ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK SİSMİK YANSIMA VERİLERİNDE GAZ BİRİKİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Avni Ozan BALTA

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2018

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Avni Ozan BALTA tarafından hazırlanan "**Stockwell Dönüşümü Kullanılarak Sismik Yansıma Verilerinde Gaz Birikimlerinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması **22/05/2018** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR
Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Ertan PEKŞEN
Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR
Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. İrfan Akça
Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak velirttiğimi beyan ederim.

22/05/2018



Avni Ozan BALTA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK SİSMİK YANSIMA VERİLERİNDE GAZ BİRİKİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Avni Ozan BALTA

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR

Bu çalışma, sismik yansıma yönteminde zaman–frekans Dönüşümünün önemi ve ne tür yöntemlerle yapılabileceğini anlatmak için hazırlanmıştır. Zaman-frekans ayrışımı ile bir verinin frekans içeriklerine göre genlik veya zamana göre frekans değerlerinin ne tür dağılımlara sahip olduğu bulunabilir. Bulunan veriler zaman-frekans ayrışım haritası olarak veya zaman-genlik grafiği olarak görüntülenip yorumlanabilir. Bu çalışmada Stockwell Dönüşümü kullanılarak sismik yansıma kesitleri analiz edilmiş ve gaz birikimlerinin yerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonunda elde edilen anomali sonuçları Stockwell Dönüşümü ile gaz birikimlerinin belirlenebileceğini göstermektedir.

Mayıs 2018, 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: zaman-frekans Dönüşümü, dalgacık, Fourier, Stockwell, sismik, yansıma

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION of GAS ACCUMULATION in SEISMIC REFLECTION DATA USING STOCKWELL TRANSFORM

Avni Ozan BALTA

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR

This project was prepared to explain importance of time-frequency conversion in seismic reflection method and what kind of methods can be used. It is possible to find out what kind of distributions have amplitudes according to frequency or frequency according to the time interval of the data with Time-frequency decomposition. The data can be displayed as a time-frequency separation map or as a time amplitude graph. In this study, Seismic Reflection Sections were analyzed and tried to determine the location of gas accumulations by using Stockwell Transform. The anomaly results show that the Stockwell Transform could determine the gas accumulations.

May 2018, 81 pages

Key Words: time-frequency conversion, wavelet, Fourier, Stockwell, seismic, reflection

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı yaptığım süre içerisinde tüm bilgi birikimi ve tecrübesinin yanında iyi niyeti ve yardımseverliğini de benden asla esirgemediği için Danışman Hocam Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR'a (Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı) sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi borç bilirim.

Ankara Üniversitesi'nde Yüksek Lisans'a başladığım ilk günden bu güne kadar yoğun iş temposuna rağmen her zaman yanımda olan ve sonuca ulaşabilmem için ellerinden gelen desteği veren müdürlerim Dr. Ali YILDIZEL ve Prof.Dr. Fevzi GÜMRAH'a (Genel Energy) tüm içtenliğimde teşekkür ederim.

Bu süre içerisinde her türlü destek, fikir ve motivasyon ile yanımda olan Gökhan YILDIZ'a (Genel Energy), hem iş hem de hayat tecrübelerini benimle paylaşan abilerim Dr. Kubilay KUMSAL, Dr. Sadun ARZUMAN ve Doç. Dr. Bozkurt ÇİFTÇİ'ye (Genel Energy) destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman yanımda olan eşim Dilan AYDIN BALTA'ya tüm sevgimle teşekkür ederim.

Avni Ozan BALTA
Ankara, Mayıs 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK..... i

ÖZET..... ii

ABSTRACT..... iii

TEŞEKKÜR..... iv

SİMGELER DİZİNİ..... vi

KISALTMALAR..... vii

ŞEKİLLER DİZİNİ..... viii

ÇİZELGELER DİZİNİ..... xii

1. GİRİŞ..... 1

2. SİSMİK YÖNTEMİ..... 2

2.1 Sismik Dalga Yayınım Geometrisi..... 3

2.2 Sismik Yansıma Yöntemi..... 6

2.3 Veri Toplama..... 9

3. ZAMAN-FREKANS DÖNÜŞÜMLERİ..... 13

3.1 Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (Short-Time FT (STFT))..... 14

3.2 Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Trasnform (CWT)..... 15

3.3 Stockwell Dönüşümü (Stockwell Trasnform (ST))..... 17

4. STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜ..... 18

5. MATERYAL ve YÖNTEM..... 27

6. STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI..... 30

7. SONUÇ..... 56

KAYNAKLAR..... 57

EKLER..... 59

EK 1 Sismik Kesitler..... 60

EK 2 Baskın Frekans Grafikleri..... 63

EK 3 Sabit Frekans Genlik Kesitleri..... 66

EK 4 Çığıltılar..... 78

ÖZGEÇMİŞ..... 81

SİMGELER DİZİNİ

d	dalgacık genişliği
f	frekans
Hz	Hertz
k	bulk (sıkışmazlık) katsayısı
kHz	kilohertz
m	metre
ms	milisaniye
N	Gürültü (noise)
R	sinyal alıcı
R	yansıma katsayısı
S	Sinyal (signal)
s	saniye
t	zaman
T_s	sinyal süresi
v	dalga hızı
v_p	P dalga hızı
v_s	S dalga hızı
Z	akustik empedans
μ	rigitidy (katısallık) modülü
ρ	yoğunluk
λ	dalga boyu
τ	anlık zaman değişimi (kaydırma etmeni)
α	ölçekleme etmeni

KISALTMALAR

AFD	ayrık Fourier Dönüşümü
ASD	ayrık Stockwell Dönüşümü
CWT	continuous wavelet transform
DD	dalgacık Dönüşümü
DST	drill stem test (kuyu akış testi)
DST	discrete Stockwell transform
FD	Fourier Dönüşümü
GA	gaz anomalisi
GBB	güney batı batı
GGD	güney güney doğu
KDD	kuzey doğu doğu
KKB	kuzey kuzey batı
KSFD	kısa süreli Fourier Dönüşümü
LFBZ	low frequency blackout zone
SD	Stockwell Dönüşümü
SDD	sürekli dalgacık Dönüşümü
ST	Stockwell transform
STFT	short time Fourier transform
TWT	çift gidiş-geliş zamanı (two way time)
VSP	düşey sismik profil (vertical seismic profile)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Snell yasası şematik gösterimi.....4

Şekil 2.2 Snell yasasında kullanılan bağıntıya bağlı ışın geometrisi.....5

Şekil 2.3 Dalga yayınım diyagramı.....7

Şekil 2.4 Polarite pozitif yansıma katsayılı (RC) bir tabaka sınırından minimum ve sıfır fazlı dalgacıkların normal ve ters polariteli yansımaları.....8

Şekil 2.5 Sismik yansıma yöntemi ile veri toplama - Atış verisi.....9

Şekil 2.6.a 48 kanallı, b. 96 kanallı bir sismik sistemle, c. modeli üzerinde elde edilmiş teorik atış grupları (Dondurur 2009).....10

Şekil 2.7 Şematik olarak (solda) tek ve (sağda) çok kanallı sismik yansıma veri toplama yöntemleri.....10

Şekil 2.8.a Kara, b. deniz sismiği atış gruplarının karşılaştırılması.....11

Şekil 2.9 Atış verisi ve migrasyon kesitinin gösterimi.....12

Şekil 4.1.a 2 Hz frekansa sahip sinyal, b. 10Hz frekansa sahip sinyal, c. 20Hz frekansa sahip sinyal, d. Üç sinüzoidalin toplamından oluşan zaman verisi.....23

Şekil 4.2.a Üç sinüzoidalin toplamından oluşan zaman verisi, b. Fourier Dönüşümü, c. zaman-frekans ayrışım haritası.....24

Şekil 4.3 0 Hz-80 Hz silkeleme sinyali…….....25

Şekil 4.4 Fourier Dönüşümü.....26

Şekil 4.5 Zaman-frekans ayrışım haritası.....26

Şekil 5.1 Kullanılan sismik hatlar ve kuyu noktası.....27

Şekil 5.2 Stockwell Dönüşümü uygulanacak olan sismik kesit örneği.....28

Şekil 5.3 Stockwell Dönüşümü uygulanan bir sismik izin zamana göre frekans içeriği.....29

Şekil 6.1 iki-boyutlu sismik kesit örneği….....30

Şekil 6.2 iki-boyutlu renklendirilmiş sismik kesit örneği.....31

Şekil 6.3 Genelleştirilmiş stratigrafik kesit.....32

Şekil 6.4 Inline-3 ve çalışmada kullanılan kuyu noktası.....33

Şekil 6.5 Inline-1 (sol üst), inline-2 (sağ üst), inline-3 (sol alt), inline-4 (sağ alt). Kesitlerin büyütülmüş görselleri EK 2'de görülebilir.....34

Şekil 6.6 xline-1 (üstte), xline-2 (ortada), xline-3 (altta). Kesitlerin büyütülmüş görselleri EK 2'de görülebilir.....35

Şekil 6.7 Baskın frekans grafikleri. (Sol yukarıdan aşağıya doğru: inline-1, inline-2, inline-3, inline-4; sağ yukarıdan aşağıya doğru: xline-1, xline-2, xline-3. Grafiklerin büyük ölçekli görselleri EK 3'tedir.).....36

Şekil 6.8 Stockwell Dönüşümü yapılacak izlerin konumları.....38

Şekil 6.9 Inline 1 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....39

Şekil 6.10 Inline 1 sismik iz 120'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü.....39

Şekil 6.11 Inline 1 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....39

Şekil 6.12 Inline 2 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....40

Şekil 6.13 Inline 2 sismik iz 120'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü.....40

Şekil 6.14 Inline 2 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....41

Şekil 6.15 Inline 3 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....42

Şekil 6.16 Inline 3 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....42

Şekil 6.17 Inline 3 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....42

Şekil 6.18 Inline 4 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....43

Şekil 6.19 Inline 4 sismik iz 120'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü.....43

Şekil 6.20 Inline 4 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....44

Şekil 6.21 xline 1 sismik iz 110'a uygulanan Stockwell Dönüşümü ….....44

Şekil 6.22 xline 1 sismik iz 220'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü.....45

Şekil 6.23 xline 1 sismik iz 290'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....45

Şekil 6.24 xline 1 sismik iz 380'e uygulanan Stockwell Dönüşümü.....45

Şekil 6.25 xline 2 sismik iz 110'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....46

Şekil 6.26 xline 2 sismik iz 220'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü.....46

Şekil 6.27 xline 2 sismik iz 290'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....47

Şekil 6.28 xline 2 sismik iz 380'e uygulanan Stockwell Dönüşümü.....47

Şekil 6.29 xline 3 sismik iz 110'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....48

Şekil 6.30 xline 3 sismik iz 220'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü.....48

Şekil 6.31 xline 3 sismik iz 290'a uygulanan Stockwell Dönüşümü.....48

Şekil 6.32 xline 3 sismik iz 380'e uygulanan Stockwell Dönüşümü.....49

Şekil 6.33 inline 1 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....50

Şekil 6.34 inline 1 için genlik kesitleri (soldan sağa: 5 Hz, 70 Hz).....50

Şekil 6.35 inline 2 için genlik haritaları (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....51

Şekil 6.36 inline 3 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....51

Şekil 6.37 inline 4 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....52

Şekil 6.38 xline 1 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....52

Şekil 6.39 xline 2 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....52

Şekil 6.40 xline 3 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz).....53

Şekil 6.41 Zamana karşı 0 Hz-80 Hz aralığındaki bazı çığıltıların genliklerinin değişimi. (Inline hatlarda her 10 izde bir, xline hatlarda her 25 izde bir iz için yapılmıştır).....54

Şekil 6.42 Inline 3 - xline 2’nin kesişimi (solda) – Stockwell Dönüşümü alınmış 20Hz’lik kesitlerin kesişimi (sağda).....55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1 Sismik Kesit Parametreleri.....31

Çizelge 6.2 Sismik Kesitlerin Baskın Frekansları.....37

1. GİRİŞ

Petrol ve doğal gaz aramacılığında jeofizik yöntemlerin amacı çözüme odaklı uygun yöntemleri kullanarak, gerektiğinde bu yöntemlerin sonuçlarını da sentezleyerek yerin fiziksel özelliklerini ve sonrasında yer altı kaynaklarını ortaya çıkarmaktır. Petrol ve doğal gaz aramacılığında kullanılan başlıca yöntem sismik yansıma yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak çok geniş alanlar belirlenen derinlik hedeflerine göre seçilen parametrelerle araştırılabilir. Arama çalışmalarında toplanan data gerekli veri işlem aşamalarından geçtikten sonra yorumlanır. Yorumlamaya yardımcı olabilecek ek yöntemler bu aşamada devreye girer. Gaz rezervuarlarının kestiriminde kullanılan ek yöntemlerden biri de Stockwell Dönüşümüdür. Jeofizikte bir çok alanda kullanılan bu Dönüşüm Odebeatu vd. (2006) tarafından sismik kesitlerde gaz doygunluğu ile ilgili dispersiyon belirtilerinin saptanmasında kullanılmıştır. Stockwell Dönüşümü spektral içeriklerin tanımlanmasında etkisi kabul edilen bir yöntemdir.

Konunun anlaşılabilirliğini arttırmak için öncelikle sismik yansıma yönteminin esasları ve bu yöntemde sismik verilerin nasıl toplandığı anlatılmıştır. Ardından zaman-frekans Dönüşümü ve yöntemlerinden bahsedilmiş, Stockwell Dönüşümü ayrıntılarıyla anlatılmıştır. Tez içerisinde gerekli teorik bilginin verilmesinin ardından seçilen iki-boyutlu sismik kesit üzerinde Başokur vd. (2003) tarafından deprem ivme kayıtlarının incelenmesinde kullanılan kodlar düzenlenmiş ve uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar farklı parametreler kullanılarak değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı olarak tartışılarak açıklanmıştır.

2. SİSMİK YÖNTEMİ

Sismik yöntem, karada veya denizde bir tetikleyici ile başlar. Tetikleme için araştırma yapılan yere uygun bir kaynak belirlenir. Kaynak karada dinamit, vibroseis, ağırlık düşürme veya dinoseis, denizde ise dinamit veya su tabancası olabilir. Patlamanın yarattığı ses dalgasını yer içerisine göndermek amaçlanır. Yerin belli bir derinliğinde, homojen ortamda sinyali gönderen patlayıcının meydana getireceği basıncın, her yönde aynı oranda parçacık yer değiştirmesi oluşturacağı açıktır. Yer değiştiren her parçacık diğer bir parçacığı harekete geçireceğinden, patlama olayı küresel yayınan bir dalga şekline dönüşecektir.

Enerji kaynaklarından herhangi biri kullanılarak elde edilen sismik dalga, yer içerisinde farklı özelliklere sahip başka bir kayaca ulaşıncaya kadar ilerler. İlerleyen dalganın bir kısmı farklı özelliklere sahip kayaçtan yansıyarak geri dönerken diğer kısmı kırılarak yoluna devam eder. Dalga enerjisini kaybedinceye kadar bu işlem tekrarlanarak devam eder.

