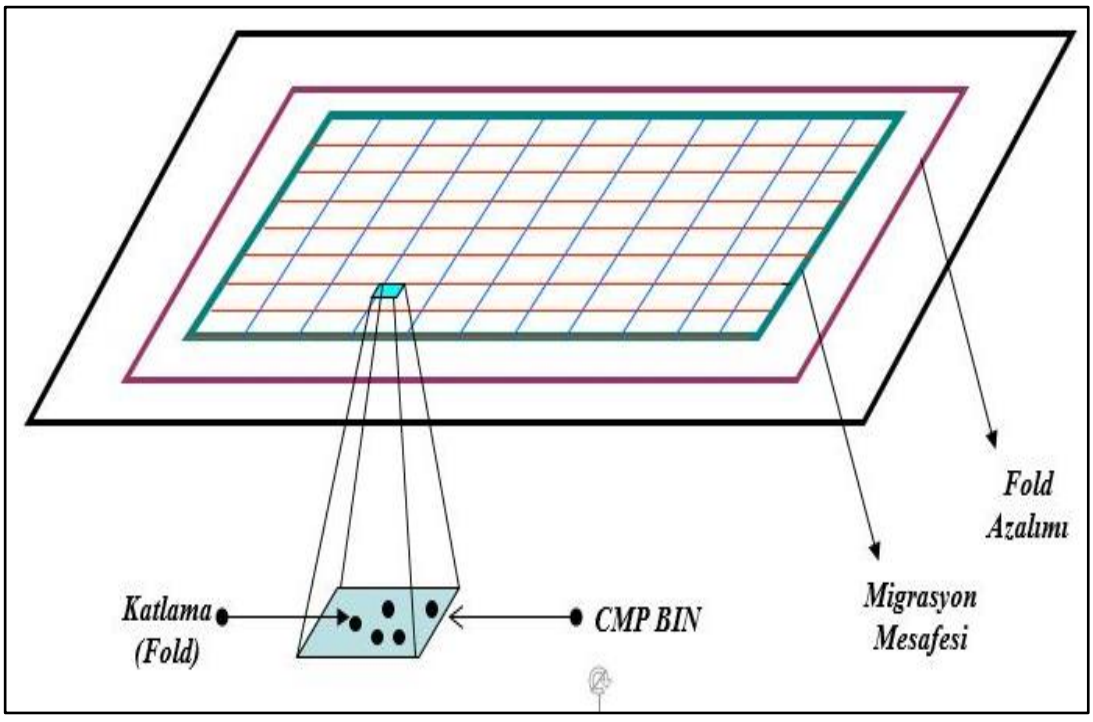
düşer. Migrasyon Mesafesi, verilerin göç işlemi için gerekli olan mesafedir ve bunu belirleyen en önemli parametre kayıt uzunluğudur. Eğimli yapıları ve fayları gerçek yerlerine taşımak için sismik veriye uygulanır. Sismik veri toplama çalışmalarında migrasyon mesafesi çoğu zaman ihmal edilebilmektedir. Sismik veri toplama parametrelerini belirlerken migrasyon mesafesini de dikkate almak gerekmektedir. Migrasyon mesafesi dikkate alınmadan belirlenen 2D sismik hatlar ve 3D sismik projelerde, verilerin işlenmesinden sonra eğimli seviyelerin kesitlerde görülmemesine sebep olmaktadır. (Sakallıoğlu vd., 2012). 3B çalışma yapılacak sahanın sınırlarını belirledikten sonra tam katlama alanı migrasyon mesafesi kadar genişletilmelidir ve matematiksel olarak,

$$Z \times \tan(\Theta) \tag{3.2}$$

Z = hedef derinlik

Θ = hedef derinlikteki tabakanın eğimi,

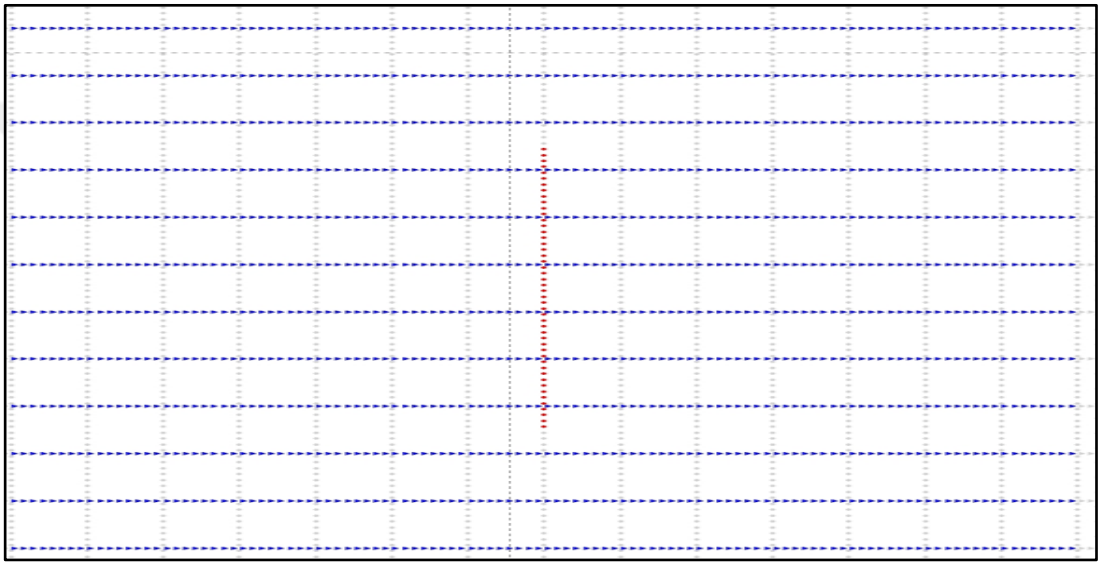
denklemi ile ifade edilir. Katlama azalımı ise, katlamanın (fold) düşmeye başladığı nokta ile katlamanın sıfır olduğu nokta arasındaki mesafe olarak adlandırılırlar (Şekil 3.4).



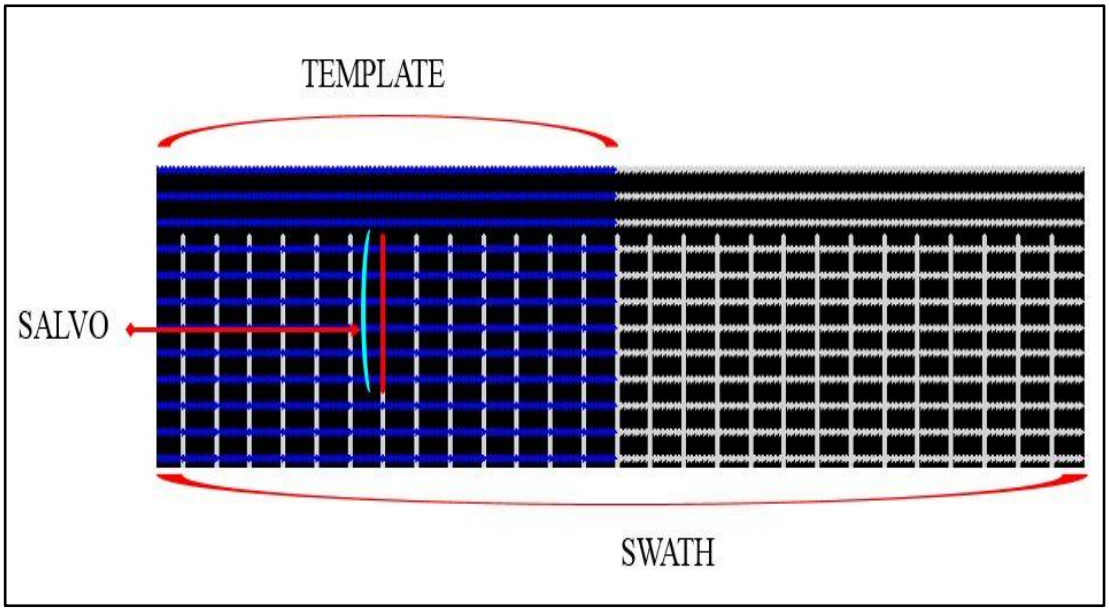
Şekil 3.4. 3B saha düzeni (TPAO)

Diğer önemli terimlerden patch, 3B kayıt almaya hazır aktif kayıt kanallarının alanı olarak tanımlanır. Patch şekli genellikle birbirine paralel alıcı hatlarının oluşturduğu dikdörtgendir (Şekil 3.5). Patch içerisinde kaydedilmiş kaynak gruplarının oluşturduğu alan "template" olarak adlandırılır.

Kaynak ve alıcı hatlarının birbirlerine dik yerleştirilmesi sonucunda kayıt esnasında "template"in ilerleyişi dikkate alınarak hareket eden alıcı hatları grubu "swath"; aktif alıcı hatlarının merkezindeki kaynakların oluşturduğu kaynak hattına ise "salvo" denilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Patch ve Template'in yeraltı kaplaması görüntüsü (TPAO)

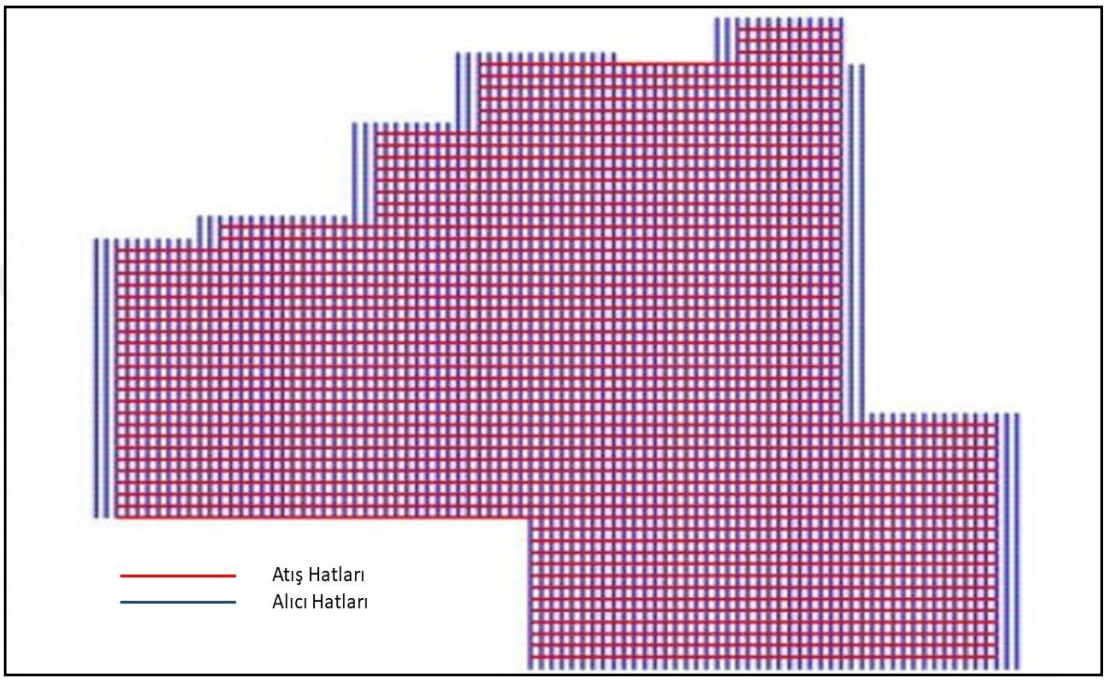


Şekil 3.6. Swath, template ve salvo şematik gösterimi (TPAO)