Sismik dalgalar cisim ve yüzey dalgaları olarak ikiye ayrılır. Cisim dalgaları P ve S dalgalarıdır. Yüzey dalgaları ise Rayleigh, Love, Stoneley ve Kanal dalgaları olarak dört çeşittir. P dalgaları sıkışma veya birincil dalgalar olarak bilinir. Bu dalganın yayınımı titreşimle aynı doğrultuda olur ve bu sırada genleşme/hacim değişikliği olur. P dalgası en hızlı dalgadır ve sismik yansıma yönteminde ilk kaydedilen dalgadır. S dalgaları yayılırken şekil bozulmaları meydana getirirler. Titreşim yanınım doğrultusuna dik oluşur. S dalgasının hareketi düşey ve yatay bileşen olarak ikiye ayrılır. P dalgası, S dalgasından 1.7 kat daha hızlıdır. Sıvılarda rigidity modülü sıfır olduğundan S dalgasının yayınımı gerçekleşmez (Dondurur 2009).

$$P\ dalga\ hızı = v_p = \sqrt{(k + 1.33\mu)/\rho}$$

(*k: Bulk (sıkışmazlık) katsayısı, μ: Rigitidy (katısallık) modülü, ρ: yoğunluk)*

$$S\ dalga\ hızı = v_s = \sqrt{\mu/\rho}$$

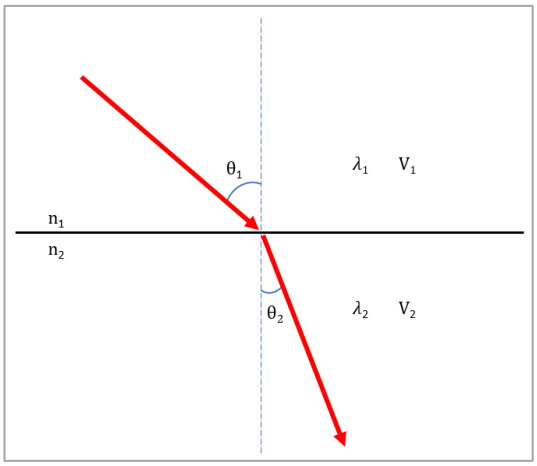
(*μ: Rigitidy (katısallık) modülü, ρ: yoğunluk)*

Rayleigh dalgaları yarı sonsuz ortamda gerçekleşir ve sismik kesitlerde yüzey dalgaları olarak adlandırılırlar. Bu dalgalar eliptik bir yörünge boyunca parçacık hareketlerini sürdürür ve dalganın yanınım doğrultusu soldan sağa olduğunda parçacık hareketi saatin ters yönünde gerçekleşir. Love dalgaları ise yarı sonsuz ortamlardaki düşük hızlı zonlar içerisinde meydana gelir. Salınım düzlemleri yataydır ancak yanınım doğrultusuna dik salınan parçacık hareketlerinden oluşurlar. Rayleigh ve Love dalgaları serbest yüzey boyunca hareket ederler. Deformasyona uğramış Rayleigh dalgalarına Stoneley dalgaları denir. Serbest yüzeylerde daha yavaş olan bu dalgalar, katı-sıvı sınırlarında katı ortamdakine göre daha da yavaştır (Dondurur 2009).

Yer altına yerleştirilen jeofonlar yardımı ile yapılan araştırmalarda yüzeyden gelen dalgalarla beraber sıvı içerisinde sıkışarak gelen ve gürültüye yol açan dalgalara kanal veya tüp dalgaları denir. Özellikle düşey sismik profil (VSP) çalışmalarında başlıca gürültü kaynağı olarak bilinirler.

2.1 Sismik Dalga Yayınım Geometrisi

Dalga yayınım geometrisinin temeli fiziğin optik dalında yer alan Snell Yasası'na dayanır. Bu yasa ışığın bir ortamdan diğerine geçişteki kırılma durumunu açıklar. Şekil 2.1'de ve onu izleyen eşitlikde gösterildiği gibi, geliş açısının sinüsünün (θ), kırılma açısının sinüsüne oranı olarak açıklanabilir. Bu oran tabaka hızı (v), kırılma indisi (n) ve dalga boyu (λ) için de geçerlidir.



Şekil 2.1 Snell yasası şematik gösterimi

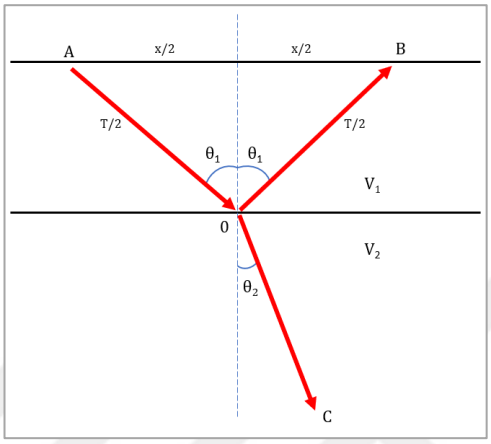
$$\frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Sismik yansıma yönteminde Snell Yasasının hız bileşenleri ile yansıma ve kırılma açıları kullanılmaktadır. V_1 ve V_2 hızlarına sahip iki tabakalı bir ortamda A ve B noktaları arasındaki ışınsal dalga yayınımı, geliş açısı ile yansıma açılarının eşitliğini gerektirmektedir (Bampi 1991).

İki farklı ortamda bulunan A ve C noktaları arasındaki dalga yayınımının ışınsal geometrisi için;

$$\frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

eşitliği kullanılır. Eğer bir dalga iki ortamı ayıran bir sınırdan geçerse yansıyan ve kırılan dalgalar ortaya çıkar. Gelen ışının normalle yaptığı açının sinüsü ile kırılan ışının normalle yaptığı açının sinüsünün oranı, gelen ışının hızı ile kırılan ışının hızının oranına eşittir. Bu yasa ışının genliği hakkında bilgi veremez. Şekil 2.2'de yansıyan veya kırılan ışın geometrisi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.2 Snell yasasında kullanılan bağıntıya bağlı ışın geometrisi

Çok tabakalı ortamlar için;

$$\frac{sin\theta_1}{v_1} = \frac{sin\theta_2}{v_2} = \frac{sin\theta_3}{v_3} = \cdots = \frac{sin\theta_n}{v_n}$$

Şeklinde kullanılabilir. Kırılma açısı (θ_2) 90^o olması durumunda geliş açısı (θ_1) kritik açı olarak adlandırılır (Bampi 1991). Bu durumda Snell yasasından;

$$\frac{sin\theta_1}{v_1} = \frac{1}{v_2}\ , sin\theta_1 = \frac{v_1}{v_2}$$

Bağıntıları yazılabilir. Bu eşitlikde gösterir ki θ_1 açısından daha büyük bir açıyla gelen tüm ışınlar tam yansımaya uğrayacaktır (Bampi 1991).

2.2 Sismik Yansıma Yöntemi

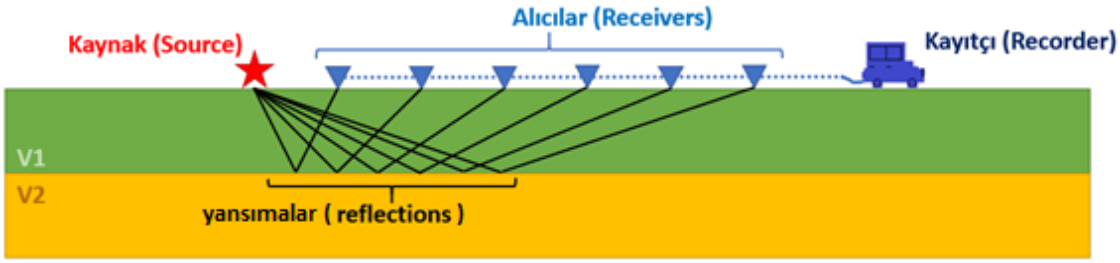
Sismik yöntemler yer altındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamada elastik dalgaların yer içinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır. Uygulamalı sismikte dalgaları üreten enerji kaynağına, yeryüzüne veya deniz yüzeyine yerleştirilmiş alıcılara ve bu alıcılara gelen dalgaların geliş-gidiş zamanlarını ölçen kayıtçılara ihtiyaç vardır. Bu düzen içerisinde temel prensip, enerji kaynağından gelen dalgaların zaman göre genliklerinin kaydedilmesidir. Bir ortamda yayılan dalganın hızı (v) ile ortamın yoğunluğunun (ρ) çarpımı akustik empedans (Z) olarak adlandırılır ve;

$$Z = v.\rho$$

Bağıntısı ile ifade edilir. Buradan yansıma katsayısı (R);

$$R = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}$$

eşitliği ile elde edilir (Yılmaz 2001). Genellikle ortamdaki hız değişimi yoğunluk değişiminden çok büyük olduğu için yoğunluk değişimi dikkate alınmadan sadece hız bilgileri kullanılarak hesaplamalar yapılır. Sismik sinyaller yer altında derinlere ilerledikçe genliklerini kaybeder ve sönümlenirler. Enerji kaynağının cinsi, yansıma yüzeylerindeki yansıma katsayıları, süreksizlik yüzeyleri, yayılma ve soğurulma kayıpları, kaynak veya alıcı dizilimleri ve veri işlem adımları gibi birçok etmen sismik kaydın kalitesini kolaylıkla etkileyebilmektedir. Daha çok yatay veya yataya yakın ortamlarda kusursuz sonuca yaklaşabilen sismik yöntemler, özellikle petrol ve doğal gaz aramacılığında oldukça sık kullanılmaktadır.

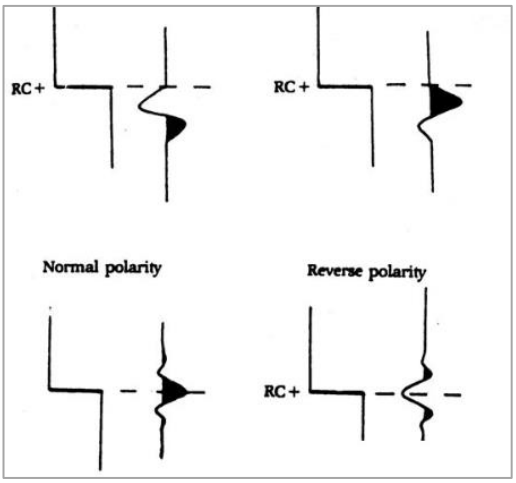


Şekil 2.3 Dalga yayınım diyagramı

Kaynaktan alıcılara doğru hareketlenen dalgalar yayınım geometrisine bağlı olarak Doğrudan (direct waves), saçılan (difractions), kırılan (refractions) veya yansıyan (reflections) dalgalar olarak sınıflandırılabilir. Şekil 2.3'de kaynak ve yansımalar şematik olarak gösterilmiştir. Dalgalar iletildikleri ortamın hız bilgisini doğrudan verebilirler. Saçılmalar ise genellikle faylardan kaynaklı olup başlıca gürültülerdendir.

Alıcılara gönderilmek üzere ilk sinyalin gönderimi atış (shot) olarak adlandırılır. Atış sonucu oluşan dalgaya kaynak dalgacığı (source wavelet) denir. Tabaka sınırlarından yansıyan dalgalara yansıma veya refleksiyon adı verilir. Yansımaların alıcılar tarafından kaydedilmiş şekline sismik iz (seismic trace) ismi verilir. Yansımanın meydana geldiği yüzeyin altındaki tabakaya yansıtıcı ya da reflektör denir. Atış kaynağından çıkan kaynak dalgacığı akustik empedansı farklı tabakalardan yansıyarak alıcılar tarafından toplanır.

Sismik yansımada yansıyan dalga daha hızlı bir tabakaya geçiş yapmaya çalışıyorsa yani düşük akustik empedansa sahip ise 'pozitif', bunun tersi durumda 'negatif'tir. Aynı yansıtıcıdan gelen pozitif ve negatif refleksiyonlar şekil olarak birbirinin aynı fakat tersidir. Sismik kesitlerde bu görünüm polarite ile açıklanır.



Şekil 2.4 Pozitif yansıma katsayılı (RC) bir tabaka sınırından minimum ve sıfır fazlı dalgacıkların normal ve ters polariteli yansımaları (Yılmaz 2001)

Ayrımlılık (resolution) sismik yansıma için önemli olan diğer bir ayrıntıdır. Düşey ayrımlılık kaynak dalgacığının frekansı ile doğru orantılı olarak artar. Kalınlığı dalgacığın boyunun yarısından (λ/2) küçük olan birimleri birbirinden ayırmak çok güçtür. Kalınlığı λ/4'ten daha küçük olan birimler ise ayrıştırılamazlar. Ayrımlılık derinlikle ters orantılı olarak azalır. Derinlere indikçe kaynak dalgacığı yüksek frekanslarını kaybeder. Ayrımlılık sığ bölgeler için her zaman daha yüksektir.

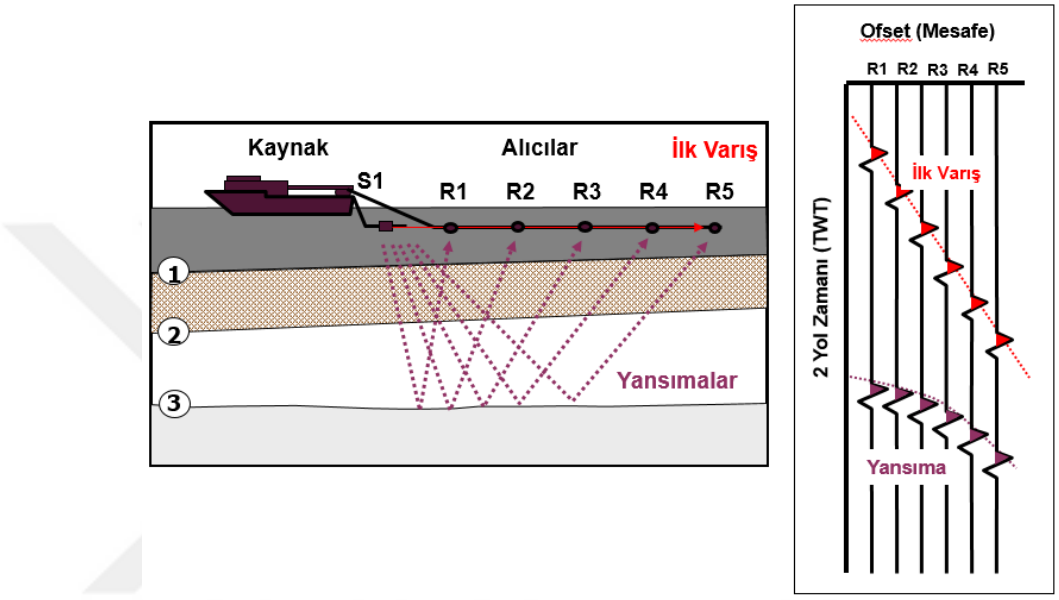
Gürültüler, sismik yansımayla alakası olmayan fakat istemsiz bir biçimde sinyalin parçası olan tüm olaylardır. Gürültülerin büyük bir kısmı veri işlem aşamaları sırasında ortadan kaldırılır ancak hassas davranılmazsa gerçek veriden de kayıplar verilebilir.

Atış ve alıcı noktaları bir noktadan birçok defa yansıma alınacak şekilde hazırlanır. Aynı noktadan gelen sinyal sayısının artması S/N (Sinyal (signal) / Gürültü (noise)) oranını arttırır. Bu sayede ayrımlılık çok daha iyi olacaktır. Aynı noktadan alınan sinyal sayısına katlama sayısı (fold) denir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$Fold = \frac{Kanal\ Sayısı\ x\ Grup\ Aralığı}{2\ x\ Atış\ Aralığı}$$

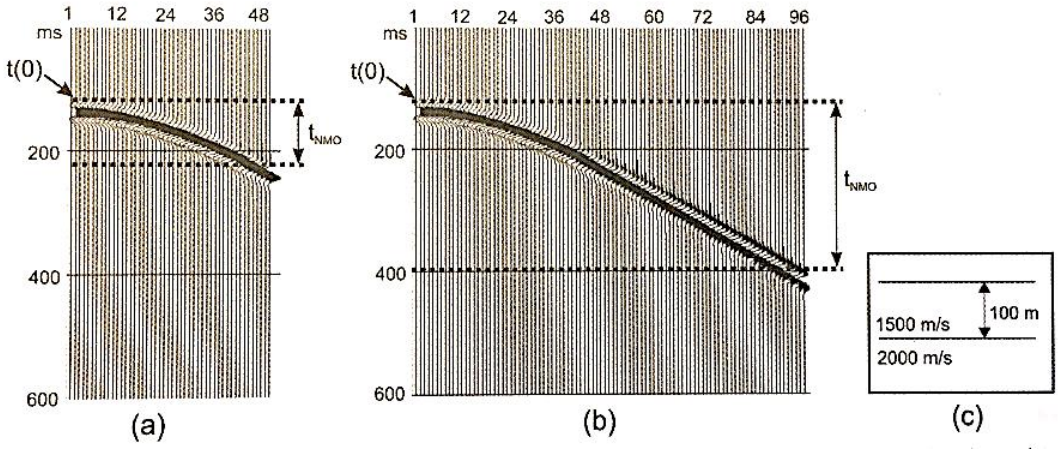
2.3 Veri Toplama

Deniz ve kara sismiğindeki veri toplama işlemleri teoride aynı fakat pratikte farklıdır. Ancak toplanan veriler veri işlem merkezlerinde işlendikten sonra aynı formatta yorumlamaya hazır şekle getirilir (Schroeder 2004).