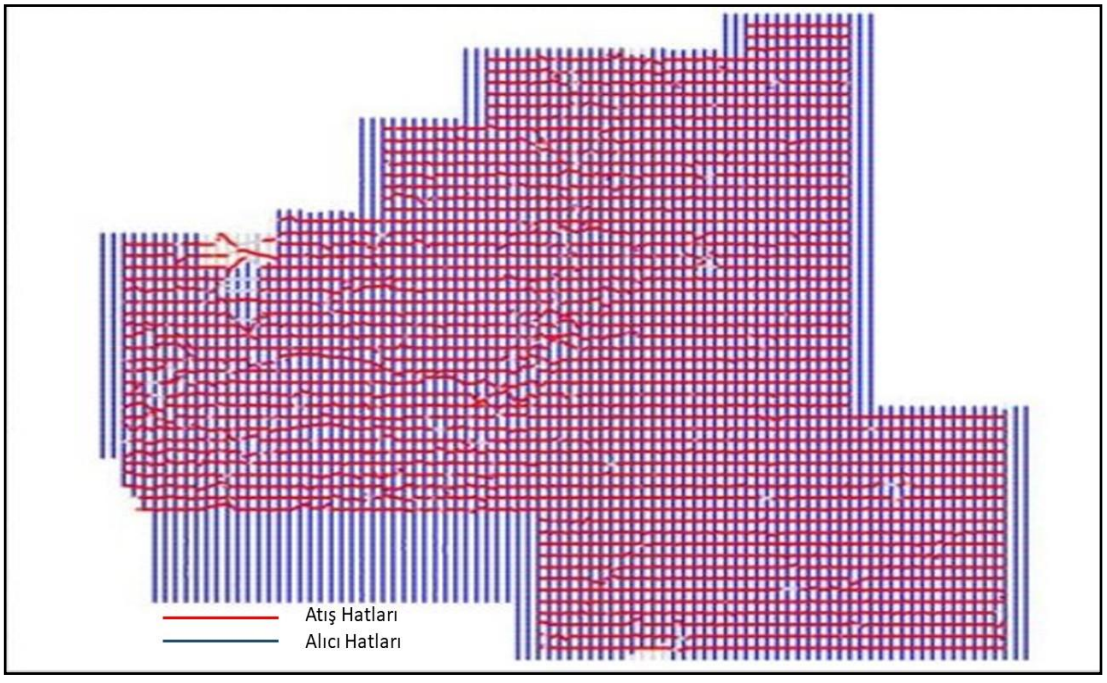
Yatay ayrımlılık, migrasyon işleminden sonra ilgilenilen hedef derinliğinden yansımış maksimum frekansa bağlıdır ve 3B için kabul edilebilir en geniş bin boyutunu belirler. Bin boyutu, Alıcı ve kaynak grup aralıklarının yarısına eşittir (Kaynak aralığı/2 x Grup aralığı/2). Bu boyut değeri hedef seviyenin genişliği, frekans katlanmasına neden olmayacak maksimum frekans ve yanal ayrımlılık gibi önemli faktörler dikkate alınarak seçilmelidir. En geniş açılım mesafesi, aranılan en derin yansıtıcı seviyesinin derinliğine bağlıdır. Sismik veri toplamada en büyük açılım bu derinlik seviyesinden daha büyük olması istenir. En büyük açılım değeri belirlenirken NMO düzeltmesi ve yansıtıcı yüzeylerin eğimleri dikkate alınmalıdır. İlgilenilen hedef seviyelerdeki jeolojik yapıların özelliklerinin belirlenmesi parametre seçiminde önemli bir yer tutar. Eğer yapı geniş bir antiklinal ise, yansımaların yanal yönde devamlılığını sağlayacak parametreler seçilmelidir. Eğer hedef seviye küçük bir faya yaslı kapan ise, bu durumda sismik yanal ayrım gücünün önemi artmaktadır. Sığ ve derin hedef seviyeleri belirlenirken beklenmeyen jeolojik seviyelerle karşılaşılır ve önceden tahmin edilen hedef seviyelerle karşılaşmama durumu ortaya çıkabilir. Fay sistemlerinin aktif olduğu ve fazla kuyu bilgisi olmayan sahalarda derin hedef seviyelerinde değişiklik olabilir. Bu durumlarda sismik çalışma öncesi sahada beklenen hedef seviyeler gözden geçirilerek parametreleri buna uygun seçmek gerekmektedir. (Sefunc, 2017). Sığ seviyeler statik düzeltme çalışmaları için oldukça önemli olup, profiller boyunca hız ve kalınlık bilgilerinin belirlenmesi gerekir. Hız ve eğim bilgilerini kuyu logları ve sismik kesitlerden elde edebiliriz. Ülkemizde yapılan hidrokarbon arama çalışmalarında ilgilenilen hedef seviyeler bölgelere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Trakya bölgesinde yapılan çalışmalar genellikle doğalgaz üzerine olduğu için hedef seviyeler sığ olmaktadır. (1 sn – 1,5 sn). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yapılan çalışmalarda ise hedef genellikle petrol üzerine olduğu için hedef seviyeler derin olmaktadır. (1,5 sn – 2,5 sn).

Bu tez çalışmasındaki sahanın sadece planlanan görselleri olup, gerçekleşen görüntüleri olmadığı için farklı bir sahaya ait örnekler kullanılmıştır. Şekil 3.7'de saha çalışmaları öncesi planlanan 3B alana ait örnek görülmektedir. Şekilde, atış hatları kırmızı, alıcı hatları ise mavi ile gösterilmiştir. 3B alanın herhangi bir köşesinden atışa başlanır ve atış hatları boyunca atışlar gerçekleştirilir. Bu arada kanal sayısına bağlı olarak kayıt alınır. Şekil 3.8'de saha çalışmaları bittikten sonraki

3B alanı görülmektedir. Şekildeki bazı noktalarda sapmalar görülmektedir. Bunun nedeni saha içerisindeki, yerleşim alanı, baraj, gölet, cezaevi vb. gibi yapılardan dolayı bazı noktalar ya ofsetli atılması ya da hiç atılamamasıdır. Bu tip sapmalar genelde alıcı noktalarında oluşmaz. Çünkü alıcıların serilmesi atışlara göre daha kolaydır.



Şekil 3.7. 3B çalışma sahasında planlanan atış ve alıcı hatları (TPAO)



Şekil 3.8. 3B çalışma sahasında gerçekleşen alıcı ve atış hatları (TPAO)

Şekil 3.9'da 3B sahada planlanan katlanma dağılımı görülmektedir. Planlanan dağılımda katlanma sayıları beklendiği gibi olur. Çünkü planlama aşamasında hangi noktaların ofsetli atılacağı veya hiç atılamayacağı henüz bilinmemektedir. Şekil 3.10'da ise çalışma sonrası elde edilen katlanma dağılımı görülmektedir. Bazı noktalarda renk değişimleri görülmektedir. Bu durum çalışma yapılırken ofsetli atılan veya hiç atılamayan noktalardan dolayı oluşmaktadır. Bu da katlanma sayısını etkilemektedir.

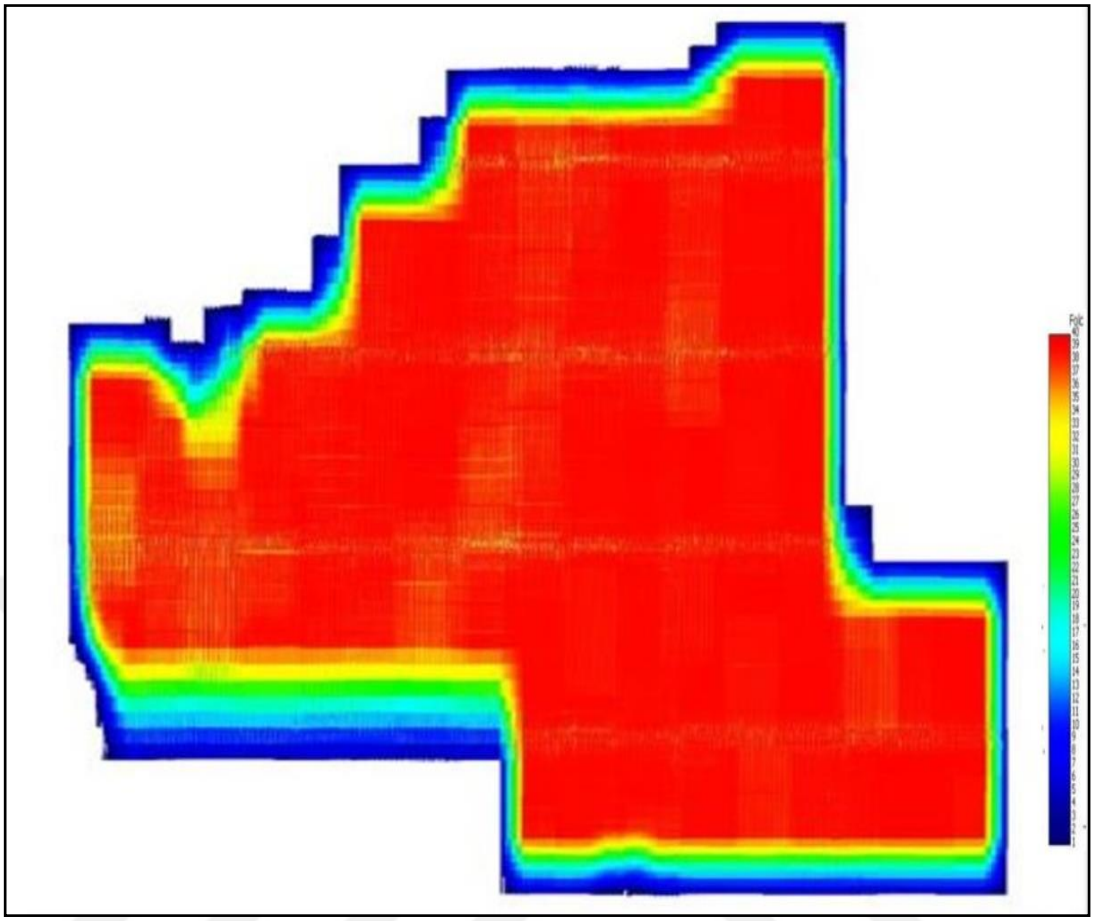
2 Boyutlu çalışmalarda hattın her iki ucuna, hatta önerilen en fazla katlama sayısının yarısı kadar atış eklenmektedir. Örneğin katlama sayısı 100 olan bir projede hattın her iki ucuna 50 adet atış eklenir. 3 Boyutlu çalışmalarda ise in-line (alıcı hattı) ve cross-line (atış hattı) azalımı olarak bilinmektedir (Denklem 3.3 ve 3.4).

$$\text{inline taper} = (\text{inline fold} \div 2 - 0{,}5) \times \text{Atış Hattı Aralığı} \quad (3.3)$$

$$\text{crossline taper} = (\text{crossline fold} \div 2 - 0{,}5) \times \text{Alıcı Hattı Aralığı} \quad (3.4)$$



Şekil 3.9. 3B sismik çalışmaların planlanan katlanma (fold) görüntüsü (TPAO)

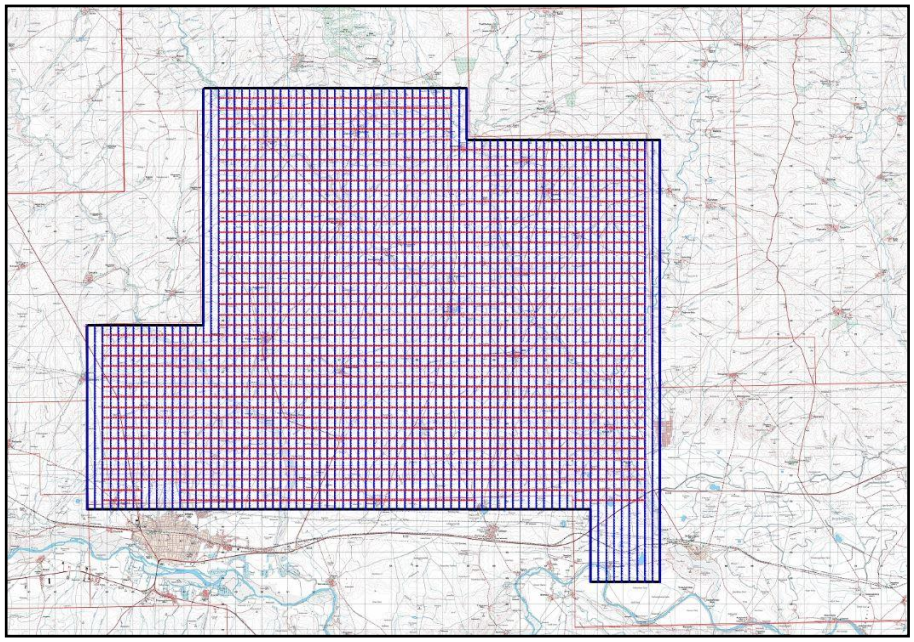


Şekil 3.10. 3B sismik çalışmaların gerçekleşen katlanma (fold) görüntüsü (TPAO)

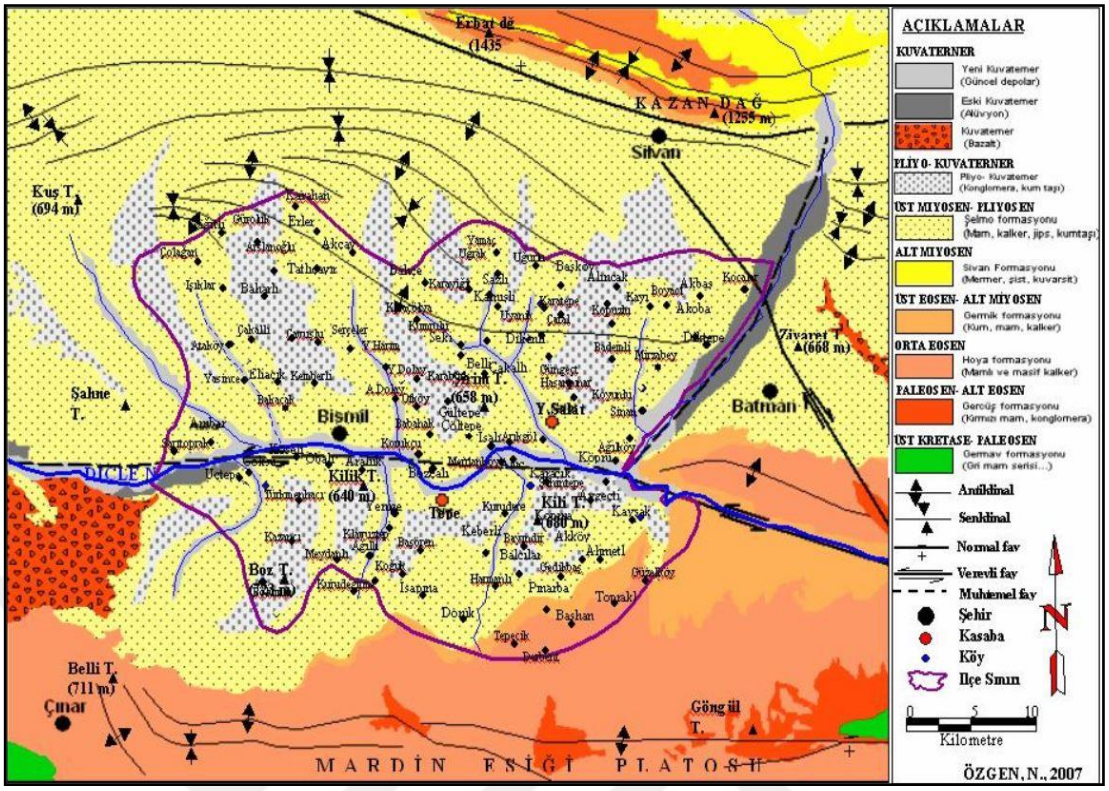
4. ARAZİDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

4.1. Sahanın Tanıtımı

3B sismik veri toplayacağımız alan Diyarbakır ili Bismil ilçesinden başlayarak kuzeyinde Diyarbakır-Silvan karayolu güneyinde Bismil-Batman karayolu kalacak şekilde planlanmış bir projedir (Şekil 4.1). Çalışma sahası genellikle tersiyer yaşlı formasyonların yayılış gösterdiği az engebeli bir topoğrafya görünümündedir. Kil, çakıl ve kum karışımından oluşan çok sert olmayan bir jeolojiye sahiptir (Şekil 4.2). Bu jeolojiye sahip alanlarda sinyalin yere iletimi daha iyi olmaktadır. Çalışmalar esnasında; kaynak olarak Türkiye Petrolleri A.O.'ya ait Sercel Marka NOMAD 65 Vibratör araçlar, Kayıt Aracında Sercel Marka 428 XL model kayıt cihazları kullanılmıştır. Çalışma sahası tarım alanlarının çok geniş olması veri toplamada çalışma performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle buğday, mısır ve pamuk gibi ekili alanların varlığı önemli bir faktördür. Sulama kanallarının fazla olması ve yüksek gerilim hattının proje içerisinden geçmesi zaman zaman veri kalitemizi etkilemiştir. Yerleşim alanlarının çok olması da gürültü oluşturarak veri kalitesinde düşüşlere neden olmuştur.