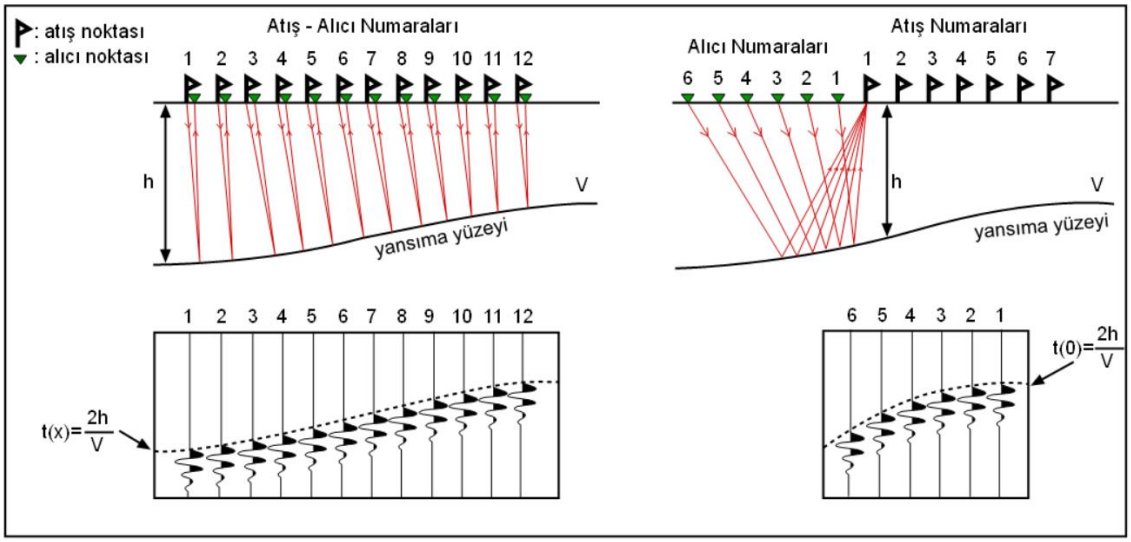
Şekil 2.5 Sismik yansıma yöntemi ile veri toplama - Atış verisi

Şekil 2.5'te denizde yapılan bir sismik çalışma gösterilmeye çalışılmıştır. Atış kaynağından gönderilen ses dalgaları 3 numaralı yüzeyden yansıyarak R harfleri ile gösterilen alıcılar tarafından toplanmaktadır. Çok kanallı yapılan çalışmalarda yer altı katmanlarından yansıyan dalgaların geliş zamanları tüm alıcılar tarafından kaydedilir. Sağda gösterimi yapılan t-x grafiğindeki ilk varış ve yansıma verileri karşılaştırıldığında daha uzaktaki alıcıların mesafeye bağlı gecikmeli kayıt yaptıkları görülmektedir.



Şekil 2.6.a. 48 kanallı, b. 96 kanallı bir sismik sistemle, c. modeli üzerinde elde edilmiş teorik atış grupları (Dondurur 2009)

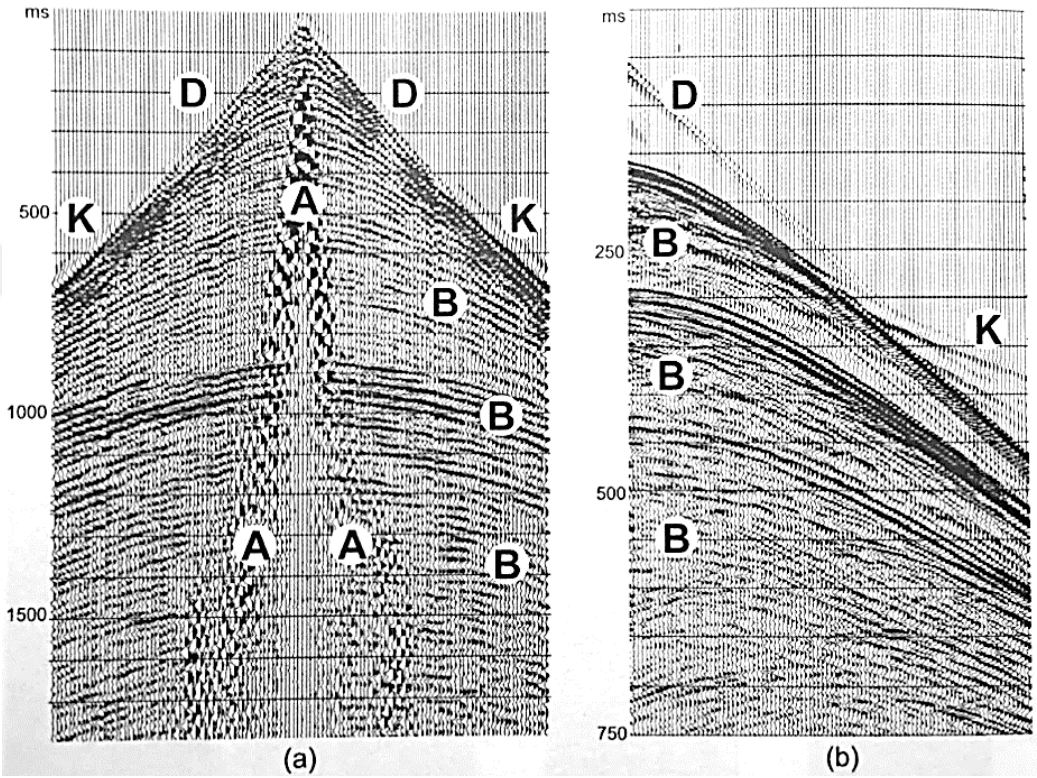
Alıcıların mesafesi arttıkça verinin geliş zamanı da uzamaktadır. Şekil 2.6.c. de gösterilen model bu gecikmeyi görselleştirmek için tasarlanmıştır. Aynı atış verisi hem 48 hem de 96 kanallı sismik sistemle toplanmaya çalışıldığında şekil 6.2.a, b'de gösterildiği gibi hiperbolik bir atış verisi elde edilmektedir (Dondurur 2009).



Şekil 2.7 Şematik olarak (solda) tek ve (sağda) çok kanallı sismik yansıma veri toplama yöntemleri

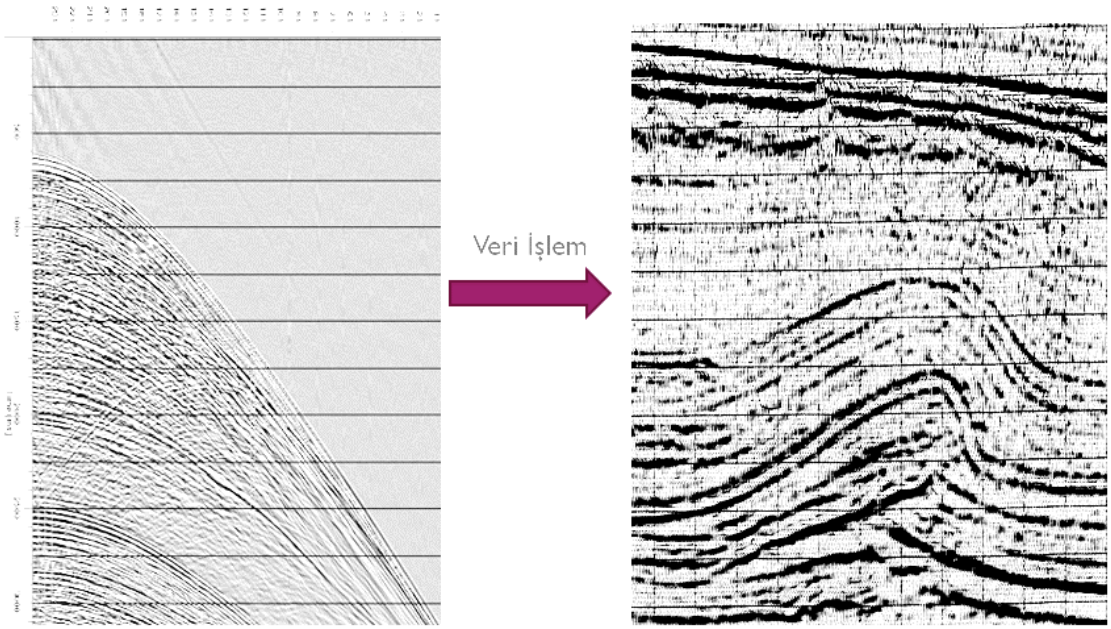
Farklı sismik veri toplama çalışmalarında çok kanallının yanında tek kanallı veri toplama çalışmaları da yapılmaktadır. Amaca yönelik yapılan bu değişikliğin veri toplama açısından en büyük farklılığı yansıyan dalgaların atış yapılan nokta üzerinde bulunan

noktadan toplanmasıdır. Tek kanallı yapılan çalışmada yansıtıcı yüzeyin geometriye etkisi yapı şekilleriyle paralel olarak gözükmektedir. Atış noktasına daha yakın olan yansıtıcı yüzeyden gelen veri daha erken okunur. Çok kanallı çalışma da yansıtıcı yüzeyin etkisinin yanında alıcıların uzaklıkları da verinin gecikmesine etki eden bir etmendir. Daha önce de örneği verilmiş olan hiperbolik atış kaydı verilmektedir.



Şekil 2.8.a. Kara, b. deniz sismiği atış gruplarının karşılaştırılması (Yılmaz 2001)

Yukarıdaki şekilde kara ve deniz sismiği atış gruplarının karşılaştırılması gösterilmektedir. A, yüzey dalgalarını; B, birincil yansımaları; D, doğrudan gelen dalgaları ve K, kırılma dalgalarını göstermektedir. Doğrudan gelen dalgalar ve birincil yansımalar benzerlik göstermekte, kırılma dalgaları deniz verisinde çok daha net bir şekilde izlenebilmektedir (Yılmaz 2001).



Şekil 2.9 Atış verisi ve migrasyon kesitinin gösterimi (Yılmaz 2001)

Karada veya denizde toplanan sismik veri, veri işlem merkezlerinde gerekli uygulamalardan geçerek yorumlanmaya uygun hale getirilir (Yılmaz 2001). Bu çalışmada kullanılacak olan sismik veri içeriği ve kesit örneklerine yer verilecektir.

3. ZAMAN-FREKANS DÖNÜŞÜMLERİ

Sismik veri işlem ve sismik yorumlamada kullanılan başlıca analiz yöntemlerinden biri de zaman-frekans Dönüşümüdür. Bu tez çalışmasında, sismik sinyallerin frekans içerikleri zaman-frekans Dönüşümü kullanılarak incelenecek ve gaz rezervuarları ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır.

Zaman-frekans Dönüşümü (spektral yöntem) bir boyutlu sismik sinyali iki boyutlu zaman-frekans verisine dönüştürür ve sinyallerin spektral içeriklerinin zamana göre nasıl değiştiğini açıklar. Bu yöntem sismik kesitlerde hidrokarbon tespiti (Castagna vd. 2003), sismik dalgaların türlerinin ayrılmasında (Roueff vd. 2004), sinyallerin sönüm ölçümleri (Reine vd. 2009), sismik kesitlerin renklendirilmesi (Theophanis ve Quenn, 2000) ve rezervuar karakterizasyonu (Partyka vd. 1999) gibi bir çok farklı amaçla kullanılmıştır.

Sinyallerin özellikleri zamanla değişmediğinde bunlara durağan sinyaller denilebilir. Durağan sinyallerde de beklenmeyen olaylar olabilir ancak bunlar istatistiksel olarak öngörülebilir olaylardır. Buna karşın doğadaki sinyallerin çok büyük bir kısmı durağan olmayan sinyallerdir ve bunlara en uygun örnek insan sesi olabilir.

Sinyallerin içerdiği bilgilerin elde edilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden biri Fourier Dönüşümü'dür. Bu Dönüşümle birlikte bilgiler yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir. Frekans verisi genlik bilgisiyle beraber kullanılıp daha verimli hale getirilebilir.

Genelleme yapıldığında Fourier Dönüşümü düzensiz değişim gösteren durumlarla ilgilenen bütün alanlarda kullanılabilir. Fourier Dönüşümü bir sinyalin içerdiği frekansı gösterir fakat hangi zaman değerlerinde hangi frekansların mevcut olduğu bilgisini vermez. Doğal olarak zamana göre değişmeyen sinyallerin Dönüşümünde oldukça başarılıdır. Fourier Dönüşümü bir sinyalin tamamına uygulandığında yerel frekans değişimleri ile alakalı bilgi üretemez. Bir sinyaldeki yerel değişimler de araştırmanın konusuna göre oldukça önemli olabilir.

Sinyal analizi ve yapısal çözümlemelerde kullanılan yöntemlerin arasında bulunan Fourier Dönüşümü bu yöntemlerin başında gelmektedir (Chopra 1955). Araştırmacıların bir çoğu (Gabor 1946; Cohen 1989; Young 1993; Addison 2002 and Dehghani 2009) zaman-frekans Dönüşümünde sinyallerin sabit olmadığı durumlardaki bazı sınırlamaları aşmada bu yöntemi önermiştir.

Fourier Dönüşümü;

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t).e^{-i2\pi ft}dt$$

olarak yazılabilir. Burada, zaman ortamındaki *f(t)* fonksiyonu frekans ortamında *F(f)* olarak gösterilmiştir. Bu yöntemde zaman ortamındaki bir sinyalin frekans içeriği tam anlamıyla görüntülenebilir ancak frekans ortamına geçildiğinde herhangi bir zaman bileşeni olmadığından sinyallerin zamana karşılık içerikleri hakkında herhangi bir bilgi edinilemez.

3.1 Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transform (STFT))

Verinin belirli bir zaman aralığındaki Fourier Dönüşümü alınır ise belirli bir pencere aralığındaki frekans içeriği görüntülenmiş olur. Bu pencere zamana göre kaydırabilir. Fourier Dönüşümünde karşılaşılan bazı kısıtlamaların çözülebilmesi ve süreksizliklerin incelenmesi için kullanılan bu yöntem Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (KSFD) (Short Time Fourier Transform (STFT)) olarak adlandırılır (Gabor 1946).

Pencereleme yöntemi kullanılarak sinyallerin bölünmüş küçük parçaları ayrı ayrı ele alınmış ve frekans fonksiyonu olarak iki boyutta ifade edilmiştir. Kısa Süreli Fourier Dönüşümü'nde belirli bir uzunluğu olan sinyaller zaman aralıklarına bölünür. Bölünen bu zaman aralıklarındaki sinyaller durağan kabul edilir. Durağanlığın kabul edildiği bu pencere aralıkları sinyalin bir pencere fonksiyonu ile çarpılması ile elde edilir.

Zaman ekseni üzerinde kaydırılan pencere fonksiyonunun o anki pencere merkez değeri τ ise Kısa Süreli Fourier Dönüşümü;

$$KSFD(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t).g(t-\tau)e^{-i2\pi f t}dt$$

olarak tanımlanabilir. İşlem her defasında yeni bir zaman değerine kaydırılarak devam eder. Her defasında tekrar pencerelenen kısımların Fourier Dönüşümleri alınır ve sonunda zaman-frekans görüntü haritası elde edilebilir. Yaygın olarak kullanılan KSFD, geçici ve spektral çözünürlük arasında bir denge sağlayan veri paketlerinin Fourier Dönüşümünü alarak zaman-frekans spektrumu üretir (Cohen 1995).

Yukarıdaki eşitlikte *g(t- τ)* pencere parametresidir ve τ anlık zaman değeridir. Pencere parametresi eklenmesine rağmen integral hesabında sonuç her zaman doğru olmayabilir. Yapılacak Dönüşüm sonucunda mutlak değerler elde edilemeyeceğinden ve yapılan seçim doğrudan sonucu etkileyeceğinden, zaman penceresinin uzunluğunu doğru seçmek büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmanın amacına yönelik olarak çok kısa bir pencere aralığı seçildiğinde frekans alanındaki çözünürlükte düşük olacaktır ancak daha uzun bir pencere aralığı seçilmesi ile daha yüksek çözünürlüklü frekans içerikleri elde edilebilir. Sonuca yönelik olarak seçilen pencere boyutu her zaman etkili olacaktır (Ditommaso vd. 2012).

3.2 Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform (CWT))

Kuvantum mekaniği ve istatistiksel mekanik alanları dalgacık Dönüşümünün ilk kez kullanıldığı alanlardır. Dalgacık analizi matematik alanında kullanılmaya başladıktan sonra sismik sinyaller, titreşime sahip ve sonlu süreli sinyallerin farklı zaman bazlarındaki farklı örneklerle örtüştürülerek modellenmeye çalışılmıştır. Dalgacık Dönüşümü, düşük frekanslara ait bilginin daha önemli olduğu durumlarda geniş pencere, yüksek frekanslara ait bilgilerin daha önemli olduğu durumlarda ise dar pencere kullanımına izin vermektedir (Goswami 2011).

Dalgacık analizi KSFD'ne benzer şekilde yapılır. Sinyal, KSFD'nde bir pencere fonksiyonu ile çarpılırken, Süreli Dalgacık Dönüşümü (SDD)'nde dalgacık olarak adlandırılan bir fonksiyonla çarpılır ve Dönüşüm zaman ortamındaki sinyalin farklı segmentleri için ayrı ayrı hesaplanır.

Fourier Dönüşümünde olduğu gibi Dalgacık Dönüşümü de bir sinyalin veya işaretin dalgacık fonksiyonlarının farklı ölçek ve değişken versiyonlarının çarpımlarının toplanmasıyla elde edilir. Gerçek sinyalin dalgacık bileşenleri uyumlu bir şekilde düzenlenmiş dalgacıkların katsayılar ile çarpılmasıyla bulunur.

$$SDD(\alpha,\tau) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\int_{-\infty}^{\infty} f(t).\Psi\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right)dt$$

Burada $\Psi\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right)$ dalgacık veya çekirdek dalgacığı olarak isimlendirilir. α ölçekleme etmeni, τ ise kaydırma etmeni olarak isimlendirilir. Dalgacık, her α ve τ dğeri için biçimsel olarak aynı ancak α etmenine bağlı olarak farklı ölçeklidir (Başokur 2007). Yapılacak Dönüşüm boyunca pencere boyutu ölçekleme değeri sayesinde değiştirilebilir.

Sürekli Dalgacık Dönüşümde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta Dönüşüm yapıldıktan sonra sonuçlar arasında oluşan farktır. Dönüşümün başında bir defaya mahsus seçilen dalgacık çalışmayı bütünüyle etkilemektedir. Bu da farklı ölçek ve konumlarda sonuçların çıkabileceğini göstermektedir. Sürekli Dalgacık Dönüşümü'nün Kısa Süreli Fourier Dönüşümü'ne göre üstünlük sağladığı durumlardan biri hızlı değişimlere sahip olan yani keskin ve sivri uçlara sahip olan sinyallerin incelenmesi konusudur. Ölçek değeri büyük ise işaret hakkında bütünsel bir bilgi elde edilir. Ölçek değeri küçük ise işaretteki detaylar incelenebilir.

3.3 Stockwell Dönüşümü (Stockwell Transform (ST))

Zaman-frekans Dönüşümü uygulamalarından olan ve bu tezin asıl çalışma konusu olan Stockwell Dönüşümü, Sürekli Dalgacık Dönüşümünün geliştirilmiş formu olarak gösterilebilir. Stockwell Dönüşümü, hareketli ve ölçeklenebilir bir Gauss penceresinin çalışma sistemine dayandırılarak ortaya konulmuştur (Stockwell vd. 1996). Stockwell vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada Dalgacık Dönüşümünün sahip olmadığı bazı karakteristik özelliklerin Stockwell Dönüşümünde olduğu ortaya konmuştur. Bölüm 4'te Stockwell Dönüşümünden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

4. STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜ

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi Fourier Dönüşümü verilerin frekans içeriklerini verebilmektedir ancak zamana göre frekans ortamındaki değişikliklere ait herhangi bir bilgi verememektedir. Stockwell Dönüşümü, Stockwell vd. (1996) tarafından ortaya konulan, Dalgacık Dönüşümü ile Kısa Süreli Fourier Dönüşümünün özelliklerini bir arada kullanan ve ters çevrilebilen bir zaman-frekans analizi tekniğidir. Yöntemde dalgacık fonksiyonu yerine farklı frekanslar için devamlı ölçeklendirilen ve hareketli bir gaussian penceresi kullanılmaktadır.

Zaman serilerinin spektral bileşenleri zamana doğrudan bağlıdır bu sebeple ortak bir zaman-frekans ilişkisine sahip olmaları beklenir. Bu beklentiyi sağlayan Stockwell Dönüşümü, ortak zaman değerleriyle doğrudan ilişkileri kurarak frekansa bağlı çözünürlükle birlikte zaman-frekans Dönüşümünü tamamlar (Stockwell vd. 1996). Doğrusallık ve tersinirlik temel özelliklerine sahip olan Dönüşüm, diğer klasik zaman-frekans yöntemlerine nazaran daha yüksek çözünürlüğe sahiptir (Ditommaso vd. 2012).

Stockwell Dönüşümü, Sürekli Dalgacık Dönüşümünün faz düzeltmesi gibi düşünülebilir (Stockwell vd. 1996). *(f)* fonsiyonun SDD'nü aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) w(t-\tau, d) dt$$

Burada *w(t,d)* ölçeklendirilmiş bir ana dalgacık fonsiyonudur. *d*, dalgacık genişliğini temsil eder ve çözünürlüğü kontrol eder. τ anlık zaman değeridir. Burada ana dalgacık üzerindeki kabul edilebilirlik w(t,d) dalgacığının ortalama değerlerinin sıfıra eşit olmasıdır.

(f) fonksiyonunun Stockwell Dönüşümü, özel ana dalgacık fonksiyonunun bir faz faktörü ile çarpıldıktan sonra alınan Sürekli Dalgacık Dönüşümü olarak aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$S(\tau, f) = e^{i2\pi f\tau} W(\tau, d)$$

ve ana dalgacık fonsiyonu;

$$w(t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 . f^2}{2}} e^{-i2\pi ft}$$

olarak tanımlanabilir. *d* genişleme faktörü, *f* frekansının tersidir. Yukarıdaki eşitlikle tanımlanan dalgacık ortalama sıfır kabul edilebilirlikle istenen sonucu vermediğinden Stockwell Dönüşümü doğrudan SDD olarak tanımlanamaz. Bu sebeple Stockwell vd. (1996), S-Dönüşümünü aşağıdaki gibi tanımlamışlardır;

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\tau)^2 . f^2}{2}} e^{-i2\pi ft} \mathrm{dt}$$

Burada τ kaydırma değişkenidir ve birimi saniyedir. f(t) asıl zaman verisini gösterirken aşağıda verilmiş olan g(t) pencere fonksiyonunu temsil etmektedir (Mallat 1988). Bu durumda dalgacıkların ortalama değerlerinin sıfır olması beklenmez.

$$g(t) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}}$$

Dalgacık Dönüşümündeki ölçekleme etmeni burada *f* frekans değerlerine karşılık gelir. Frekans değeri değiştirildiğinde aynı zamanda zaman penceresinin ölçeğinde de değişim gözlenir. Fourier Dönüşümü, τ kaydırma etmeninin zaman penceresini kaydırması ile hesaplanır. Geliştirilmiş yeni tanım Stockwell Dönüşümünün yeni tanımını oluşturmaktadır.

Klasik Fourier Dönüşümü yerine Stockwell Dönüşümünün avantajı oldukça açıktır ve sinyalleri zaman içindeki enerji değiştikçe açık bir şekilde ayırt etmek mümkündür. Bunun yanında, kullanılabilecek standart filtrelerden kaynaklanacak faz bozulmalarına neden olmamaktadır. Stockwell Dönüşümü tarafından sağlanan ileri ve geri Dönüşümlerle genlik ve fazın korunduğu ortaya konmuştur (Ditommaso vd. 2012).

$S(\tau, f)$ fonksiyonunun, Fourier Dönüşümünden yararlanarak evrişim integrali olarak yazılması ile Stockwell Dönüşümü daha hızlı hesaplanabilir. $(t-\tau)^2$ kaydırma parametresi çift fonksiyondur ve $(\tau - t)^2$ olarak da yazılabilir. Bununla birlikte $S(\tau, f)$ integrali ifadesi, f parametresinin sabit olduğu durumlar için τ anlık zaman değerine bağlı iki fonksiyonun evrişimi olarak tanımlanabilir.

$$S(f,\tau) = \left\{f(t).e^{-i2\pi ft}\right\} * \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\tau^2.f^2}{2}}$$

$S(f,\tau)$ fonsiyonunun y değişkenine bağlı bir Fourier Dönüşümü olduğu düşünülürse,

$$S(f,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f,\tau).e^{-i2\pi y\tau} d\tau \;\; ve$$
$$S(f,\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f,y).e^{-i2\pi y\tau} dy$$

Dönüşüm çiftleri olarak yazılabilir. $S(f,\tau)$ evrişim bağıntısının y değişkenine göre Fourier Dönüşümü bulunabilir. Gauss fonksiyonunun Fourier Dönüşümü Başokur (2007) tarafından ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi anlatılmıştır. Gauss Fonksiyonunun Fourier Dönüşümü;

$$e^{-a\tau^2} \leftrightarrow \sqrt{\pi/a}.e^{\left\{-\frac{\pi^2 y^2}{f^2/2}\right\}}$$

Dönüşüm çifti ile elde edilebilmektedir. Bu Dönüşüm çiftinden yola çıkarak;

$$|f|e^{\{-f^2\tau^2/2\}}\sqrt{2\pi} \leftrightarrow e^{\{-2\pi^2 y^2/f^2\}}$$

yazılabilir. Bu durumda $S(f,\tau)$ evrişim bağıntısından sabit f değeri için y değişkenine göre Fourier Dönüşümü;

$$f(\tau)e^{-i2\pi f\tau} \leftrightarrow F(y+f)$$

ve kayma özelliği kullanılarak;

$$S(f,y) = F(y+f).e^{\{-2\pi^2 y^2/f^2\}}$$

olarak elde edilir. Y değişkenine bağlı Fourier Dönüşümünden yararlanılarak yazılan Dönüşüm çiftlerinden yararlanılarak $S(f,y)$ fonksiyonunun ters Fourier Dönüşümü ile;

$$S(f,\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(y+f).e^{\{-2\pi^2 y^2/f^2\}} e^{i2\pi y\tau} dy$$

bağıntısı bulunabilir. Burada $F(y+f)$; *f(t)* fonksiyonunun kaymış Fourier Dönüşümüdür. Ayrık Fourier Dönüşümü bağıntısı, Başokur (2007) tarafından detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrık Fourier Dönüşümü;

$$F(r/N\Delta t) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-i2\pi.k.r/N} \qquad r = 0,\dots,N-1$$

Burada f_k; *f(k. Δt)* zaman verisinin ayrık değerlerini göstermektedir. Eğer bir önceki adımda $S(f,\tau)$ bağıntısının ayrık değerleri;

$$f = r.\Delta f_s, \quad y = m.\Delta f = \frac{m}{N.\Delta t}, \quad \tau = j.\Delta t$$

Olarak gösterilir ise bu bağıntıdan Ayrık Stockwell Dönüşümü (ASD veya DST(Discrete Stockwell Transform));

$$S(r.\Delta f_s, j.\Delta\tau) = \sum_{m=0}^{N-1} F\left[\frac{m}{N.\Delta t} + r.\Delta f_s\right].e^{-\frac{2\pi^2 m^2}{(N.\Delta t.r.\Delta f_s)^2}}.e^{\frac{i2\pi m j\Delta\tau}{N.\Delta t}}$$
$$r = 0,\dots,mf-1; j = 0,\dots,mt-1$$

toplamı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda MT ve MF sırası ile hesaplanan Stockwell Dönüşümü değerlerinin bağlı olduğu zaman ve frekans sayılarıdır. Zaman verisinin sayısı (N) çok büyük bir değer değil ise MT ve MF sayıları N'ye eşit kabul edilebilir;

$$f = r.\Delta f = \frac{r}{N.\Delta t}, \quad y = m.\Delta f = \frac{m}{N.\Delta t}, \quad \tau = j.\Delta t$$

olarak tanımlanabilir ve gerekli sadeleştirmeler yapıldığında ayrık Stockwell Dönüşümü izleyen şekilde elde edilmiştir:

$$S\left(\frac{r}{N.\Delta t}, j.\Delta\tau\right) = \sum_{m=0}^{N-1} F\left[\frac{m+r}{N.\Delta t}\right].e^{-\frac{2\pi^2 m^2}{r^2}}.e^{\frac{i2\pi mj}{N}}$$
$$r = 0, \dots, N-1; j = 0, \dots, N-1.$$

Zaman ortamında pencere boyutu geniş olursa, Dönüşüm düşük frekanslar için çok daha yüksek frekans çözünürlüğü sağlayabilmektedir. Eğer dar bir pencere seçilirse, yüksek frekanslar için daha iyi zaman çözünürlüğü sağlanacaktır.

Stockwell Dönüşümü aslına bakıldığında KSFD gibi çalışır ancak bu yöntemde farklı frekans değerleri için farklı pencere yüksekliği ve genişliği kullanılabilir. Bu sayede daha yüksek zaman-frekans çözünürlüğü elde edilebilir. Küçük ölçekli ve düşük frekansların incelendiği çalışmalarda çok daha başarılı sonuçlar vermektedir (Başokur 2004).

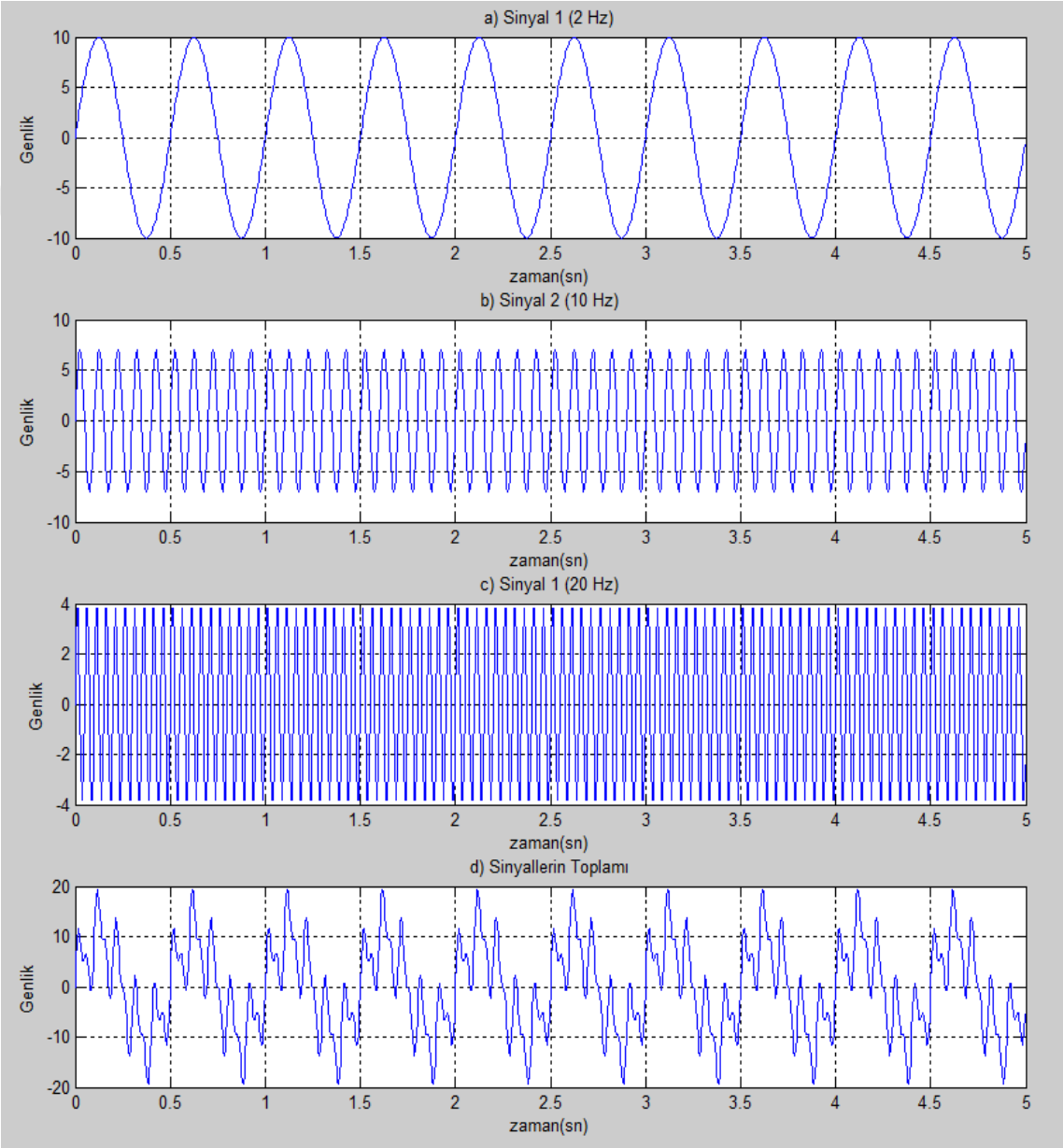
Stockwell Dönüşümünden elde edilen sonuçlar zaman-frekans haritası olarak görüntülenip yorumlanabilir. Yatay eksende zaman ve düşey eksende frekans değerleri olmak üzere harita üzerinde genlik değerleri gösterildiğinde zamana göre frekansın nasıl değiştiği gözlenebilmektedir. Aynı harita üzerinde birden fazla farklı frekansa sahip sinyal karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

Başokur (2007)'dan esinlenilerek, şekil 4.1'de birbirinden farklı frekans ve genliklere sahip üç ayrı sinüzoidal gösterilmiştir. Şekil 4.1.d'de sinüzoidallerin toplamı ayrıca verilmiştir.