Şekil 4.1. Çalışma sahası (TPAO)



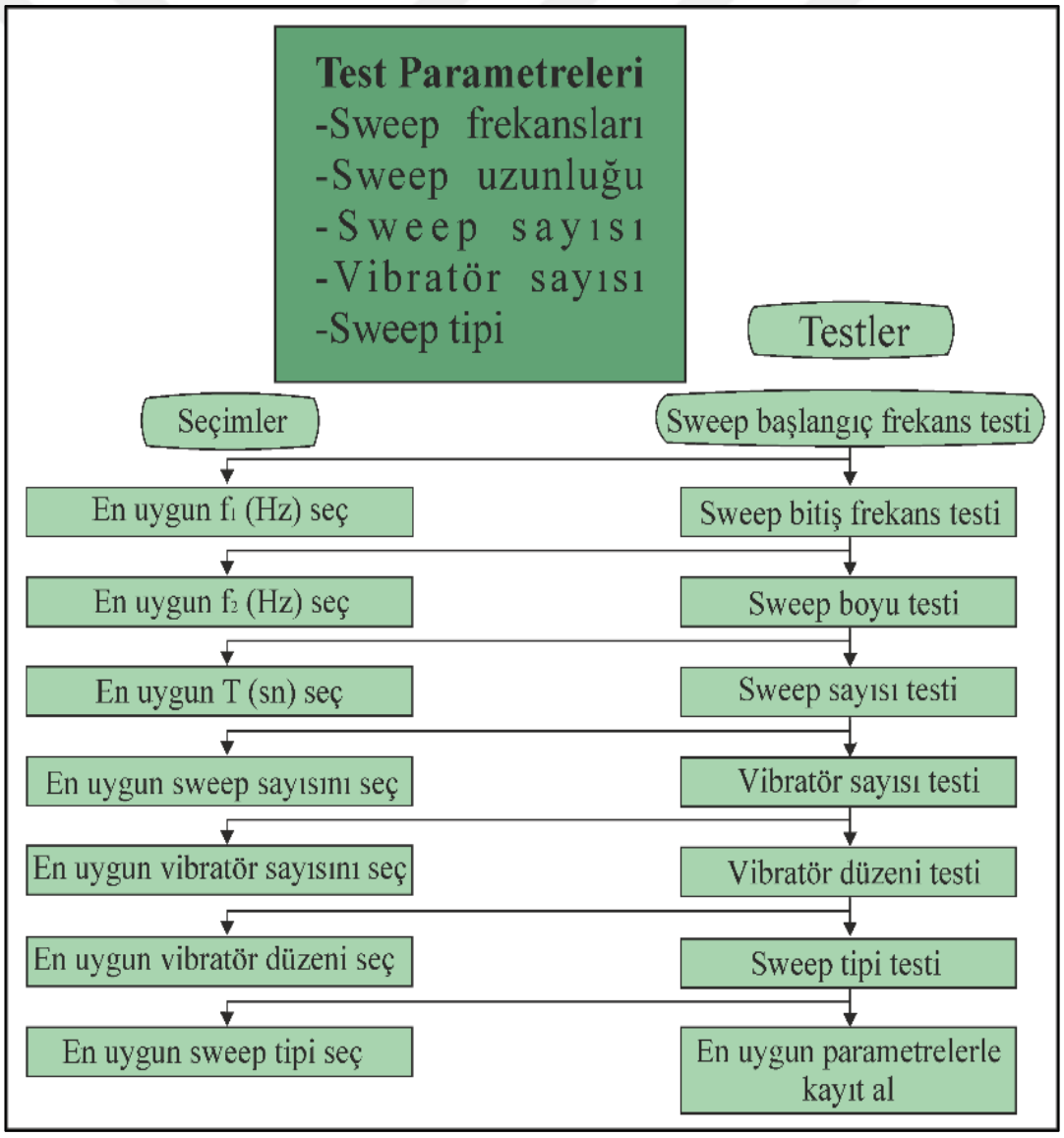
Şekil 4.2. Çalışma sahasına ait jeoloji haritası (Özgen, 2007)

4.2. Saha Test Çalışmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Vibrosismik çalışmalarında öncelik test atışları yaparak en uygun tarama (sweep) sinyali parametrelerini seçmektir. Bu parametreler tarama frekansıdır. Çalışma alanlarının jeolojik özelliklerine bağlı olarak tarama sinyalinin yayınımı ve frekanslarının derinlikle sönümlenmesi bölgeden bölgeye değişecektir. Bu nedenle çalışma sahasına en uygun ve en maliyetsiz kayıt parametrelerini belirlemek amacıyla mutlaka her sahada tarama sinyali parametreleri saha test çalışmalarının yapılması oldukça önemlidir. Testin temel amaçları, en kısa sürede en uygun Sinyal / Gürültü oranını ve hedef seviyelerden gerekli yansımaları elde edebilecek referans sinyal parametrelerini belirlemektir (Başar, 2007).

Tarama parametreleri test çalışmasına başlamadan önce Şekil 4.3'de verilen programa sunulmalıdır (Sakallıoğlu vd., 2012). Test programının her aşamasında sadece bir parametre değiştirilir ve diğer tüm tarama, vibro ve kayıt parametrelerinin sabit kalması istenir. Test çalışmasının temel amacı; en iyi S/G oranını veren, hedef seviyelerinden en iyi yansımaların kaydedilmesini sağlayan ve en ekonomik kayıt parametrelerinin çalışma sahası için belirlenmesidir (Başar, 2007). Günümüzde

kullanılan sismik kayıt sistemleri, sismik ekiplerin koşullarına göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle test çalışmasına başlamadan önce ilk olarak yapılması gereken sahadaki veri işlem sistemi ile kayıt sisteminin uyumlu olup olmadığının kontrol edilmesidir. Kaydedilen veri formatları ve format başlıklarındaki bilgilerin saha veri işlem sisteminde okunabiliyor olması gereklidir. Sahada veri işlem sistemine sahip olunması vibratör parametre testi için oldukça önemlidir ve jeofizikçiye test sonuçlarını verimli bir şekilde değerlendirme imkanı sağlayacağı gibi başka testler planlamasına da olanak sağlayacaktır. Örneğin dekonvolusyon ve band geçişli süzgeç uygulanmış atış kayıtları tarama boyu, sayısı v.b parametrelerin etkileri hakkında bilgi verecektir (Başar, 2007).



Şekil 4.3. Tarama parametrelerinin seçimi için test programı akış şeması (Sakallıoğlu vd., 2012'den uyarlanmıştır)

Saha test çalışmalarında dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir;

- Test ve kayıt parametreleri gözlemci (observer) tarafından anlaşılacak şekilde hazırlanmış olmalıdır.
- Test çalışmasına başlamadan önce, kayıt sistemi ile vibratör benzerlik testlerinin yapıldığından emin olunmalıdır.
- Kayıt sistemi ve vibratör elektroniği parametrelerinin doğru olduğundan emin olunmalı ve test için yeterli sayıda vibratör ünitesi olmalıdır.
- Kayıt kalitesi için, görüntüleme sistemleri ve parametrelerinin doğru olduğu tespit edilmelidir.
- Test kayıtları bütün aktif kayıt kanallarını içermeli ve kayıtlar iki yönlü simetrik geometri ile kaydedilmelidir.
- Test yerleri, çalışma sahasını temsil edecek, çevre gürültülerinden uzak, sismik programın ortalarına yakın ve statik probleminden en az etkilenecek, topografyası en düşük ve elektrik hattı geçmeyen açık alanlarda yapılmalıdır.
- Test kayıtları esnasında aktif kayıt kanalları içerisinde bulunan ekip araçlarının çalışmaması ve hareket halinde olmaması gerekir.
- Birinci test çalışmasından yeterli bir sonuç alınamayacağı düşünülürse, mutlaka aynı test programı başka bir yerde tekrarlanmalıdır.
- Test edilecek parametre değerlerinin birbirine yakın olmaması tavsiye edilir.
- Test kayıtları esnasında kayıt sisteminin hatasız çalıştığı ve vibratörlerin de doğru tarama sinyali ürettikleri anında kontrol edilmelidir.
- Hatalı kayıtlar değerlendirme dışında tutulmalıdır.
- Test parametreleri değerlendirilirken; ilk varışların temiz ve seçilebilir olduğu, hedef seviyelerdeki S/G oranı, verinin ayrımlılığı, yüzey ve hava dalgası gürültülerinin etkisi ve enerji seviyesi dikkate alınmalıdır.
- Parametreler mutlaka en derin hedef seviyeler ve en uzak açılımlar dikkate alınarak değerlendirilmelidir (Sakallıoğlu vd., 2012).

4.3. Sahada Tarama Parametreleri Seçimi İçin Test Programı

Bu tez çalışmasında veri toplama parametrelerinden alıcı aralığı 50 m, atış aralığı 50 m'dir. Alıcı hattı aralığı 300 m ve atış hattı aralığı 400 m'dir. Kayıt uzunluğu 5 sn, örnekleme aralığı da 2 msn olarak belirlenmiştir. Test çalışmaları yapılırken genellikle 4 vibratör sayısı kullanılmış, karşılaştırma için iki adet 2 vibratör sayılı

sonuçlarda eklenmiştir.

Sahadaki kayıt işlemlerine başlamadan önce en uygun tarama parametrelerinin belirlenmesi için Şekil 4.3'teki akış diyagramı takip edilmiştir. Bütün test aşamalarında sadece bir değişken bulunur ve diğer tüm parametrelerin mümkün olduğunca aynı olması sağlanmalıdır. Test kayıtlarına başlamadan önce vibratörler uygun düzende sahada yerleştirilirler ve test boyunca aynı yerde kalmaları sağlanır. Test süresinde Şekil 4.3'deki adımlara dikkat edilmelidir. Özellikle hidrokarbon aramalarında çoğu sahada test edilmesi gerekli olan belli başlı parametreler bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında bu parametreler aşağıda verildiği gibi seçilmiştir. Sadece vibratör dizilim testi yapılmamıştır. Çalışma sahasında daha önce yapılan 1x4 doğrusal vibratör dizini seçilerek diğer tüm parametreler test edilmiştir.

4.3.1. Tarama başlangıç frekansı testi

En uygun tarama başlangıç frekansı seçilerek takip eden test için kullanılmalıdır. Bu çalışmada en uygun başlangıç frekansı 10 Hz seçilmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Tarama başlangıç frekansı testi

Frekans	Tarama boyu	Tipi	Tarama Sayısı
8 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama

4.3.2. Tarama bitiş frekansı testi

En uygun bitiş frekansı seçilerek takip eden test için kullanılmalıdır. Bu çalışmada en uygun bitiş frekansı 72 Hz seçilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Tarama bitiş frekansı testi

Frekans	Tarama boyu	Tipi	Tarama Sayısı
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 80 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 88 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 96 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama

4.3.3. Tarama uzunluğu testi

En uygun tarama boyu seçilerek takip eden test için kullanılmalıdır. Bu çalışmada en uygun tarama boyu 8 s olarak seçilmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Tarama uzunluğu testi

Frekans	Tarama boyu	Tipi	Tarama Sayısı
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 72 Hz	10 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 72 Hz	12 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 72 Hz	16 s	Doğrusal	4 tarama

4.3.4. Tarama sayısı testi

En uygun tarama sayısı seçilerek takip eden test için kullanılmalıdır. Bu çalışmada en uygun tarama sayısı 4 tarama olarak seçilmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Tarama sayısı testi

Frekans	Tarama boyu	Tipi	Tarama Sayısı
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	1 tarama
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	2 tarama
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	6 tarama
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	8 tarama

4.3.5. Vibratör sayısı testi

En uygun vibro sayısı seçilerek takip eden test için kullanılmalıdır. Bu çalışmada en uygun vibro sayısı 4 vibro olarak seçilmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Vibratör sayısı testi

Frekans	Tarama boyu	Tipi	Tarama Sayısı	Vibro Sayısı
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama	2 Vibro
10 – 80 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama	4 Vibro

4.3.6. Vibratör dizilim testi

Dizin seçiminde çalışma sahasının yüzey şartları, yol geçiş durumu ve lojistiği dikkate alınmalıdır. Bu çalışma sahasında daha önce yapılan en uygun dizilim düzeninin kullanılması tercih edilmiş, 1x4 doğrusal vibro düzeni uygulanmıştır.

4.3.7. Tarama tipi testi

En uygun tarama boyu seçilerek takip eden test için kullanılmalıdır. Bu çalışmada en uygun tarama boyu 8 s olarak seçilmiştir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6.Tarama tipi testi

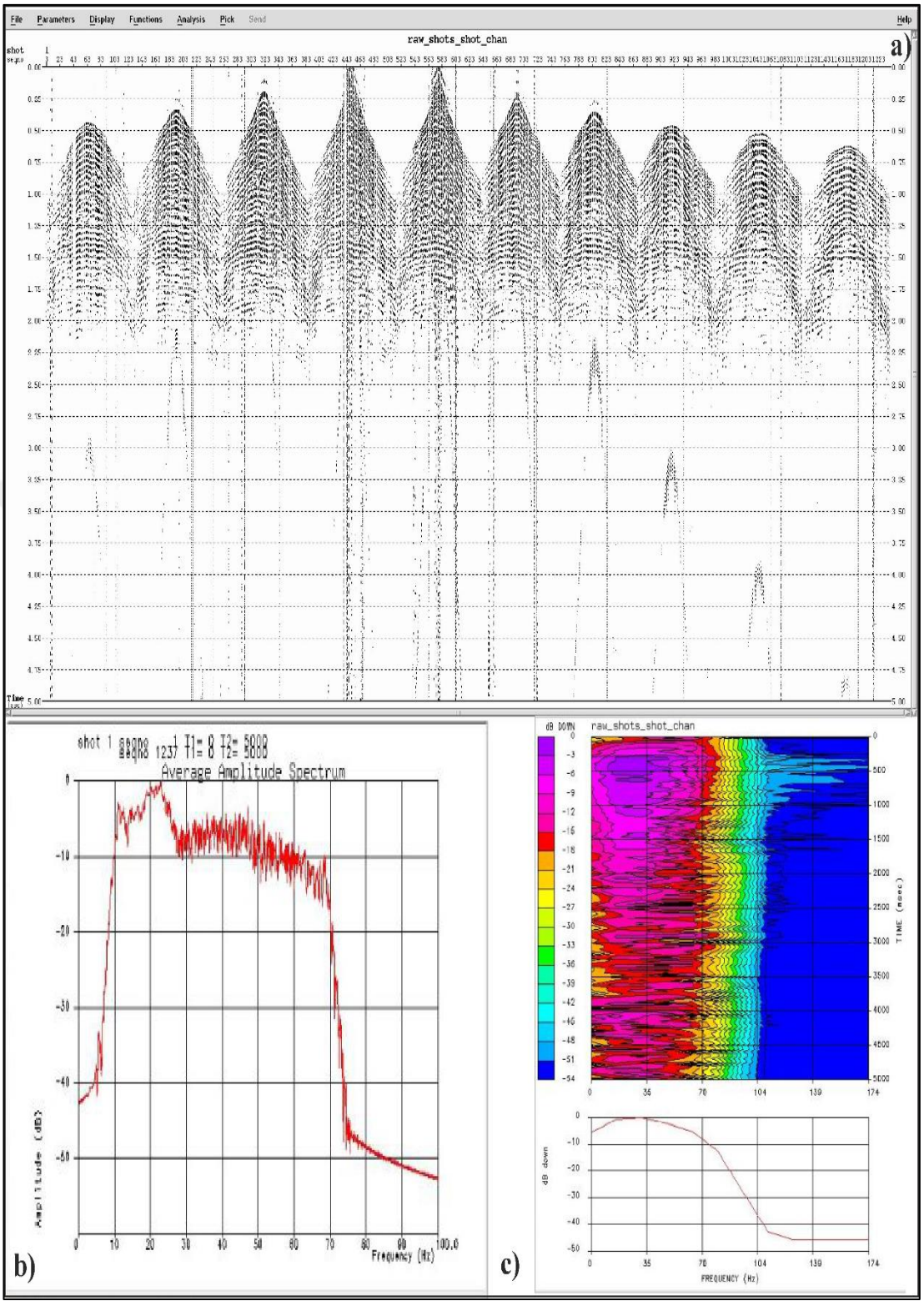
Frekans	Tarama boyu	Tipi	Tarama Sayısı	Vibro Sayısı
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal	4 tarama	4 Vibro
10 – 72 Hz	8 s	Doğrusal Olmayan	4 tarama	4 Vibro

En sondaki test ile çalışma için en uygun tarama tipi doğrusal tarama olarak seçilmiştir. Bu çalışma için 10-72 Hz frekanslı, 8 s tarama boylu, doğrusal, 4 tarama ve 4 vibro sayılı parametreler en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bütün parametrelerin testlerine ait sonuçlar Bölüm 5.4'de verilmiştir.

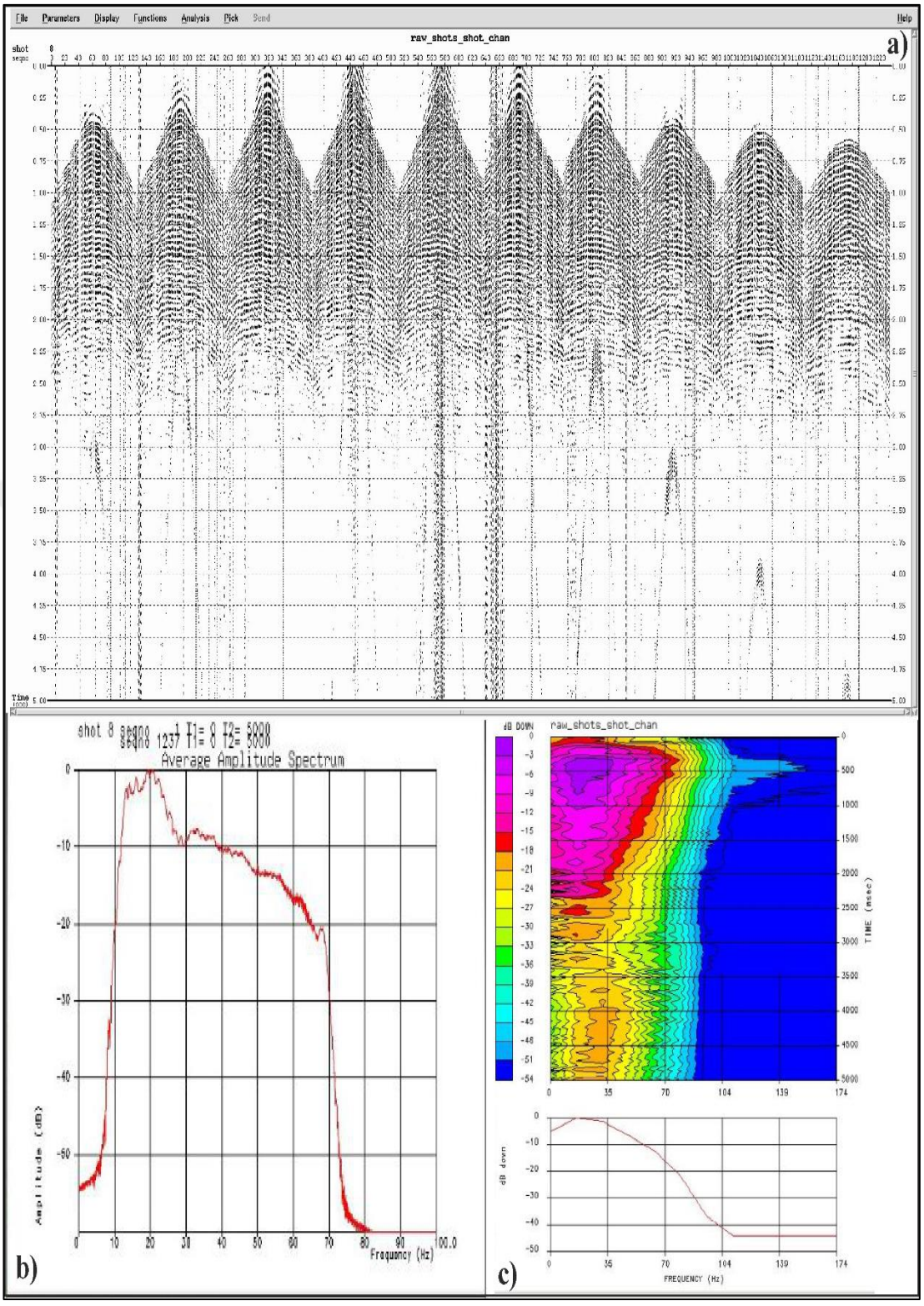
4.4. Tarama Parametreleri Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.4.1. Tarama başlangıç frekansı testi

Tarama başlangıç frekansı testi 8 Hz (Şekil 4.4) ve 10 Hz (Şekil 4.5) frekansları için test edilmiştir. Tarama sinyalinin bitiş frekansı 72 Hz olarak sabit tutulmuştur. 10 Hz kaydında düşük frekanslı yüzey dalgalarının genliklerinin daha az olduğu görülmüştür. 8 Hz frekansında genlik bozulması görülürken, 10 Hz frekansında derinlere daha fazla enerji yaydığı ve daha doğru bilgiler sağlayacağı düşünülerek tercih edilmiştir.



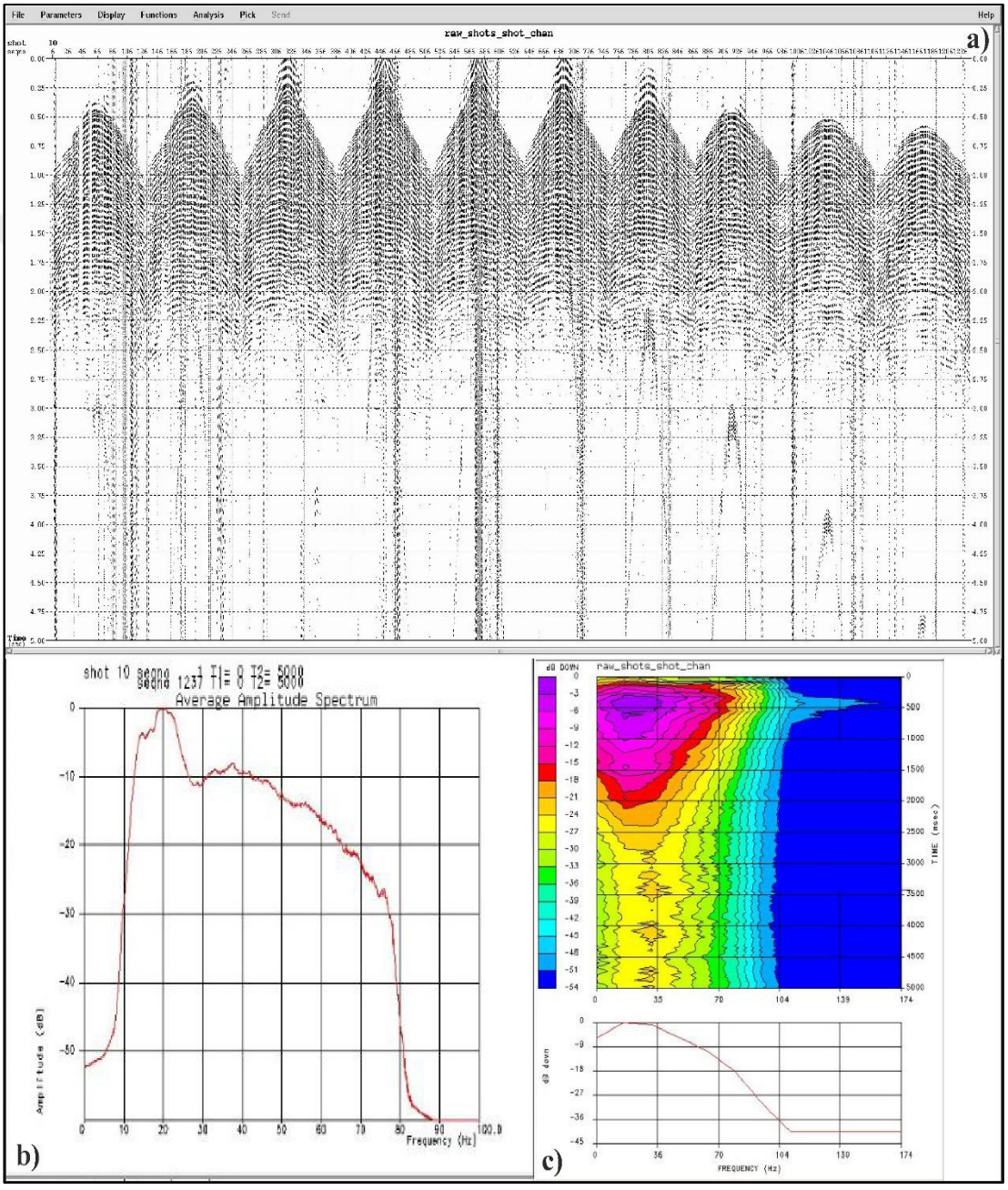
Şekil 4.4. Linear sweep 8-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