Toplam zaman verisinin fonksiyonu;

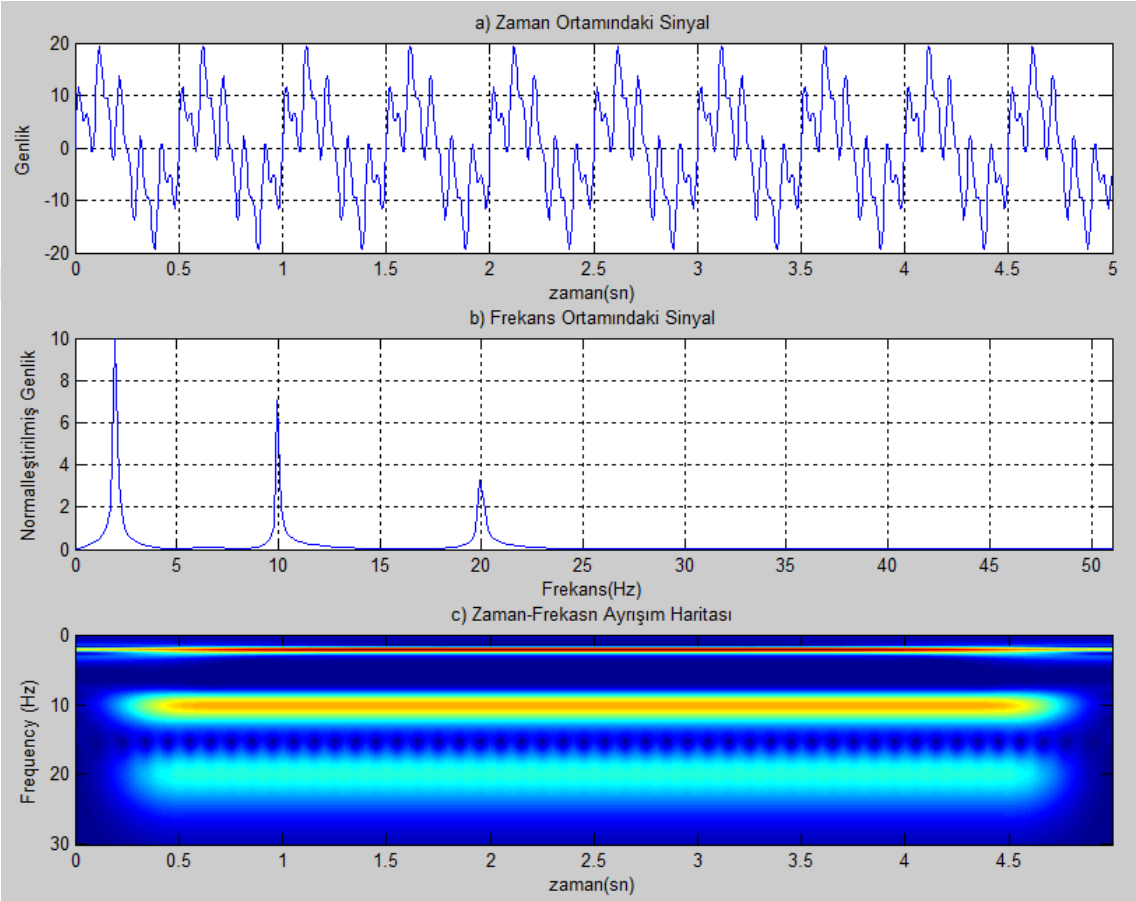
$$f(x_{Toplam}) = 10\,sin(2\pi t) + 5\,sin(2\pi t) + sin(2\pi t)$$

dir. Toplamı oluştururan fonksiyonlar şekil 4.1.a, b, c'de verilmiştir.



Şekil 4.1.a 2 Hz frekansa sahip sinyal, b. 10 Hz frekansa sahip sinyal, c. 20 Hz frekansa sahip sinyal, d. üç sinüzoidalin toplamından oluşan zaman verisi

Sinüzoidaller $\Delta t = 0.005$ örnekleme aralığında sayısal hale getirilmiş, Şekil 4.1.d ve Şekil 4.2.a'da gösterilmiştir. Tüm sinyaller için toplam süre 5 saniyedir. Şekil 4.2.b'de sayısallaştırılmış verinin Fourier Dönüşümü verilmiştir. Dönüşüm sonucunda sinyallerin frekans değerleri sırasıyla 2, 10 ve 20 Hz olarak doğru olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2.a Üç sinüzoidalin toplamından oluşan zaman verisi, b. Fourier Dönüşümü, c. zaman-frekans ayrışım haritası

Şekil 4.2.c'de ayrık zaman ve frekans değerlerinde hesaplanan Stockwell Dönüşümü gösterilmiştir. Sentetik olarak oluşturulan sinüzoidaller belirlenen zaman aralığı boyunca sabit frekansa sahip olarak devam etmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere beklenen frekanslarda üç adet yüksek genlikli iz gözükmektedir. Zaman-frekans haritasında görülen toplam sinyalin verisinin içerisinde 2, 10 ve 20 Hz frekanslarına sahip ayrı sinyaller olduğudur. Şekilde dikkat çeken diğer bir unsur sinyallerin frekans ekseni boyunca kapladıkları alanların birbirinden farklı olmasıdır. Bunun nedeni gauss

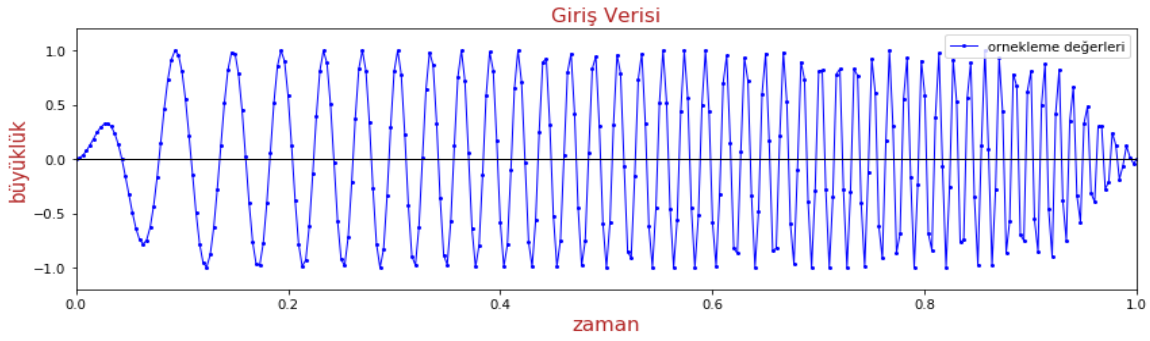
penceresinin farklı frekanslarda farklı karaktere sahip olmasından dolayıdır. Gauss penceresi zaman ortamında alçak frekanslar için daha uzundur. Zaman bölgesinde geniş olan bir fonksiyon, frekans bölgesine geçtiğinde daralır. Bunun sebebi de Fourier Dönüşümünün ölçekleme özelliğidir. Şekil 4.2.b ve şekil 4.2.c karşılaştırıldığında zaman ortamında frekans büyüdükçe, gauss fonksiyonu daralır ancak frekans ortamına geçerken bu tersini yaparak genişler. Çizimler logaritmik olarak çizilse de ayrımlılıkda bir değişiklik olmayacaktır. Bu sebeple frekans bandı aralığı kHz seviyesine çıksa bile frekanslar arası değişimler rahatlıkla görülebilecektir.

Sentetik verinin yanında gerçek veriler üzerinde denendiğinde de Stockwell Dönüşümü yoruma yardımcı yöntemlerdendir. Sismik yöntemlerde yer içerisindeki hem sığ hem de derin katmanları inceleyebilmek için silkeleme sinyali karma frekansa sinyal olarak seçilir. Şekil 4.3'de örnek bir silkeleme sinyali verilmiştir. Sinyal fonksiyonu;

$$f(t) = A.sin\left[2\pi\left\{f_1 + \frac{f_2 - f_1}{2T_s}t\right\}.t\right]$$

Burada, f_1 ve f_2 başlangıç ve bitiş frekansları; T_s sinyal süresini temsil etmektedir. Sinyal f_1 frekansı ile başlar, f_2 frekansı ile sonlanır.

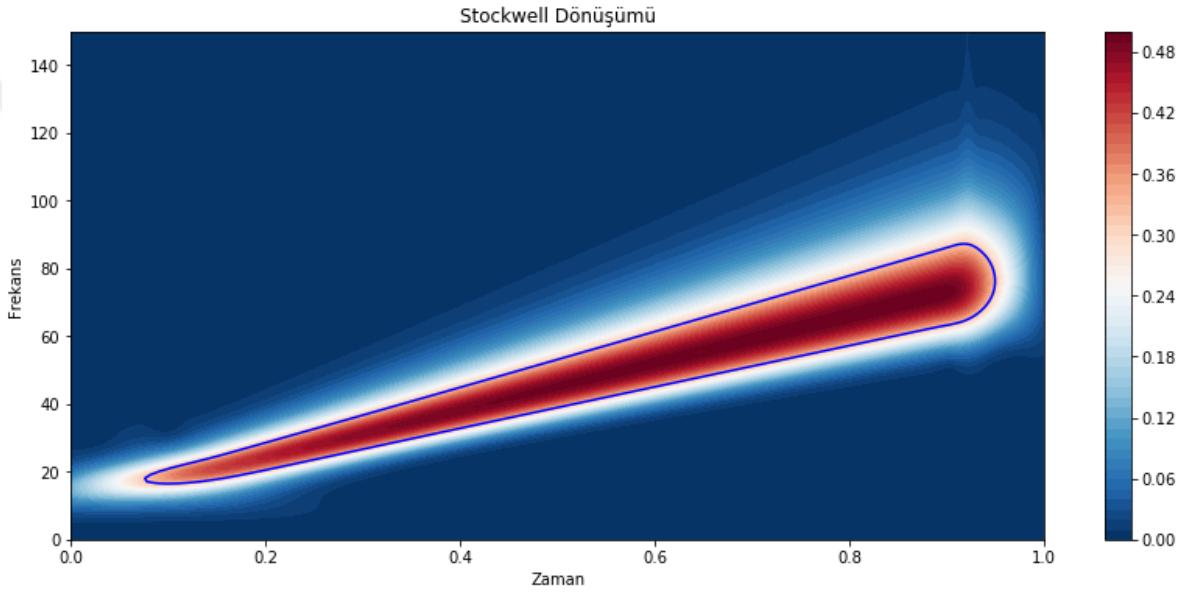
Başokur (2007)'de verilen silkeleme sinyali örneğinde sinyal 10 Hz'lik frekansla başlayıp sürenin sonuna doğru 80 Hz ile bitirilmiştir. Sinyalin örnekleme aralığı 1ms'dir. Şekil 4.4'te görüldüğü üzere 10 ve 80 Hz aralığında sinyal neredeyse sabit bir genliğe sahiptir. Şekil 4.5'te ise zamana karşılık frekansın nasıl değiştiği gösterilmiştir. Sinyalin zamanda ilerledikçe frekansının arttığı açıkça gözlenmiştir.



Şekil 4.3 10 Hz-80 Hz silkeleme sinyali



Şekil 4.4 Fourier Dönüşümü

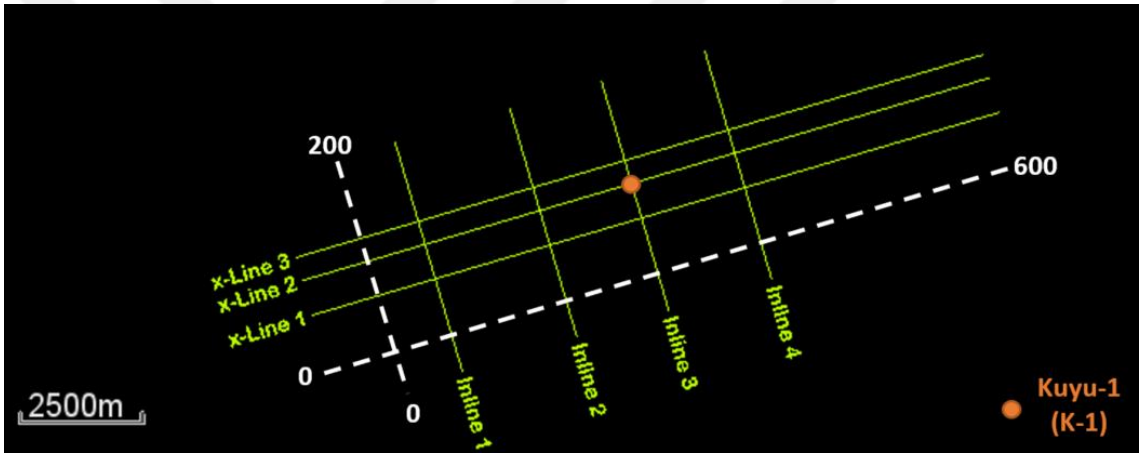


Şekil 4.5 Zaman-frekans ayrışım haritası

Bu bölümde anlatılanlar, Materyal ve Yöntem bölümünde gerçek bir iki boyutlu sismik data üzerinde uygulanacak ve daha sonra yorumlanacaktır.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

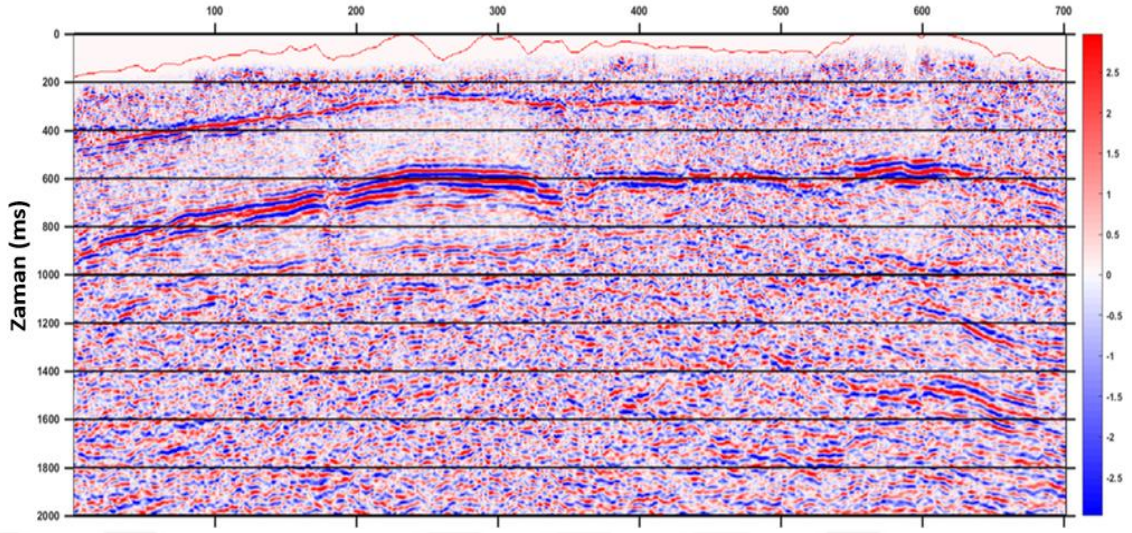
Bu tezde, araştırma kuyularında yapılan testlerle karbonat reservuarları bulundurduğu ispatlanmış bir sahada gaz rezervuarlarının kestirimi üzerine çalışılmıştır. Sahada yapılan sismik çalışmada elde edilen ve Şekil 5.1'de gösterilen sismik hatlardan bunların dört tanesi in-line (dip line) ve üç tanesi x-line (strike line) olmak üzere 7 adet iki-boyutlu sismik hat kullanılarak frekans içerikleri zaman ortamında elde edilmiş ve Stockwell Dönüşümü ile yorumlama aşamasına getirilmişlerdir. Kuyu ve sismik arama, formasyon dokanakları, bölge ve koordinat detaylarına sahanın aktif araştırma bölgelerinden olması sebebi ile bu tezde yer verilmemiştir.