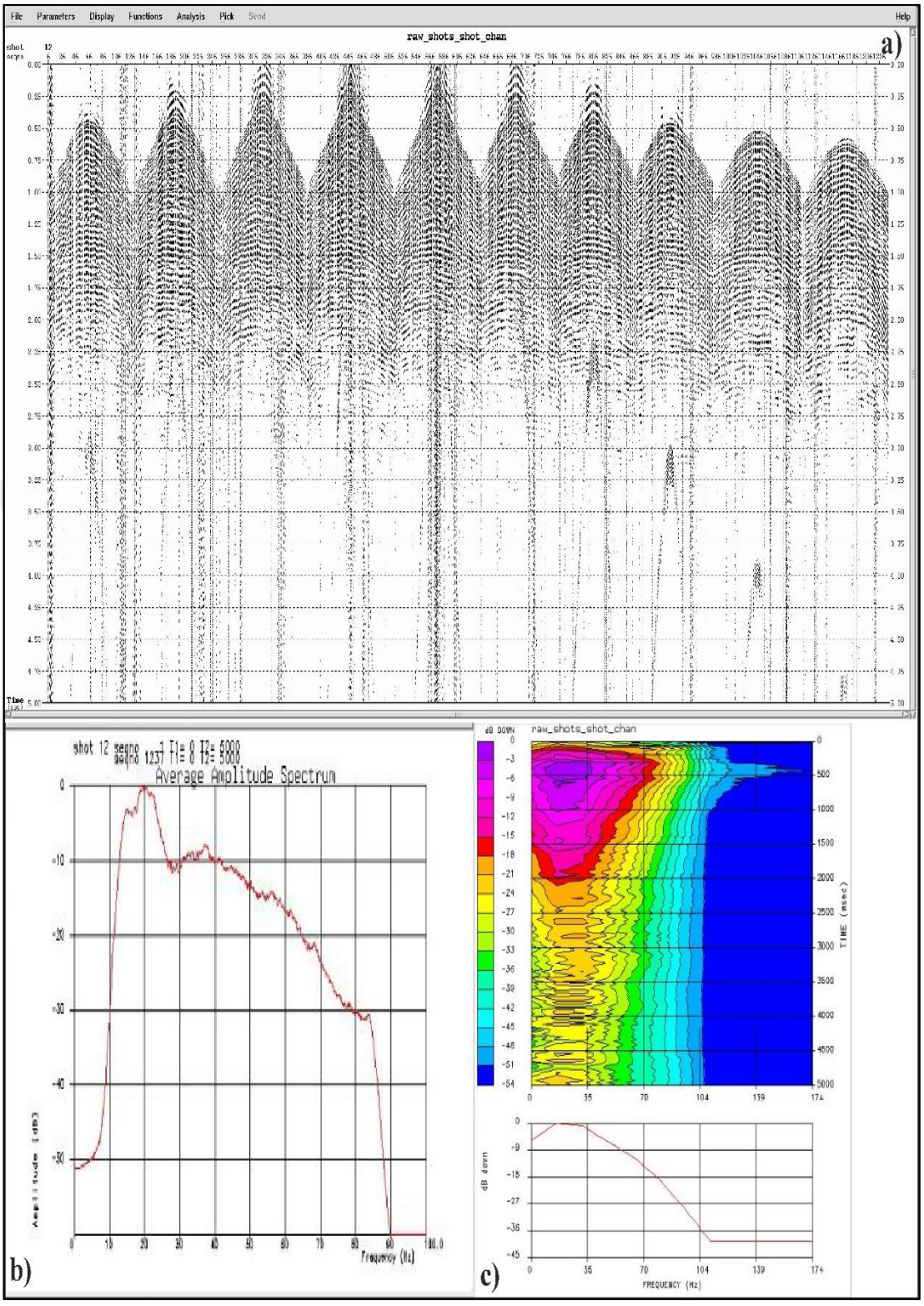
Şekil 4.5. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği

4.4.2. Tarama bitiş frekansı testi

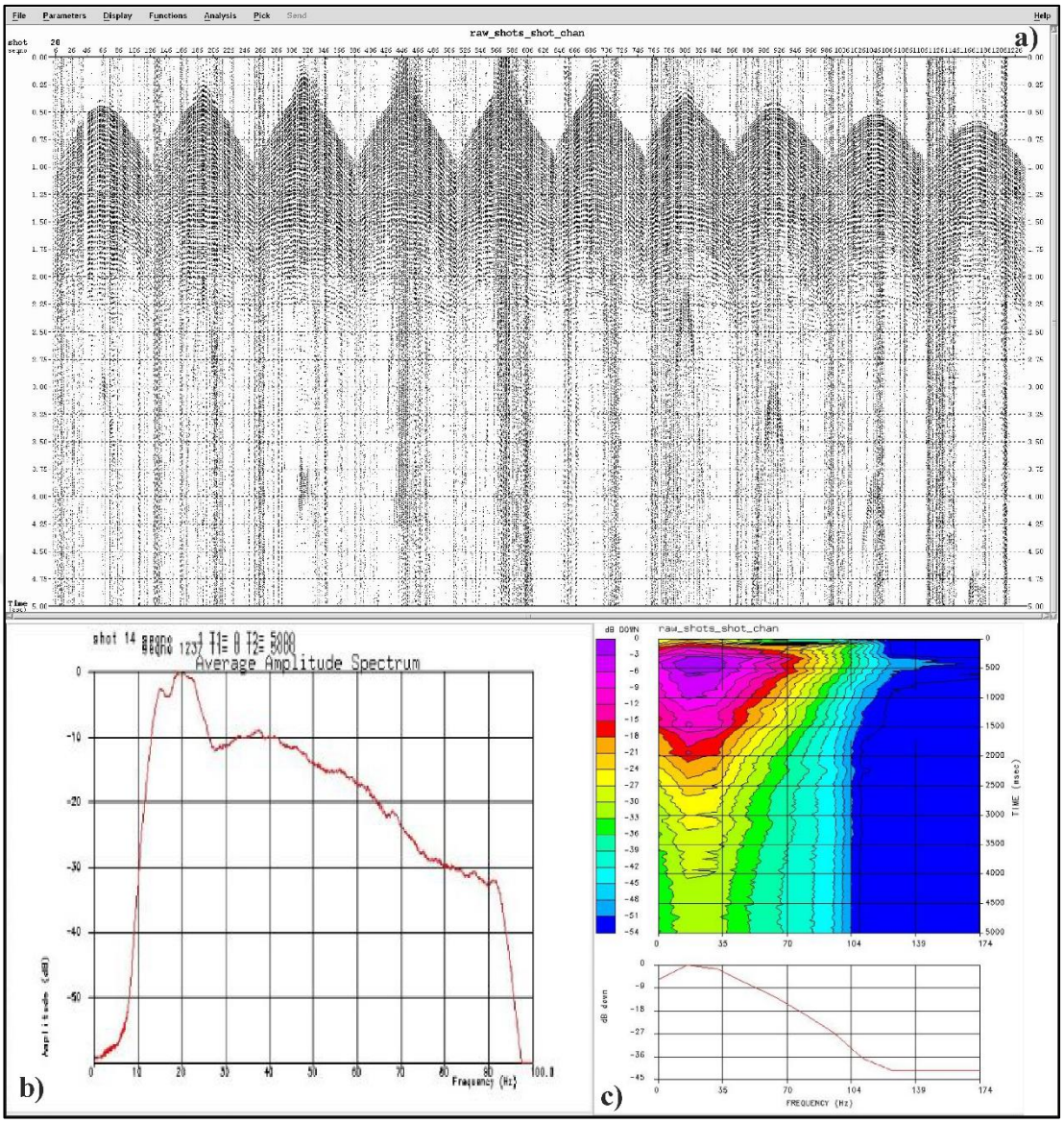
Tarama bitiş frekansı testi 72, 80, 88 ve 96 Hz değerleri için yapılmıştır. En uygun sonucun Şekil 4.5'te gösterilen 72 Hz olduğuna karar verilmiştir. 80 Hz sonucu Şekil 4.6'da, 88 Hz Şekil 4.7'de ve 96 Hz Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekillerde ham saha kayıtları, frekans spektrumları ve frekans-dB spektrumları eklenmiştir.



Şekil 4.6. Linear sweep 10-80 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



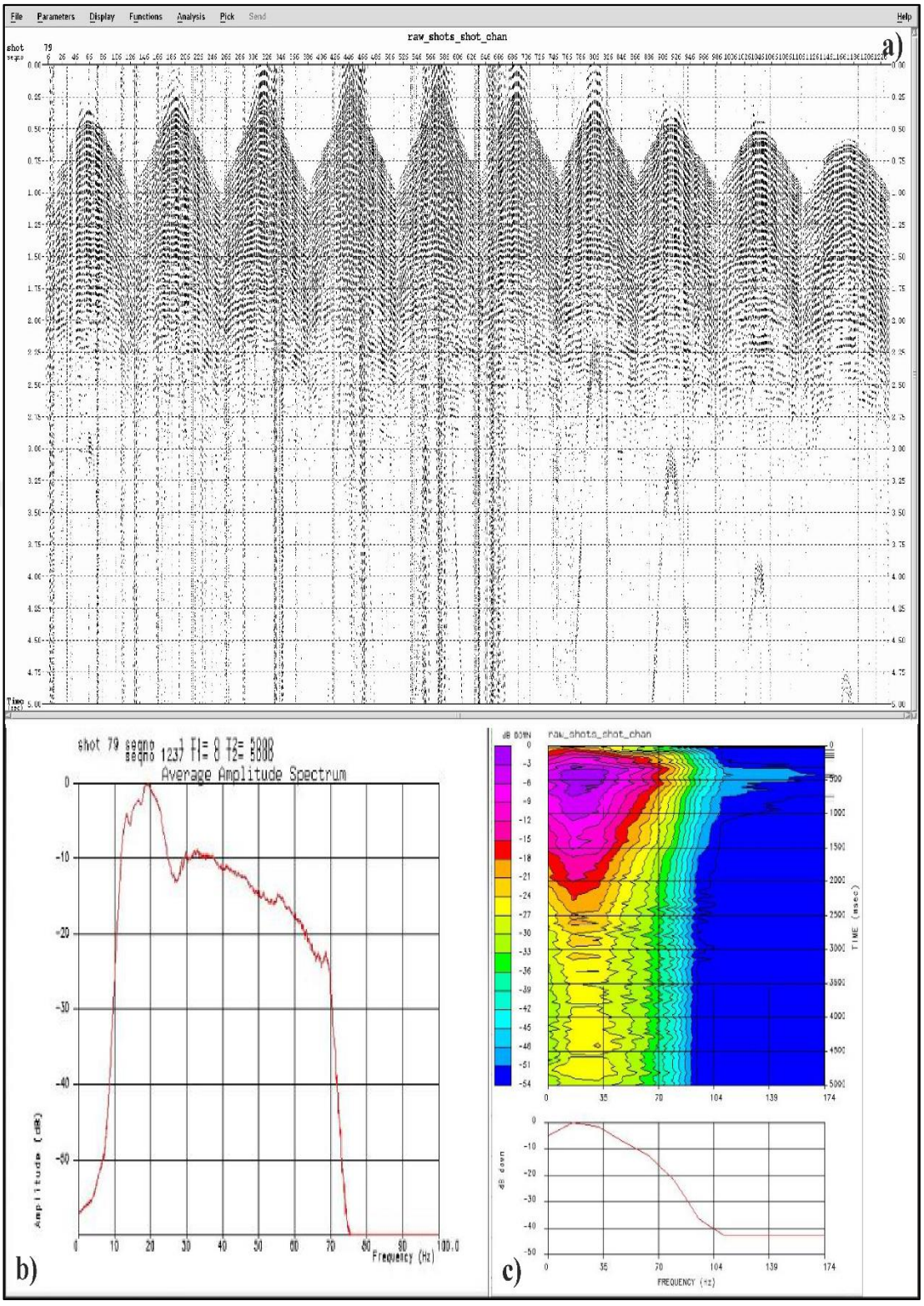
Şekil 4.7. Linear sweep 10-88 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



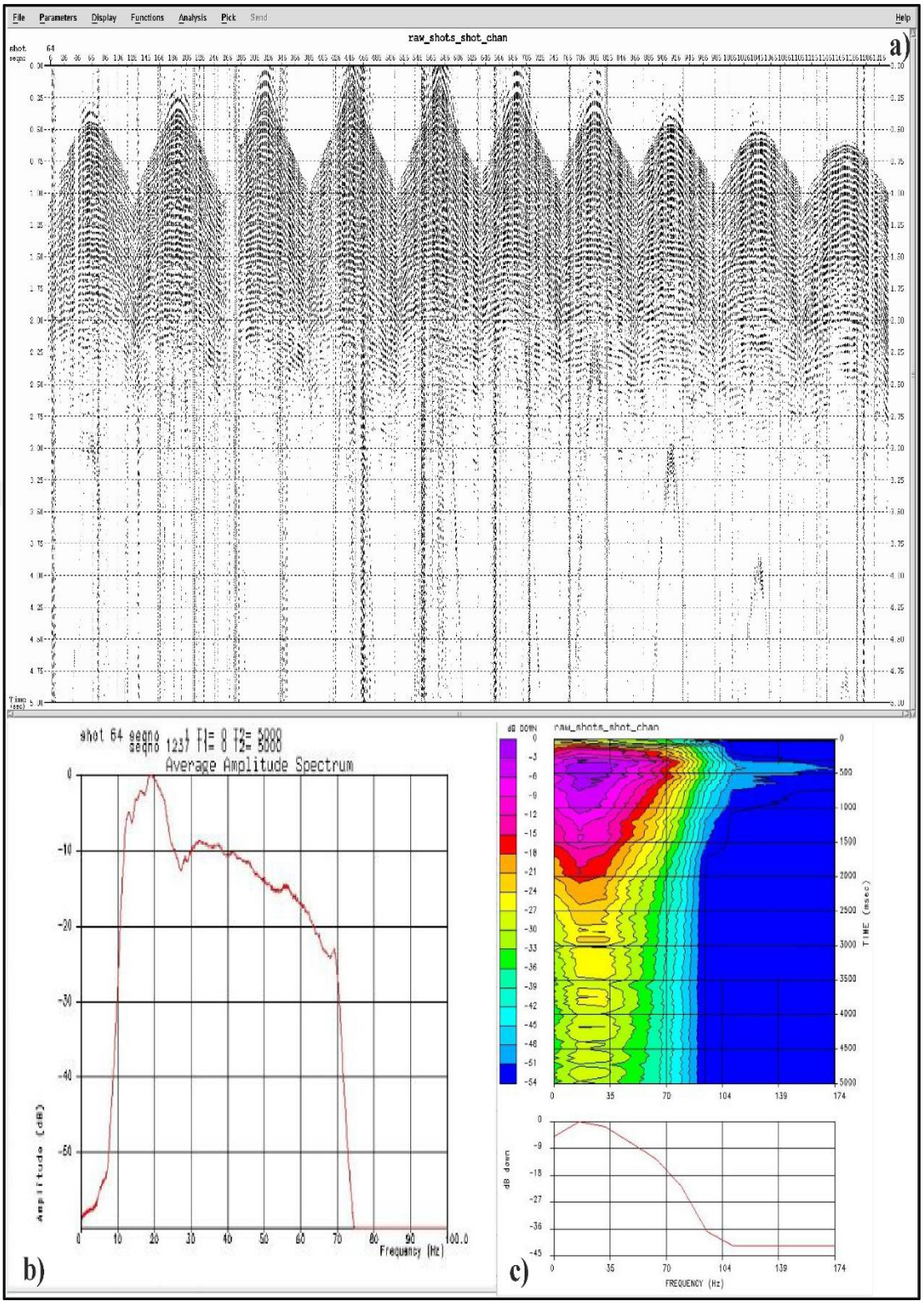
Şekil 4.8. Linear sweep 10-96 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği

4.4.3. Tarama uzunluğu testi

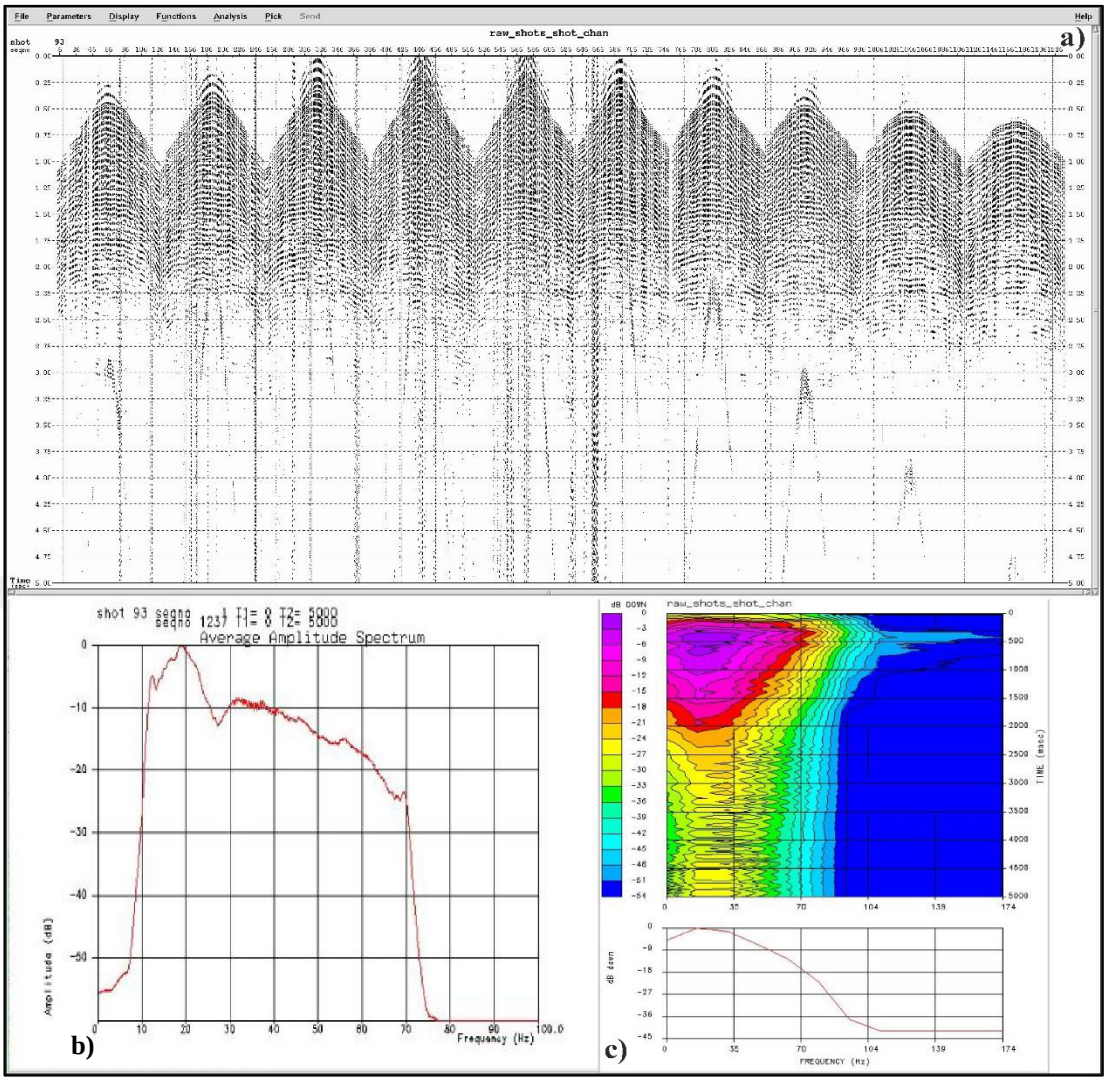
Tarama uzunluğu testi 8, 10, 12 ve 16 saniyeler için yapılmıştır. En uygun tarama uzunluğu çalışma sahası için 8 saniye olarak belirlenmiştir. 8 saniye tarama uzunluğu Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.9'da 10 saniye, Şekil 4.10'da 12 saniye ve Şekil 4.11'de 16 saniye tarama uzunlukları için sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.9. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 10 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



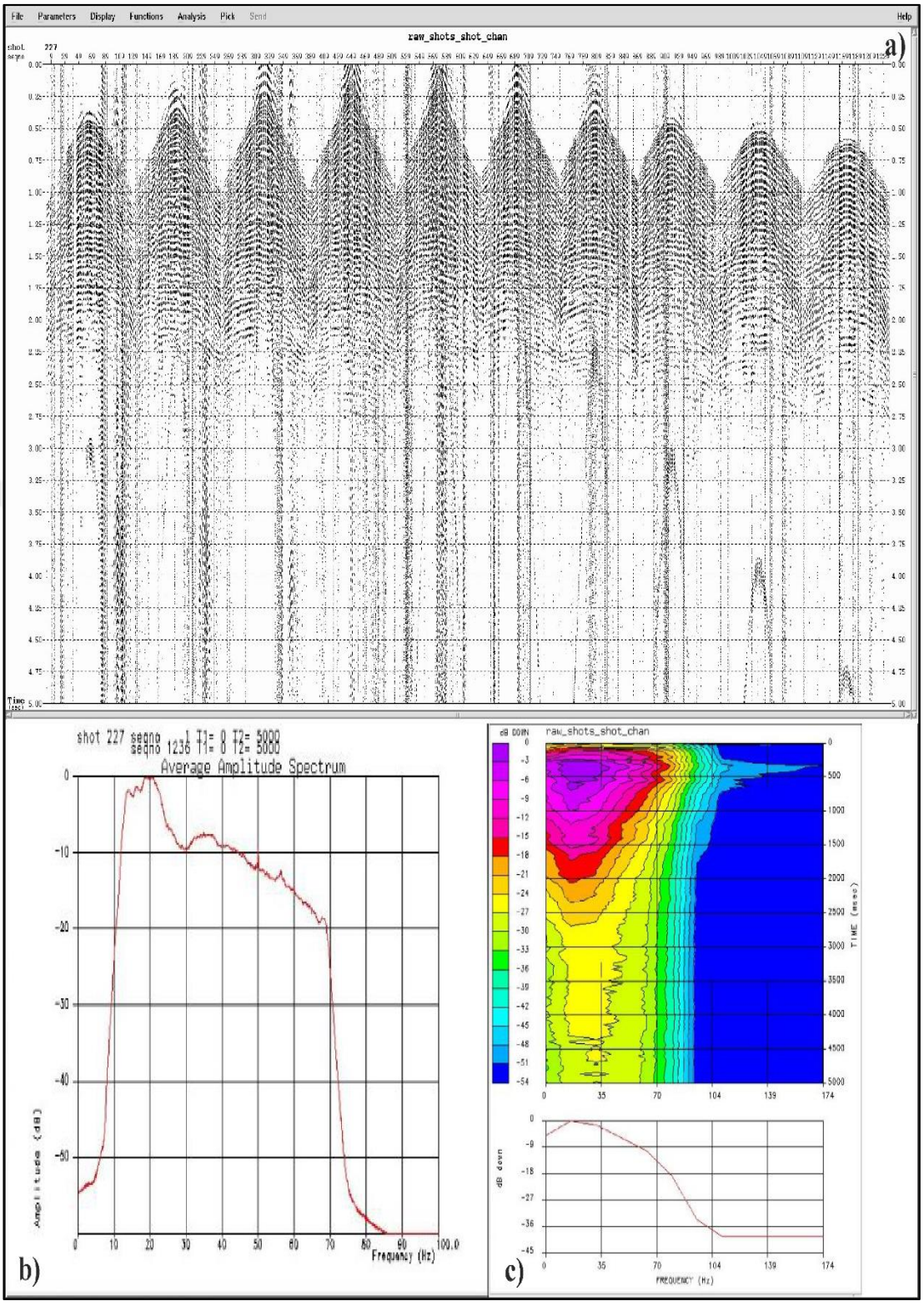
Şekil 4.10. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 12 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



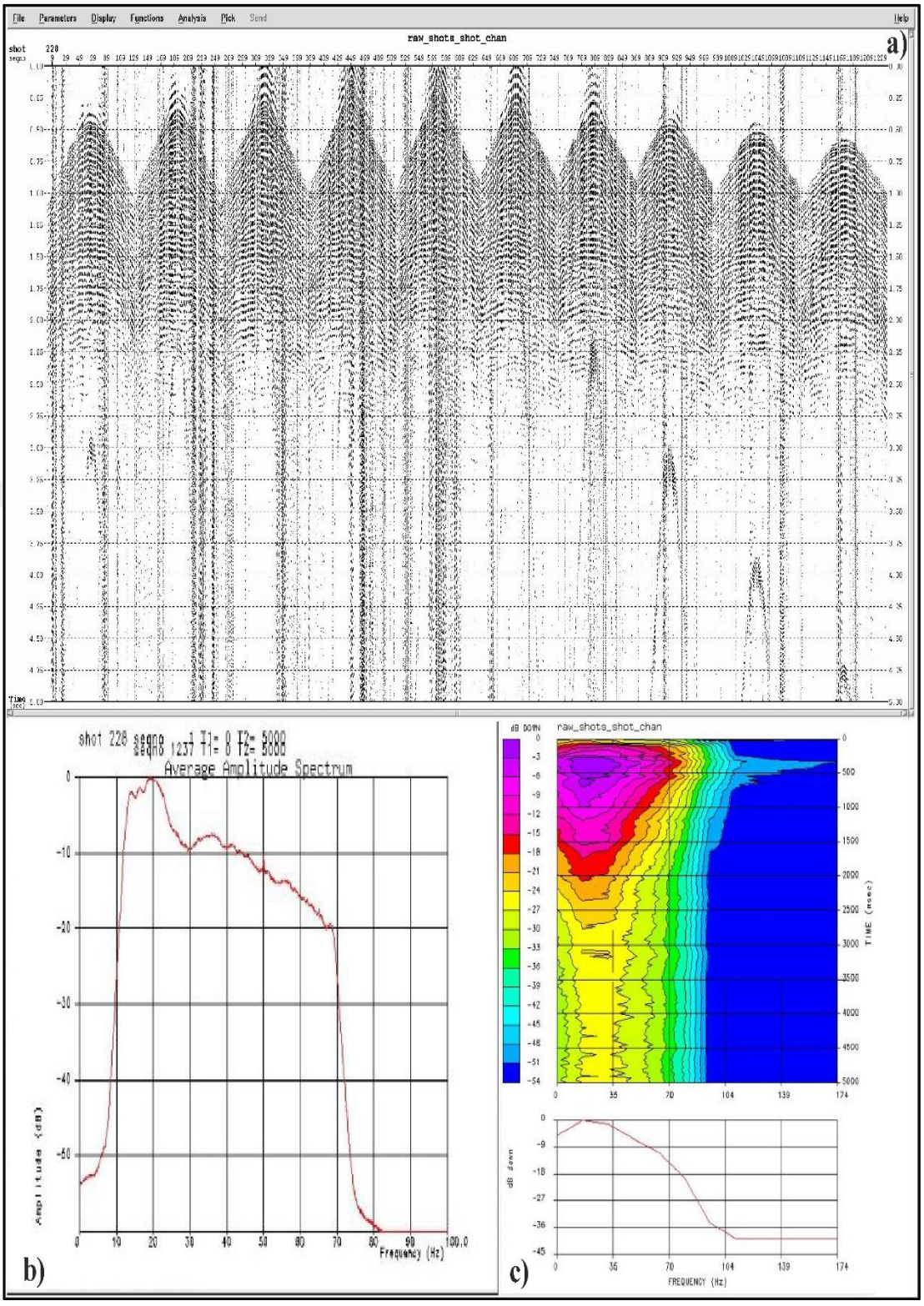
Şekil 4.11. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 16 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği

4.4.4. Tarama sayısı testi

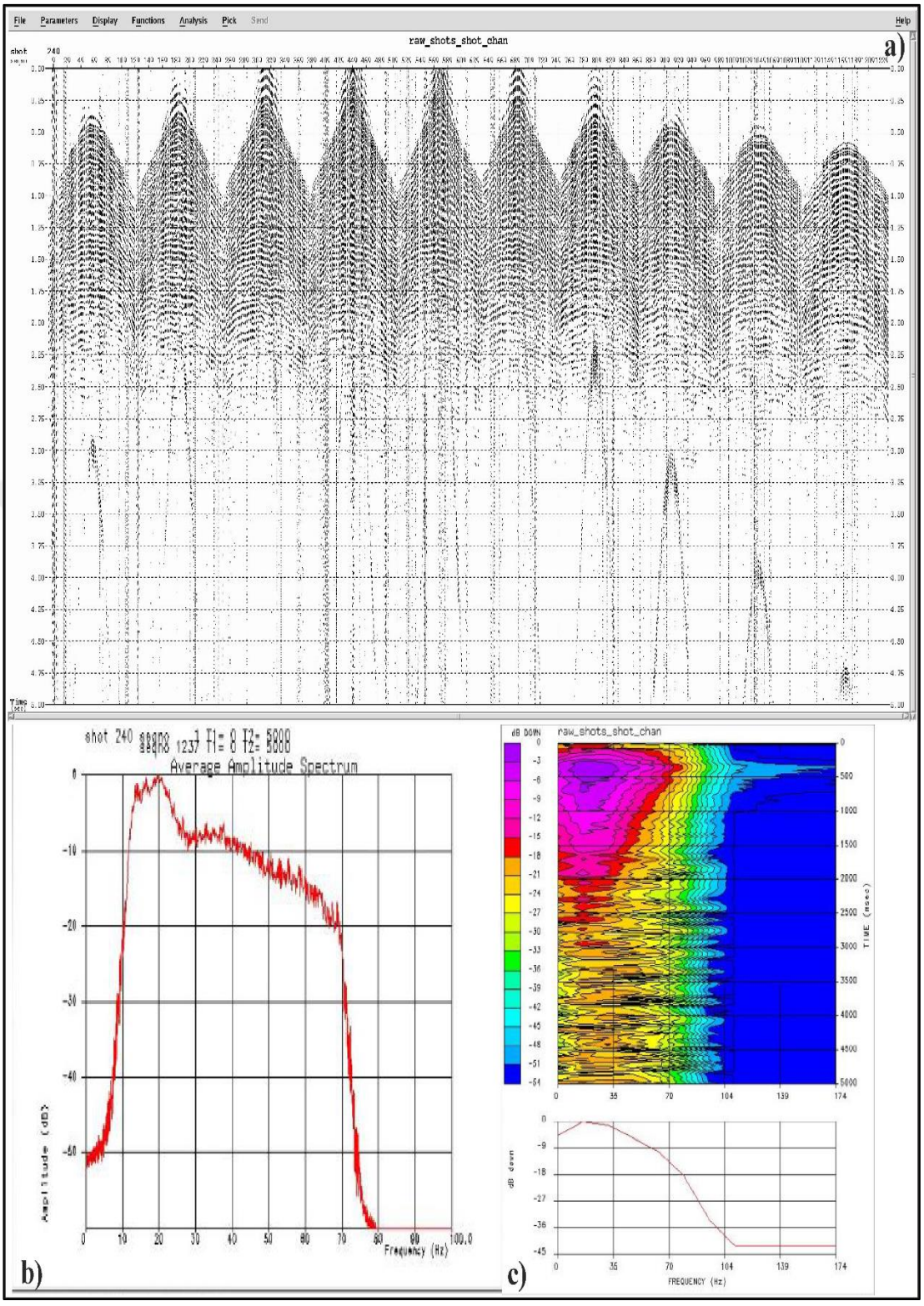
Tarama sayısı 1, 2, 4, 6, 8 ve 12 tarama için test edilmiştir. Şekil 4.5'te gösterilen 4 tarama sayılı kayıt en uygun test sonucu olarak seçilmiştir. Şekil 4.12'de 1 tarama, Şekil 4.13'de 2 tarama, Şekil 4.5'te 4 tarama, Şekil 4.14'de 6 tarama, Şekil 4.15'te 8 tarama ve Şekil 4.16'da 12 tarama sayısı sonuçları da gösterilmiştir. Tarama sayısı arttıkça yüksek frekanslardaki sönümleme de artmıştır. Bu yüzden S/G oranı yüksek olan sahalarda bir kaynak noktası için birden fazla sweep uygulamak hem ekonomik olmayacak hem de önemli bir katkı sağlamayacaktır (Sakallıoğlu vd., 2012). Bu nedenle en uygun olan 4 sweep değerinden daha fazla sayıda sweep kullanılması tercih edilmemiştir.



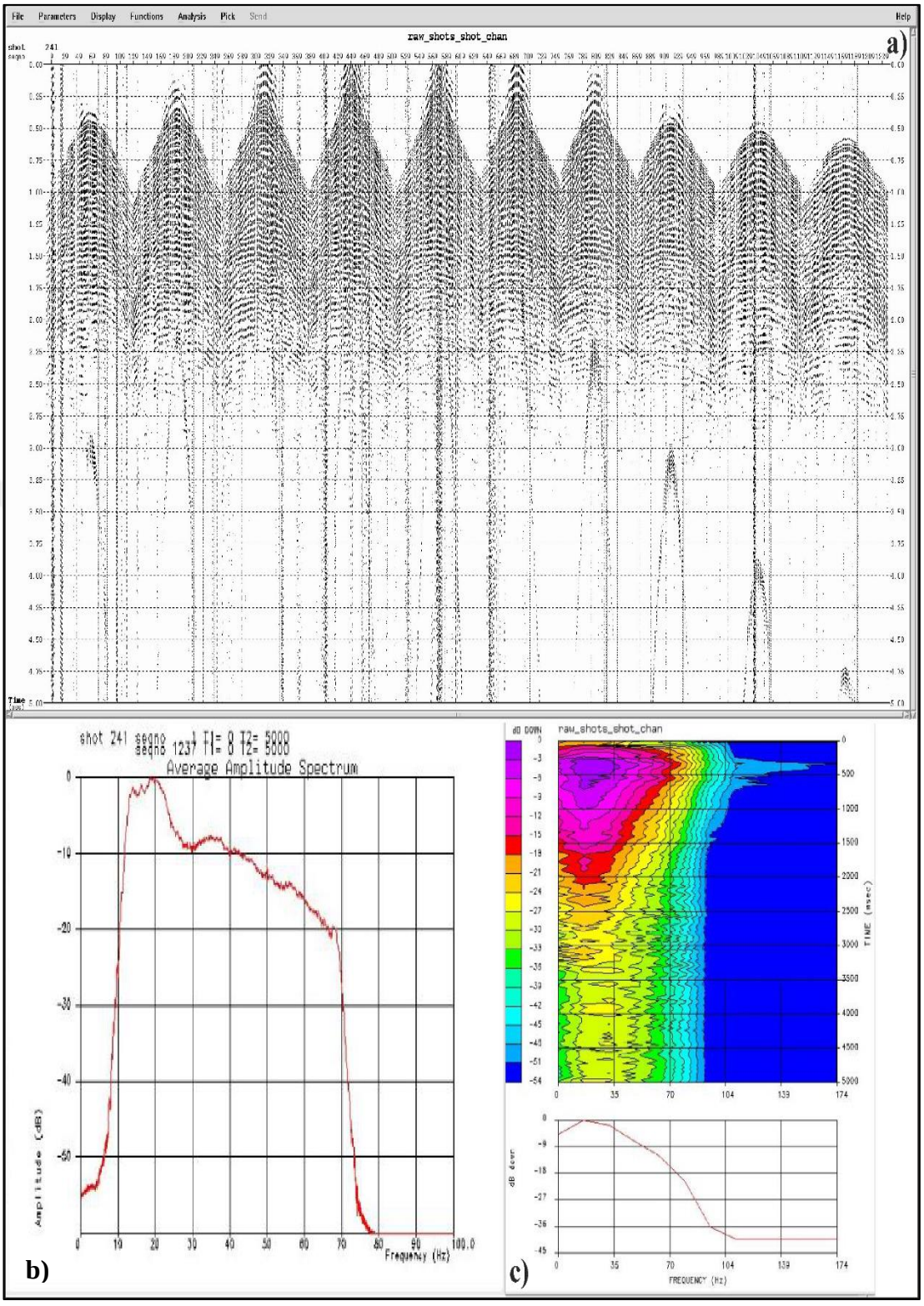
Şekil 4.12. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 1 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



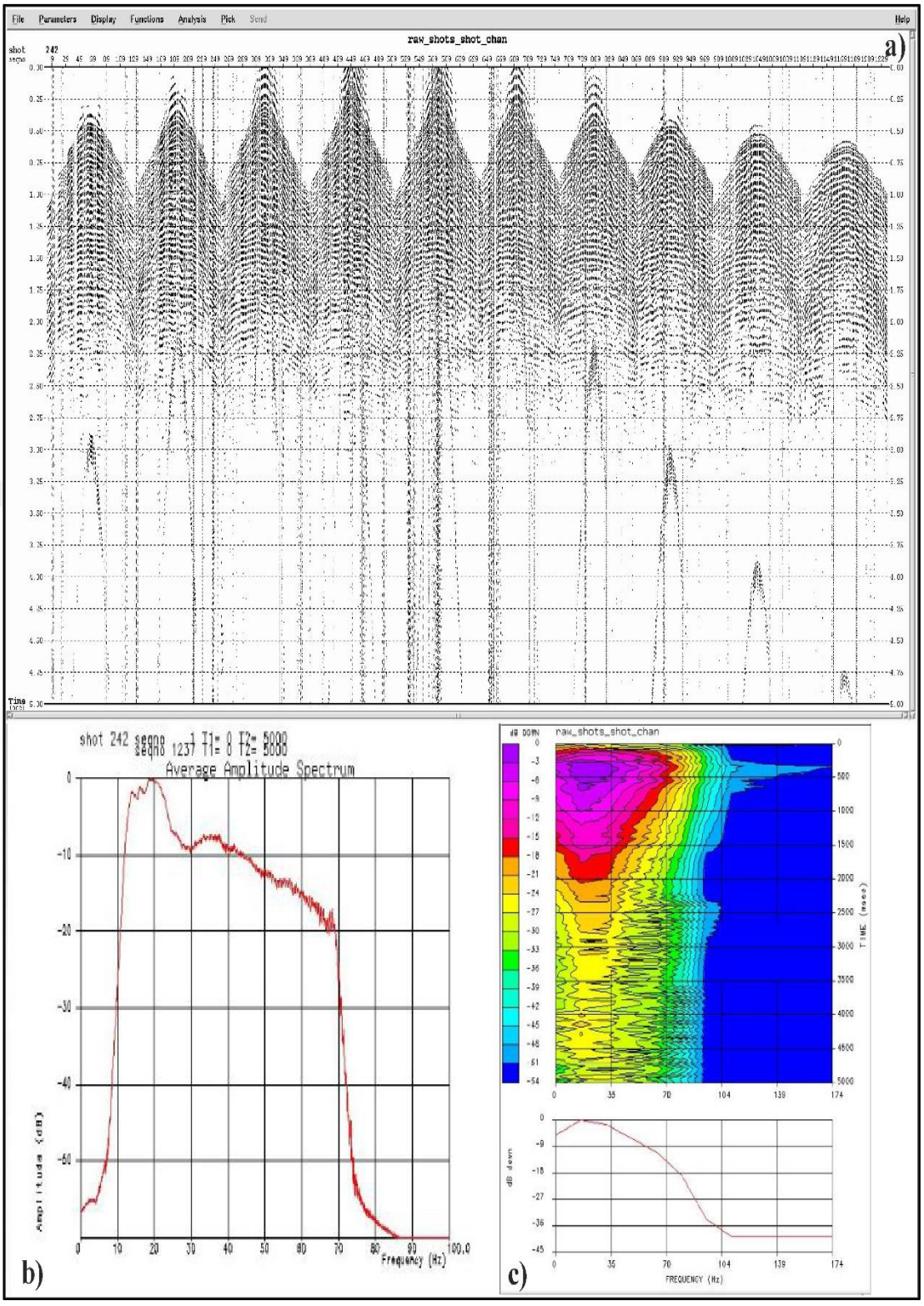
Şekil 4.13. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 2 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



Şekil 4.14. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 6 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