Şekil 5.1 Kullanılan sismik hatlar ve kuyu noktası

İki-boyutlu sismik verilerin üzerinde herhangi bir düzenleme veya nitelik (attribute) uygulaması yapılmamıştır. Sırasıyla veri işlem aşamalarından geçmiş olan sismik yansıma kesitleri görüntülenmiş, incelenmiş ve yorumlamaya uygun hale getirilmiştir. Şekil 5.2'de kullanılan sismik hatlardan birinin örneği verilmiş.

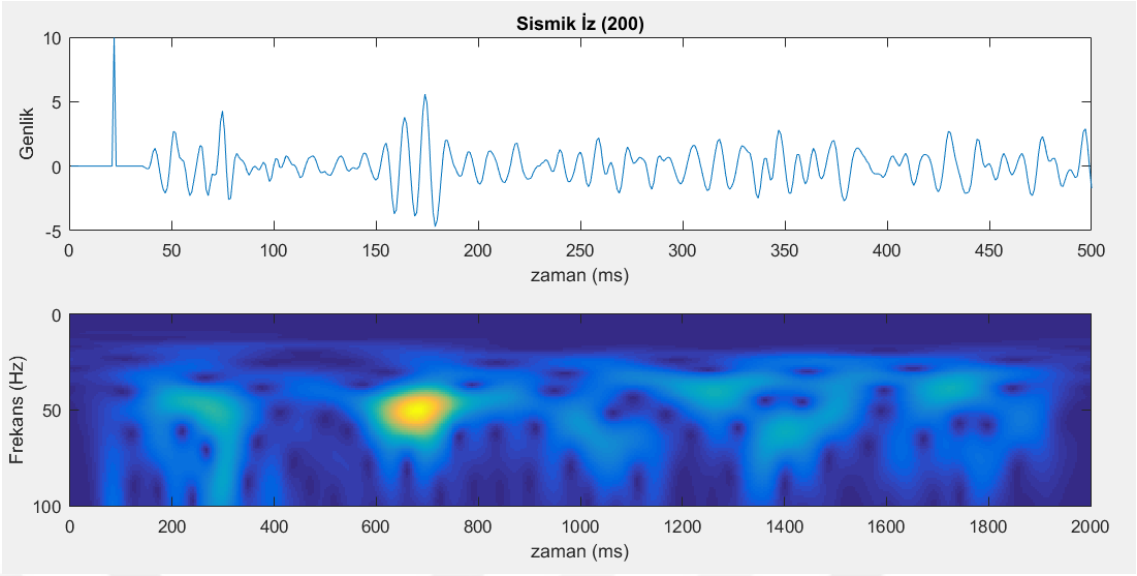
Segy formatında kullanılan iki-boyutlu sismik veriler üzerinde yapılan tüm hesaplamalarda MATLAB programlama dilinde yazılan programlar kullanılmıştır. Programların bazıları MATLAB programlama dilinin kullanıcılara açık interaktif kütüphanesinden alınıp tez çalışmasına uygun formatta düzenlenmiştir. Programların alındığı kütüphane bilgisi kaynaklarda belirtilmiştir.



Şekil 5.2 Stockwell Dönüşümü uygulanacak olan iki-boyutlu sismik kesit örneği

Kullanılan programların tamamı değiştirilebilir ve farklı parametrelerle farklı örnekler yapmaya uygundur. Bu sebeple sismik verinin sahip olduğu frekans içeriğine göre örnekler çoğaltılmış ve karşılaştırılarak yorumlama yapılmaya çalışılmıştır.

Stockwell Dönüşümünün uygulandığı ana program Başokur (2007)'un yazılımı baz alınarak çalışmaya uygun hale getirilmiştir. Program MATLAB programında çalıştırılmıştır. Veri okuma ve yorumlama için parametre değişiklikleri kullanıcı tarafından yapılabilmektedir. Şekil 5.3 kullanılan Dönüşüm sonucu alınan bir zaman-frekans grafiğini göstermektedir.

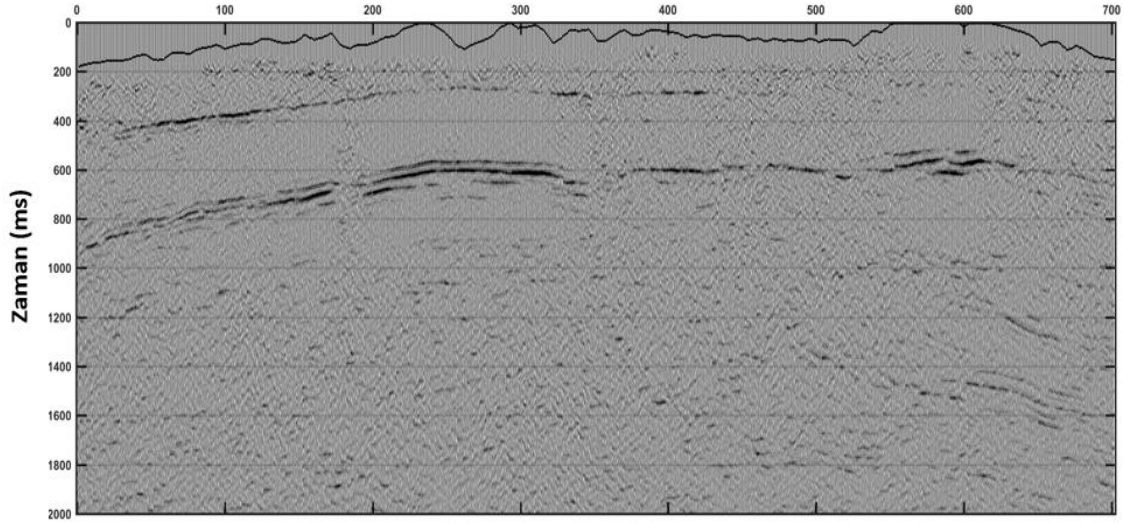


Şekil 5.3 Stockwell Dönüşümü uygulanan bir sismik izin zamana göre frekans içeriği

Bölüm 6'da yöntemin çalışırlığını denetlemek amacı ile sahada gaz rezervuarını kesen kuyunun (Kuyu-1) jeolojik bilgisi ve yapılan üretim testleri kısaca özetlenmiştir.

6. STOCKWELL DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI

Bu tezde seçilen iki-boyutlu sismik kesitlerin zamana karşı frekans değişimi farklı parametrelerle incelenmiş ve gaz reservuarlarının kestirimi için kullanılmıştır. İki-boyutlu sismik kesitlerin başlıca kullanılan parametreleri; sismik iz sayısı, sismik iz süresi ve örnekleme aralığıdır. Sismik kesitlerin tamamında aynı olan başlıca parametreler çizelge 6.1'de verilmiştir. Verilerin baskın frekansları hesaplanmış, ardından araştırma sahasında şüpheli olan bölge önceden belirlendiğinden, bu bölgedeki bazı sismik izlere Stockwell Dönüşümü uygulanarak frekans içeriklerinin zaman ortamındaki halleri incelenmiştir.



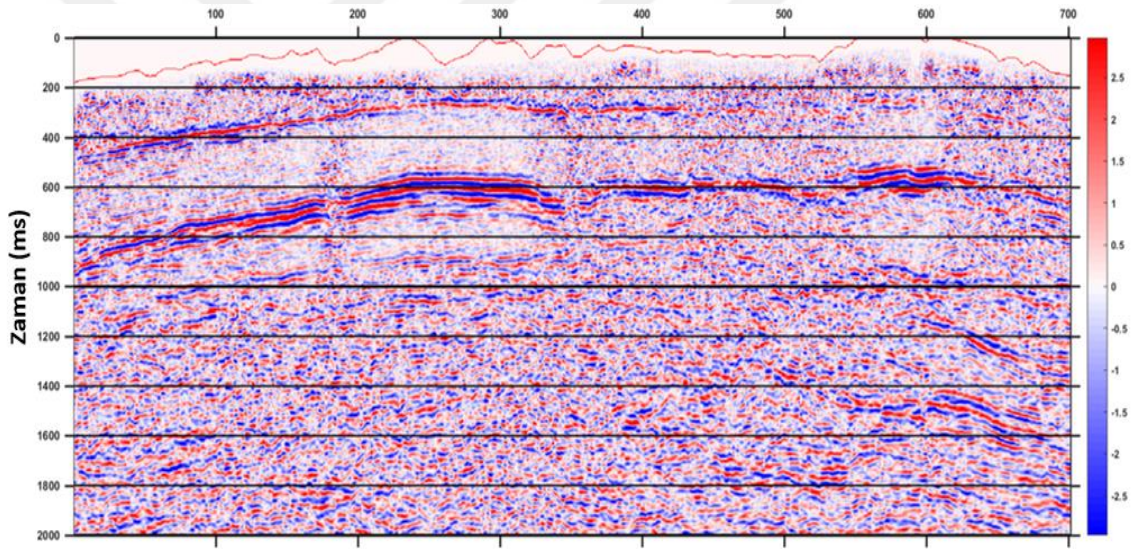
Şekil 6.1 iki-boyutlu sismik kesit örneği

Bölüm 2.2'de anlatıldığı gibi sismik yansımalar, iki farklı tabaka arasındaki akustik empedansların (Z) farklarının toplamlarına bölümünden elde edilen yansıma katsayısı (R) ile ilişkilidir. Yansıma yüzeylerindeki yansıma katsayıları, süreksizlik yüzeyleri, yayılma kayıpları ve dizilim gibi bir çok etmenden etkilenmesine rağmen sismik izlerdeki genlik değişimlerinin başlıca kaynağıdır. Şekil 6.1'de bu tezde ki çalışmada kullanılan sismik kesitlerden bir örnek gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 Sismik kesit parametreleri

Sismik İz Sayısı (Inline)	200
Sismik İz Sayısı (xline)	600
Sismik İz Süresi (ms)	2000
Örnekleme Aralığı (ms)	4
İlk veri zamanı (s)	0

Sismik kesitler yorumlamanın kolaylaştırılması ve yapının daha rahat ortaya çıkarılabilmesi için şekil 2.4'te gösterilen polarite kuralına uygun olacak şekilde tepe ve çukurları seçilen renklendirme formatına doldurularak gösterilebilir. Şekil 6.2 mavi-beyaz-kırmızı (blue-white-red (strong)) renk kodu ile renklendirilerek gösterilmiştir.

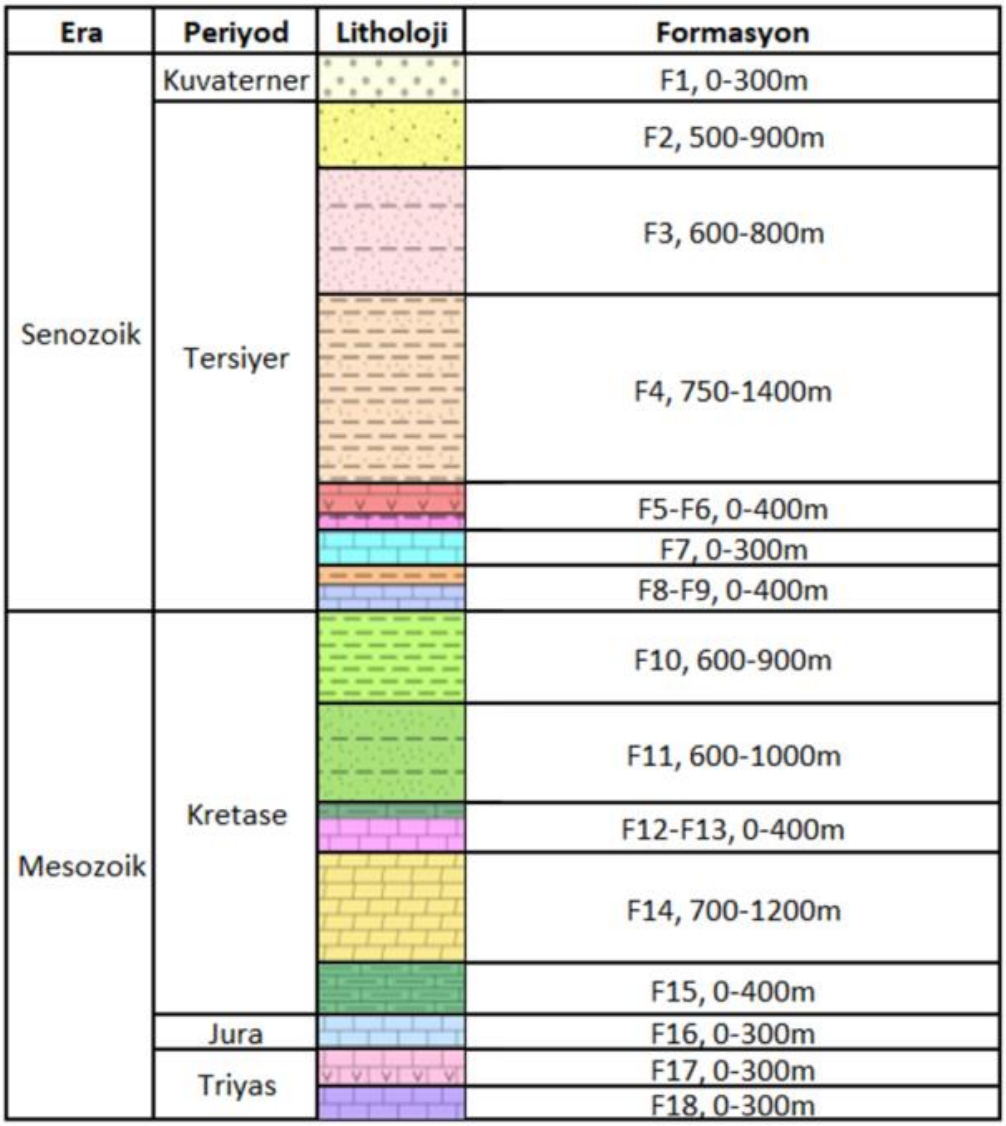


Şekil 6.2 iki-boyutlu renklendirilmiş sismik kesit örneği

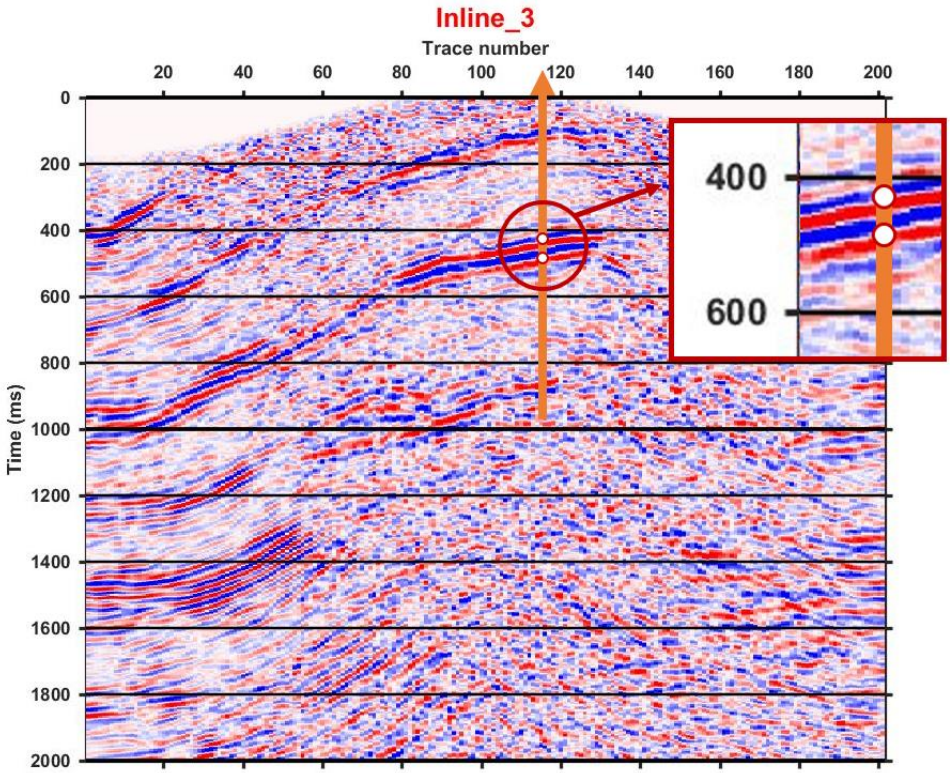
Çalışmada sırasıyla 200 ve 600 sismik ize sahip inline ve xline hatlar kullanılmıştır. Hatların çalışma sahasındaki konumları şekil 5.1'de gösterilmiştir. Daha önce bahsedilmiş olan K-1 araştırma kuyusu, Inline 3 ve x-line 2'nin kesiştikleri noktada bulunmaktadır. Şekil 6.3'te sahanın genelleştirilmiş stratigrafik kesiti verilmiştir. Bu çalışmada odaklandığımız formasyon F7'dir.

F7 formasyonu üzerindeki anhidritli formasyon tarafından kapanlanmıştır. Kretase yaşında ve denizel ortamda çökelmiş bir gaz reservuarıdır. Bölgedeki ortalama kalınlığı

300m'ye kadar ulaşmaktadır. Litholojik olarak masif karbonat kireçtaşı olan formasyonda bazı bölgelerde ince dolomit dilimlerine de rastlanmıştır. Sismik kesitlerde litholojik karakterinden dolayı belirgin yansımalar oluşturan formasyon, rezervuar özellikleri açısından da yüksek geçirgen ve bol gözenekli bir yapıya sahip olmasıyla ekonomik bir rezervuar olmaya adaydır.



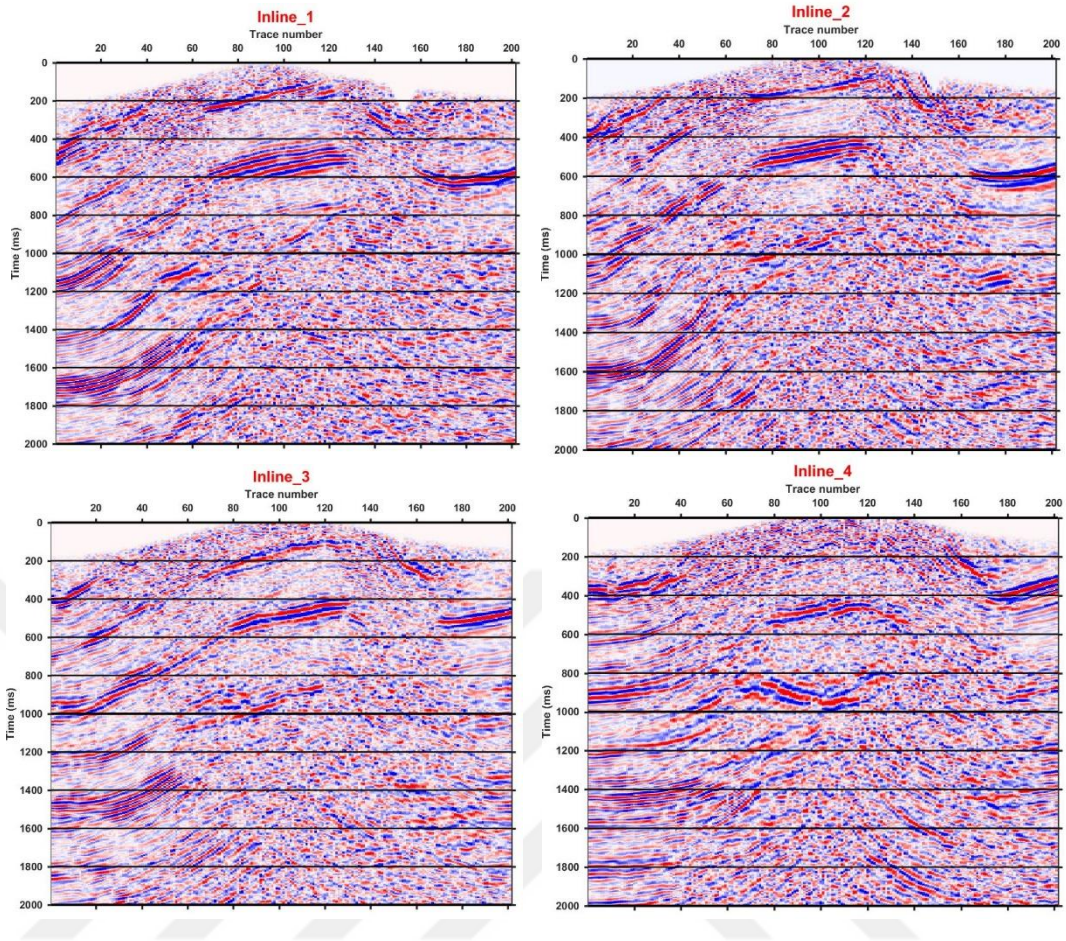
Şekil 6.3 Genelleştirilmiş stratigrafik kesit



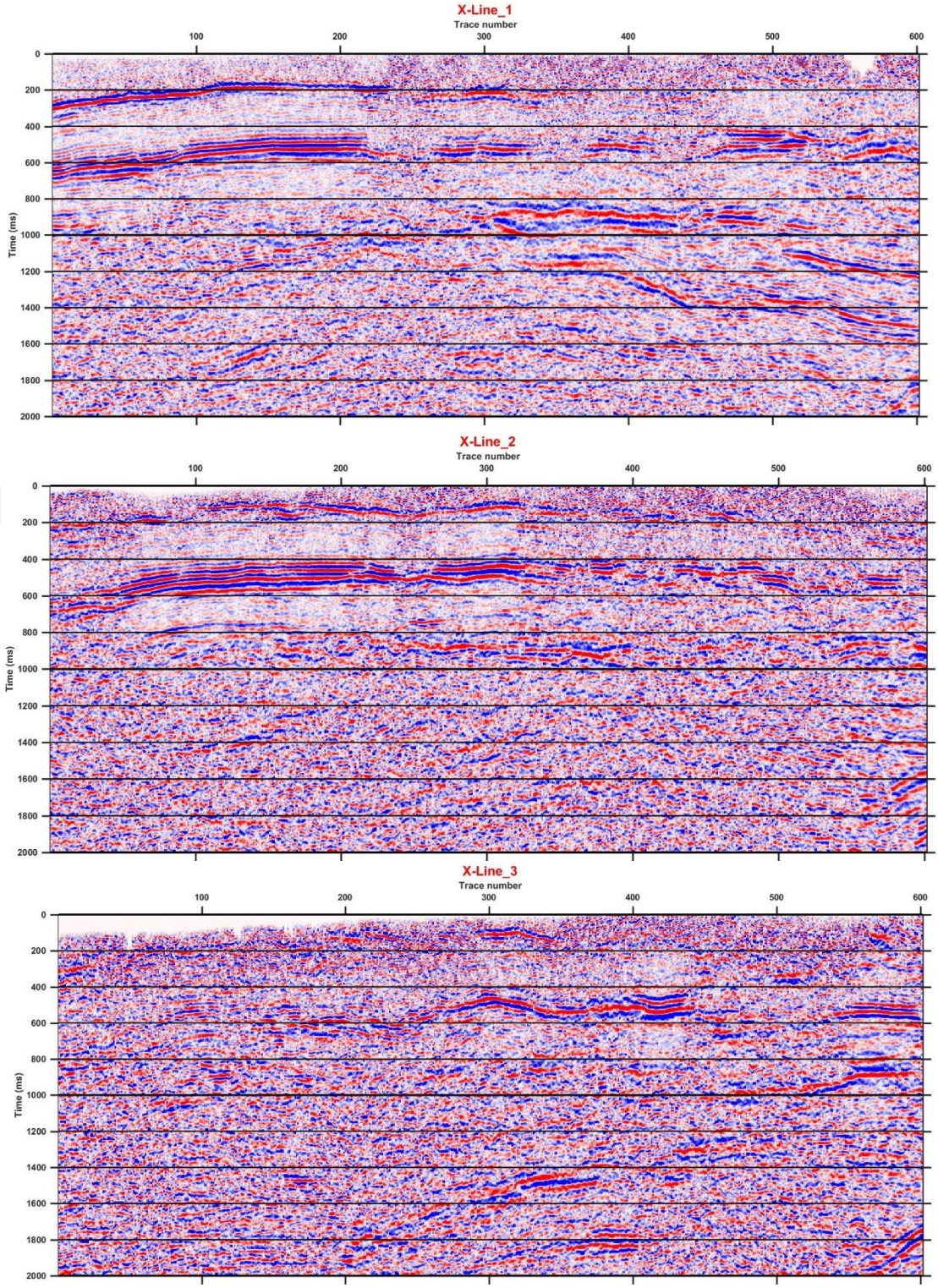
Şekil 6.4 Inline-3 ve çalışmada kullanılan kuyu noktası

Çalışmada kullanılan inlinelar 200 sismik ize, xlinelar 600 sismik ize sahiptir. Hatların tamamının iz süreleri 2 s'dir. Kuyu testleri de göz önüne alındığında inlineda 80. ve 120. izler arasında 400 ms'den başlayarak 700 ms'ye kadar anomaliler bulunmaya çalışılacaktır.

Çalışmada kullanılacak olan sgy. formatında sismik hatlar MATLAB programı kullanılarak görüntülenmiş ve çalışmada kullanılmak üzere veri olarak kaydedilmiştir. Kullanılacak olan sismik kesitler şekil 6.5 ve 6.6'da verilmiştir. Sismik hatların büyük ölçekli görselleri EK 1'de verilmiştir.



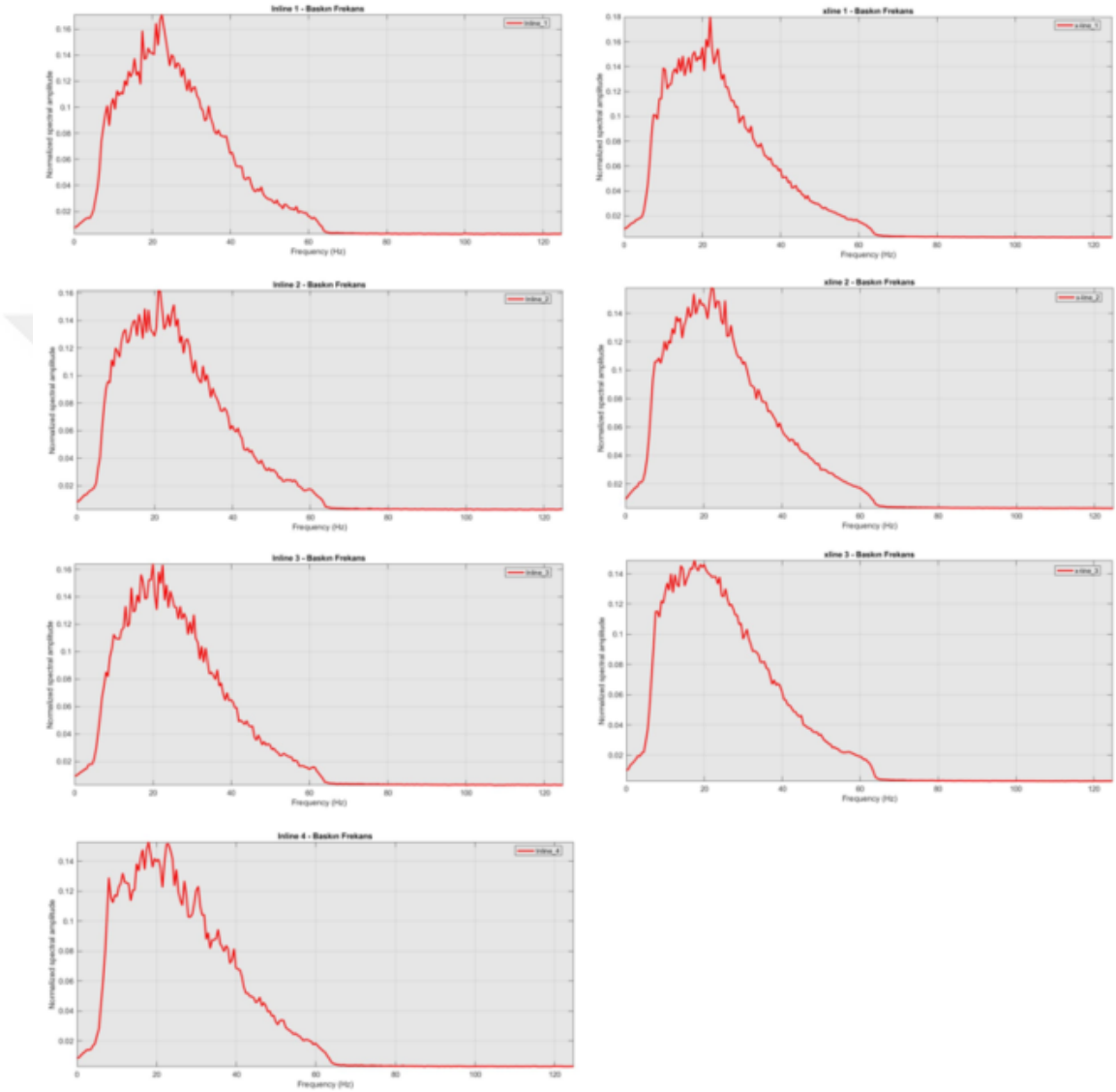
Şekil 6.5 Inline-1 (sol üst), inline-2 (sağ üst), inline-3 (sol alt), inline-4 (sağ alt).



Şekil 6.6 xline-1 (üstte), xline-2 (ortada), xline-3 (altta).

Stockwell Dönüşümü uygulamalarında ana parametre frekans olmasından dolayı Dönüşüme geçilmeden önce sismik kesitlerin sahip olduğu baskın frekanslara bakılmıştır.

Şekil 6.7'de frekansa karşılık normalize edilmiş genliklerin çizildiği ana grafiklerde baskın frekanslar görüntülenmiştir. Grafiklerin büyük ölçekli görselleri EK 2'de verilmiştir. Bulunan değerler çizelge 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.7 Baskın frekans grafikleri.

Baskın frekans grafikleri incelendiğinde yaklaşık 10 Hz frekansından başlayarak neredeyse 70 Hz'e varan frekans içeriğine sahip olan kesitler, 30 Hz'den 65 Hz'e kadar genliklerini kaybetmiş ve sonrasında sönümlenme hareketine geçmiştir. Stockwell

Dönüşümü yapıldıktan sonra sonuçlar incelenirken beklenti anomalinin görüleceği frekans değerlerinin 8 Hz ile 40 Hz arasında olmasıdır.