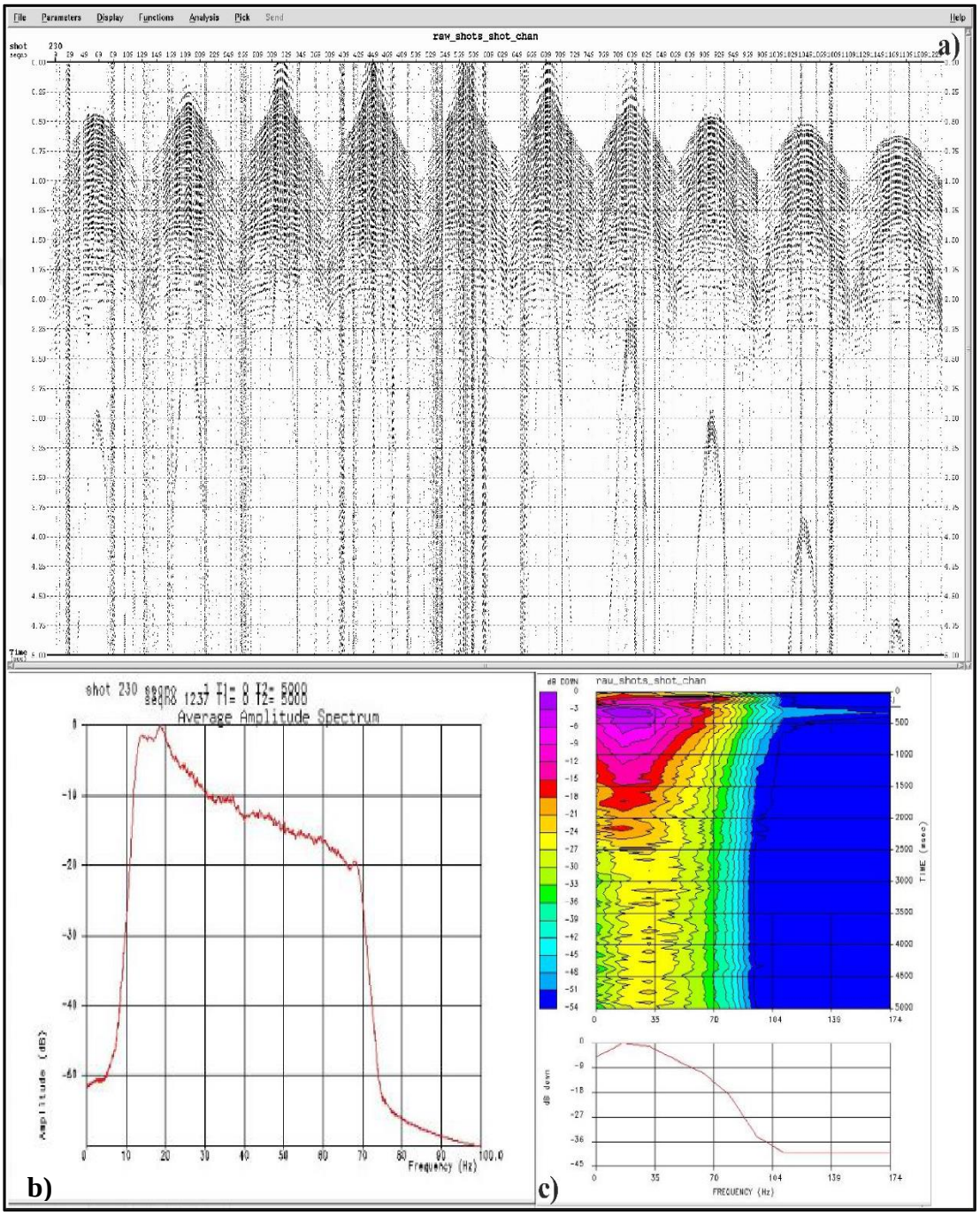
Şekil 4.15. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 8 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği



Şekil 4.16. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 12 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği

4.4.5. Vibratör sayısı testi

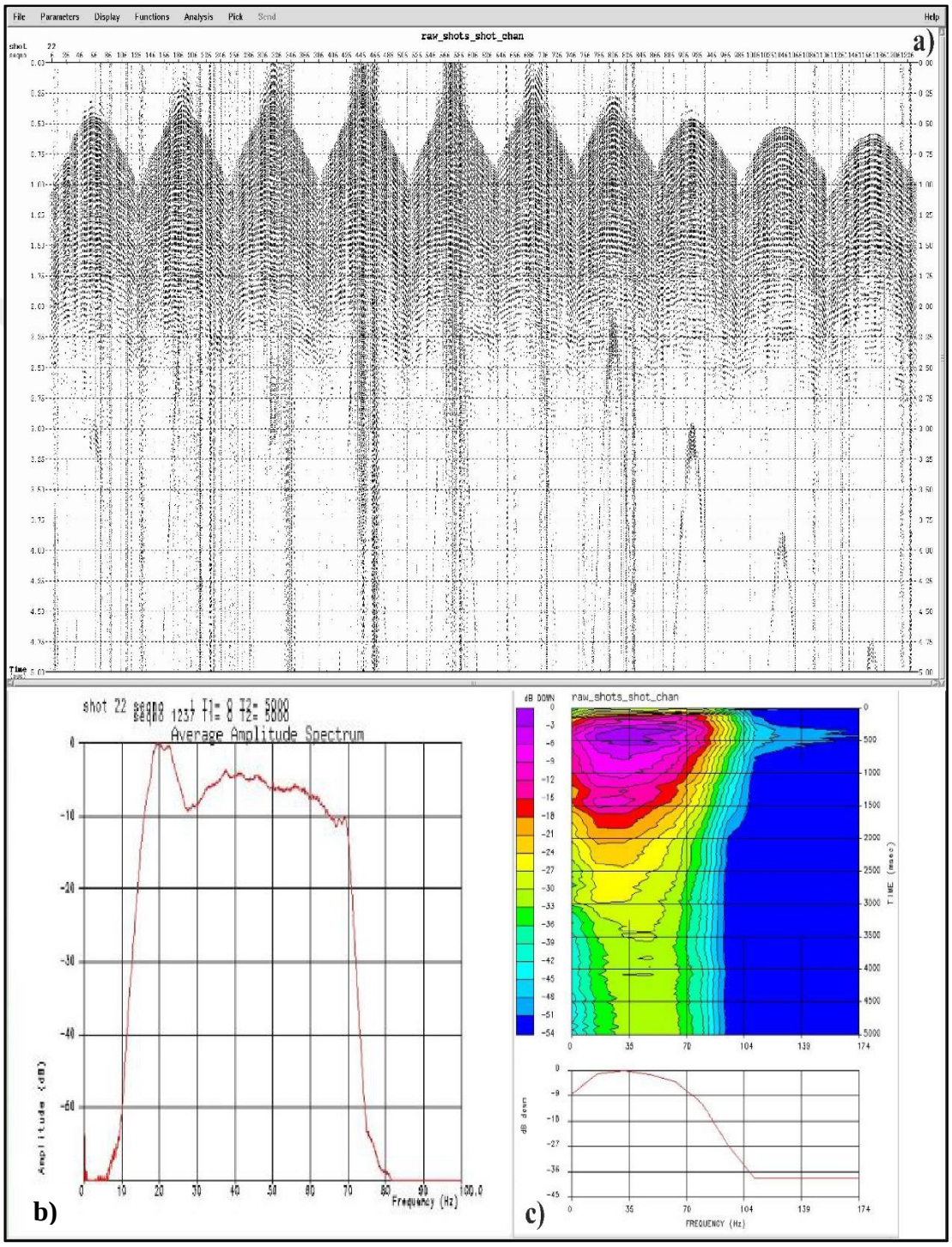
Vibratör sayısı 2 ve 4 vibro olacak şekilde test edilmiştir. 2 vibro sayılı test sonucu Şekil 4.17'de verilmiştir. En uygun parametre ise yine Şekil 4.5'te gösterilen 4 vibro sayılı olan seçilmiştir.



Şekil 4.17. Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 2 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği

4.4.6. Tarama tipi testi

Tarama tipi testi doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitlerine uygulanmıştır. Doğrusal olmayan tarama tipi sonucu Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Non-Linear sweep 10-72 Hz sweep uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 sweep a) Ham veri b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tarama parametreleri test kayıtlarının analizinde ham saha verileri karşılaştırılmıştır. Sonrasında kayıtların genlik-frekans spektrum analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada daha çok hedef seviyeler dikkate alınarak, vibratör enerjisinin hedef seviyelerde yayınımı, gerekli frekansların korunumu, yüksek S/G oranının elde edilmesi dikkate alınmıştır. Her ne kadar bu parametreler sahadan sahaya farklılıklar gösterse de, vibrosismiğin kuralları gereği kabul görmüş pratik yaklaşımlar ve sorun giderme yöntemleri aynı olmaktadır. Vibrosismik yöntemi kullanılarak toplanan veriler üzerinde kaynak parametrelerinin seçimi frekans bandı, tarama (sweep) sayısı, tarama türü ve tarama uzunluğu gibi faktörler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Aktif kanal sayımızın en yüksek olduğu bir bölgede aynı nokta üzerinde farklı test parametreleri ile atış yapılmıştır. Hedef derinliğimize uygun olacak frekans band aralıklarını belirleyerek çalışmalara başlanmıştır. Bu frekans band aralıklarına göre diğer parametreler belirlenmiştir. Örneğin, tarama uzunluğuna karar verebilmek adına, diğer parametreler sabit kalması koşuluyla 8-10-12-16 saniye tarama uzunluğuyla testler yapılmıştır. Daha sonra tarama sayısı ve tarama türünü belirlemek adına da testler yapılmıştır. Bu amaçla parametre test çalışmamızda frekans spektrumları üzerinde Sinyal/Gürültü oranı en uygun parametre kaynak parametremiz olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada, hedef derinliğimize uygun olacak 14 adet parametre test atışı yapılmıştır. Her bir atıştan elde edilen veriye ait ham veri kayıtları, frekans spektrumları incelenmiştir. Tarama sinyalinin bitiş frekansı daha önce bölgede yapılan çalışmalar da incelenerek 72 Hz olarak belirlenip, 8 ve 10 Hz başlangıç frekansları test edilmiştir. Hedef derinliklerinde yansımaların daha iyi gözlemlendiğini ve amplitüt-frekans grafiğinde Sinyal/Gürültü oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenlerle 10 Hz frekansının sonucu en uygun frekans olarak seçilmiştir. 10 Hz değeri sabit tutularak 72, 80, 88 ve 96 Hz bitiş frekanslarının testi yapılmıştır. Bitiş frekansı 80 Hz üzerinde data kalitesinde bozulmalar görülmüştür. Frekans bandı olarak 72-80 bandı arasının uygun olduğu

gözlemlenmiştir. Saha kayıtları ve spektrum analizlerinden 10-72 Hz sinyal bandında en faydalı bilgilerin elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Çalışma sahası için 8, 10, 12 ve 16 saniye uzunlukları test edilmiştir. Tarama uzunluğu 8 saniye ve üzerinde taramaların Sinyal/Gürültü oranı daha yüksek gözlemlenmiştir. 8 saniye tarama boyu daha ekonomik olacağı için bu tarama boyu çalışmada tercih edilmiştir.

Tarama sinyali frekansı 10-72 Hz, uzunluğu 8 saniye seçilmiş ve bir atış noktası için 1, 2, 4, 6, 8 ve 12 tarama sayıları test edilmiştir. Saha kayıtları arasında 4 tarama sayısından sonra çok az farklılıklar gözlenmiştir. Tarama sayısı 4 veya 8 olduğunda Sinyal/Gürültü oranının iyi sonuç verdiği ve 4 tarama kaydının yeterli ve ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır. Çalışma sahası için vibratör sayısı testinde 4 vibro ile enerji iletiminin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmalarda 4 vibro kullanımı uygun bulunmuştur. Dizin testinde test yapılmamış olup, çalışma sahasında daha önce yapılan dizilim düzeninin kullanılması tercih edilmiş, 1x4 doğrusal vibro düzeni uygulanmıştır.

Doğrusal (linear) tarama atışlarda düşük frekanslarda dalga boyu daha az sönümlendiği bilindiği için, doğrusal ve doğrusal olmayan (non-linear) atış kayıtlarına bakıldığında doğrusal tarama atışların daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Doğrusal tarama verisinde yüksek frekansların daha çok sönümlendiği gözlenirken, doğrusal olmayan tarama verisinde yüksek frekanslı verilerin genliklerinin daha iyi korunduğu görülmüştür. Ancak doğrusal tarama kaydının derin seviyelerine daha fazla enerji yayıldığı gözlenmiştir. Yapılan test atışları sonucunda kaynak parametreleri 10-72 Hz Frekans Bandı, 8 saniye tarama (sweep) uzunluğu, 4 vibratör, 4 tarama ve doğrusal (linear) tarama olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda çalışmalara başlanmış ve test çalışmaları sonlanmıştır.

KAYNAKLAR

Anstey N.A., *Vibroseis*, Prentice Hall, New Jersey, 1991.

Başar H.S., Vibrosismik Yöntem ve Yüksek Güvenilirlikli, Ayrımlılıklı Vibrosismik Veri Toplama, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 213711.

Crawford J.M., Doty W.E.N., and Lee M.R., Continuous signal seismograph, *Geophysics*, 1960, **25**, 95 - 105.

Goupilland P.L., Signal design in the vibroseis technique geophysics, *Geophysics*, 1976, **49** (06), 1291-1304.

Kara V., *Elastik Dalga Teorisi ve Sismik Yansıma Yönteminin Temel İlkeleri*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, 2010.

Kurtuluş C., *Sismik Arama Teori ve Uygulama*, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, İzmit, 2002.

Küçük Z., İki Boyutlu ve Üç Boyutlu Sismik Veri Toplama ve Test Atışlarının Önemi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006, 182942.

Özgen N., Bismil İlçesinin Coğrafyası, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2007, 218182.

Sakallıoğlu Y., Güreli O., Başar H.S., *Vibrosismik*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, 2012.

Sefunç A., *Petrol Aramacılığında Sismik Yoruma Giriş*, Petrol Jeofizikçileri Derneği, Ankara 2017.

Sheriff R.E., *Encyclopedic dictionary of exploration geophycics*, Society of Exploration Geophysicists, USA, 2002.

URL-1: http://archives.aapg.org/slide_resources/schroeder/6/index.cfm, (Ziyaret tarihi: 29 Ekim 2018).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Toksoy A.Y., Diyarbakır Sahasında Hidrokarbon Araştırmasında Üç Boyutlu Vibrosismik Yöntemi ile Veri Toplama ve Kaynak Parametresinin Seçimi, *Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi*, 2018, **17** (2), 173-191.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Sakarya Üniversite Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2010 yılından beri Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Daire Başkanlığı Jeofizik Operasyonlar Müdürlüğü'nde kara ve deniz alanlarında gerçekleştirilen sismik veri toplama çalışmalarında görev almaktadır. Evlidir.