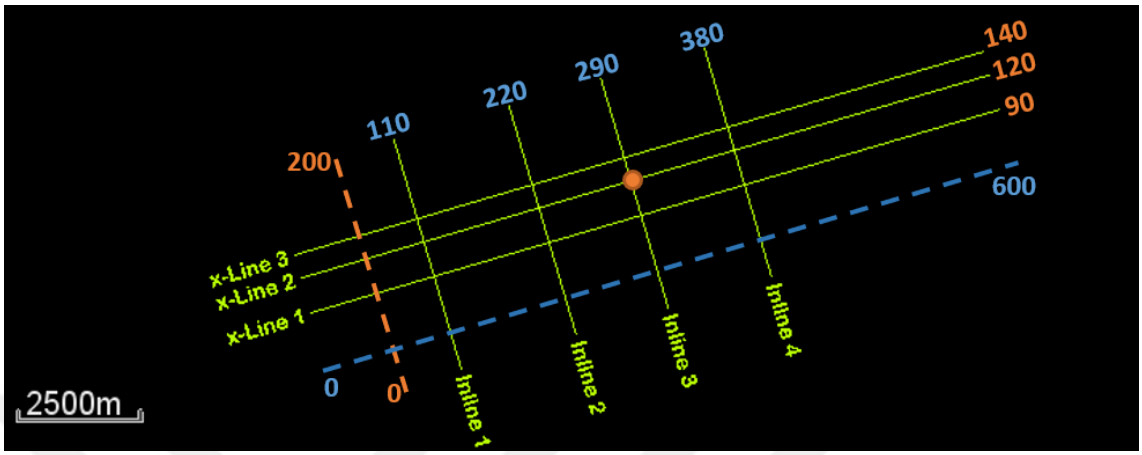
Çizelge 6.2 Sismik kesitlerin baskın frekansları

Sismik Kesit	Baskın Frekans (Hz)
Inline-1	23
Inline-2	21
Inline-3	20
Inline-4	24
xline-1	22
xline-2	23
xline-3	18

Şekil 4.2.a'daki 2, 10 ve 20 Hz lik 3 farklı verinin toplamından oluşan basit verinin Fourier Dönüşümü alındığında frekans değerleri şekil 4.2.b'de gösterilmiştir. Aynı işlem Stockwell Dönüşümü ile tekrarlandığında zaman-frekans haritası üzerinde 2, 10 ve 20 Hz sabit frekanslarına sahip düzgün ilerleyen genlikler gösterilmiştir. Gauss penceresi zaman ortamında alçak frekanslar için daha uzundur. Zaman bölgesinde geniş olan bir fonksiyon, frekans bölgesine geçtiğinde daralır. Fourier Dönüşümünün ölçekleme özelliğinden dolayı zaman ortamında frekans büyüdükçe gauss fonksiyonu daralır ve frekans ortamına geçerken tersi tepki ile genişler. Bu sebeple yüksek frekanslara çıkıldıkça anomaliler daha geniş olması beklenir ancak ayrımlılık yine de gözlenebilir. Bahsedilen değişikliğin daha net anlaşılması için şekil 4.3'deki silkeleme sinyali örnek olarak verilmiştir. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi genlik sabit olmasına rağmen zaman ortamında frekansın artışı ile birlikte Stockwell Dönüşümü sonrası daha kalın bir sırt ile görüntülenmiştir.

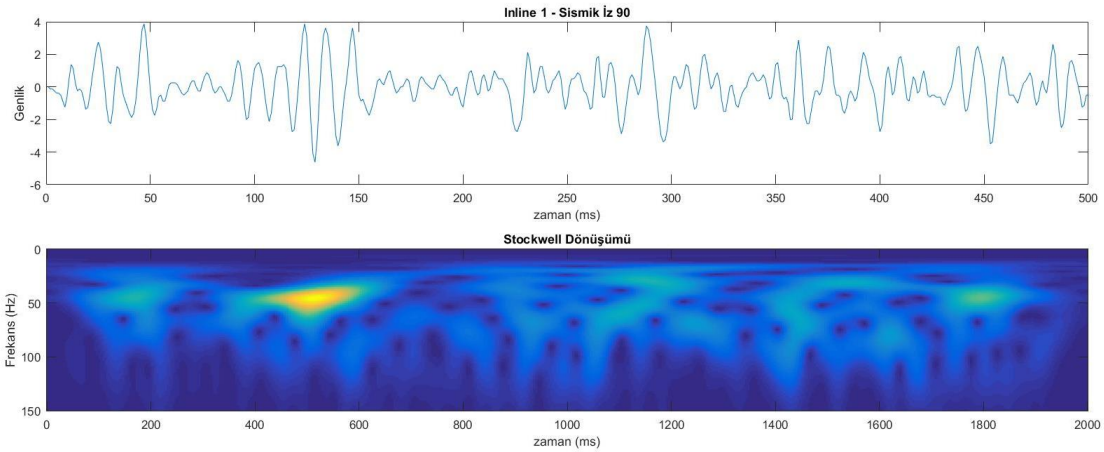
Yukarıda bir önceki bölümlerden alıntılar yapılarak bahsedilen duruma göre baskın frekansları çıkarılan sismik hatlarda öncelikli olarak birbirilerini kestikleri noktalardaki izlerin Stockwell Dönüşümleri alınmış ve sismik izlerin zamana göre frekans değişimleri incelenirken birbirleri ile ilişkileri de kurulmaya çalışılmıştır. Stockwell Dönüşümü

yapılacak izler şekil 6.8'da gösterildiği gibi sırasıyla KB-GD yönlü hatlarda 90-120-140, KD-GB yönlü hatlarda 110-220-290-380 dir.

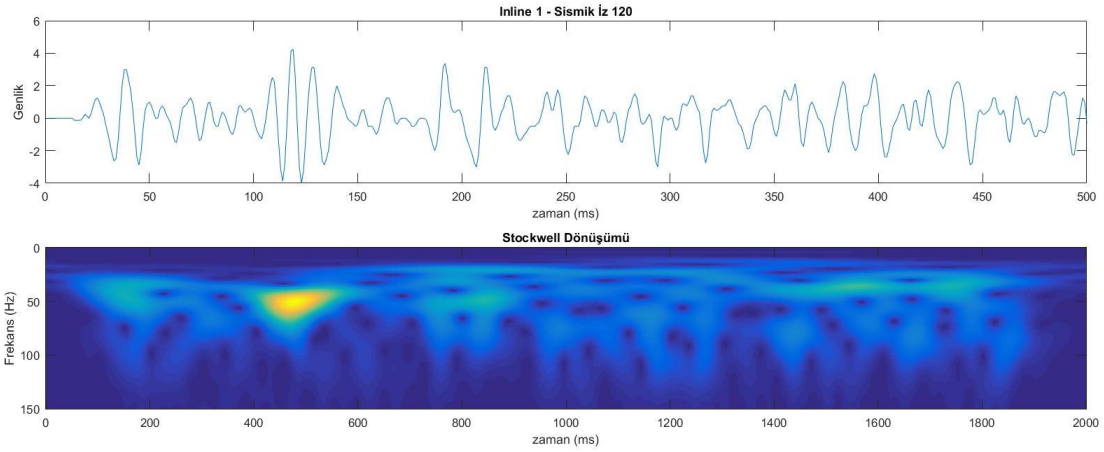


Şekil 6.8 Stockwell Dönüşümü yapılacak izlerin konumları

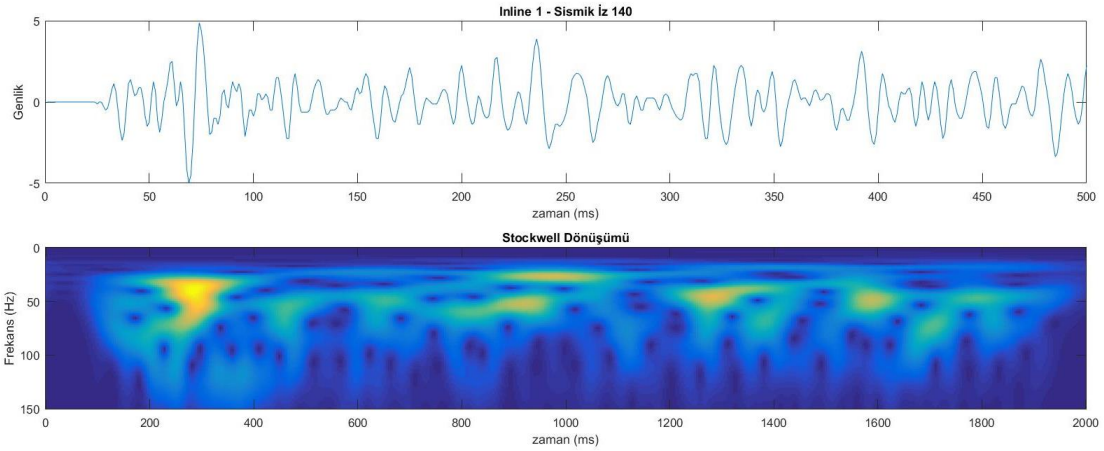
Inline 1 üzerinde güneyden kuzeye doğru sırasıyla 90, 120 ve 140 numaralı sismik izlerin Stockwell Dönüşümü yapılmıştır. Şekil 6.9-6.11 arasında verilen sonuçlar incelendiğinde ilk iki Dönüşümde 30-60 Hz aralığında 400 ms de başlayan ve 650 ms'ye kadar devam eden bir anomali gözlenmektedir. Şekil 6.11'de aynı bölgedeki anomali azalmış ancak 200-300 ms aralığında farklı bir anomali gözlenmiştir. Araştırması yapılan gaz rezervuarı GBB-KDD doğrultulu uzanan ve çok geniş olmayan bir antiklinaldir. Yapının başlangıcının yaklaşık olarak inline-1'in batısında kalmaktadır. Dolayısıyla ilk anomalilerin bu hatta görülmesi beklenen bir durumdur.



Şekil 6.9 Inline 1 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

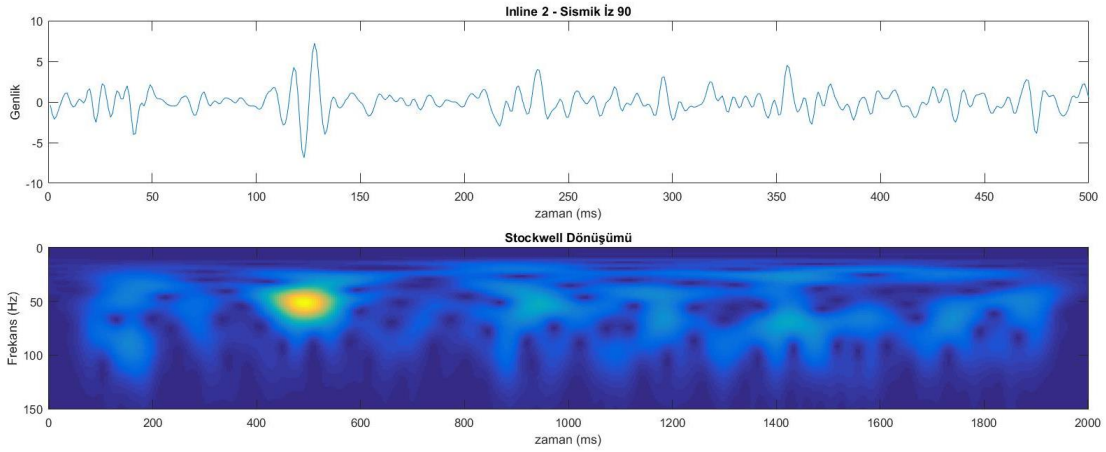


Şekil 6.10 Inline 1 sismik iz 120'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü

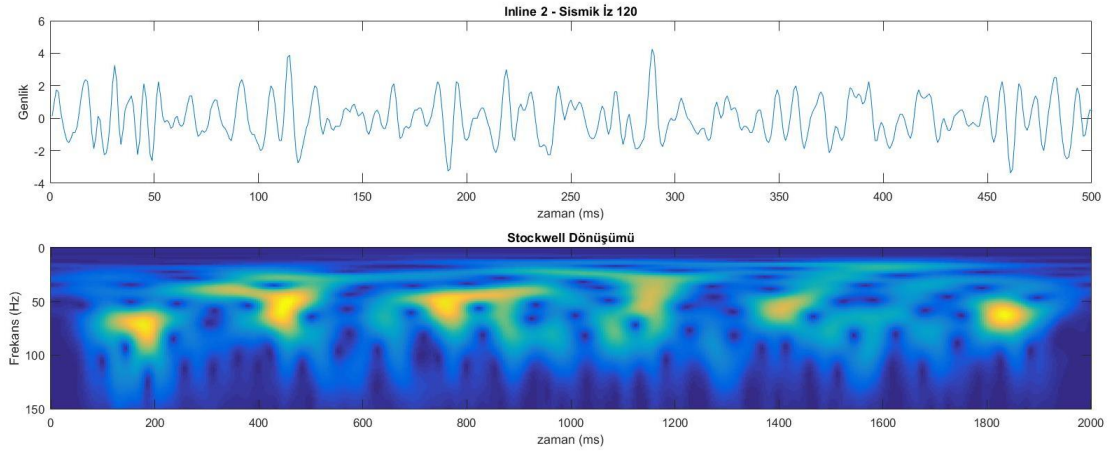


Şekil 6.11 Inline 1 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

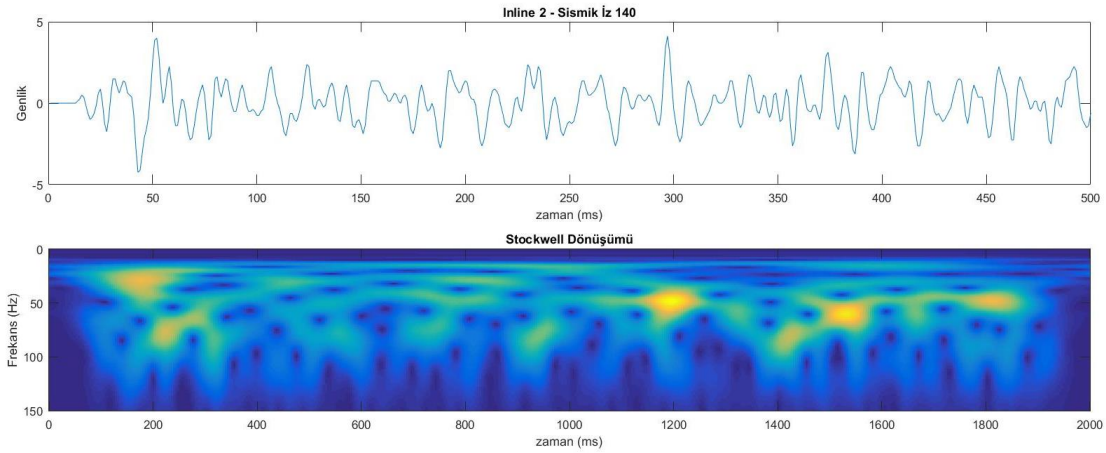
Inline 1'de olduğu gibi Inline 2'de de aynı sismik izlerin Stockwell Dönüşümü alınmıştır. Dönüşüm sonucunda hazırlanan zaman-frekans haritaları Şekil 6.12-6.14 arasında verilmiştir. Sismik iz 90 ve 120'nin Dönüşümü sonucunda ilk hatta görülen anomaliye 400-550 ms aralığında tekrar rastlanmıştır. Bunun yanısıra 120 ve 140 nolu sismik izlerde 800, 1200, 1400 ve 1800 ms'lerde farklı anomalilere de rastlanmıştır. Dikkat edilmesi gereken, bu anomalilerin hangilerinin doğru olduğunun kestirilmesidir. Bu sebeple bu çalışmada anomalilerin devamlılığı göz önüne alınmaktadır.



Şekil 6.12 Inline 2 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü



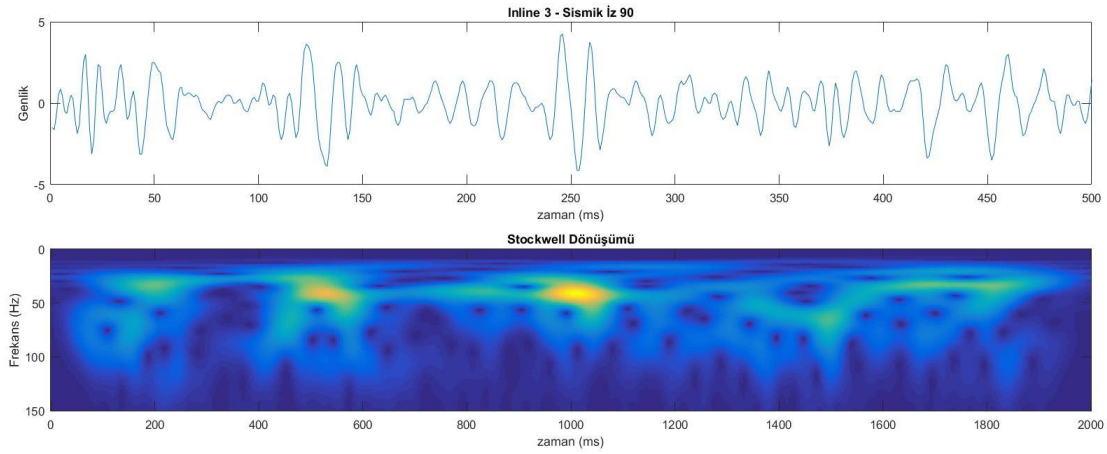
Şekil 6.13 Inline 2 sismik iz 120'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü



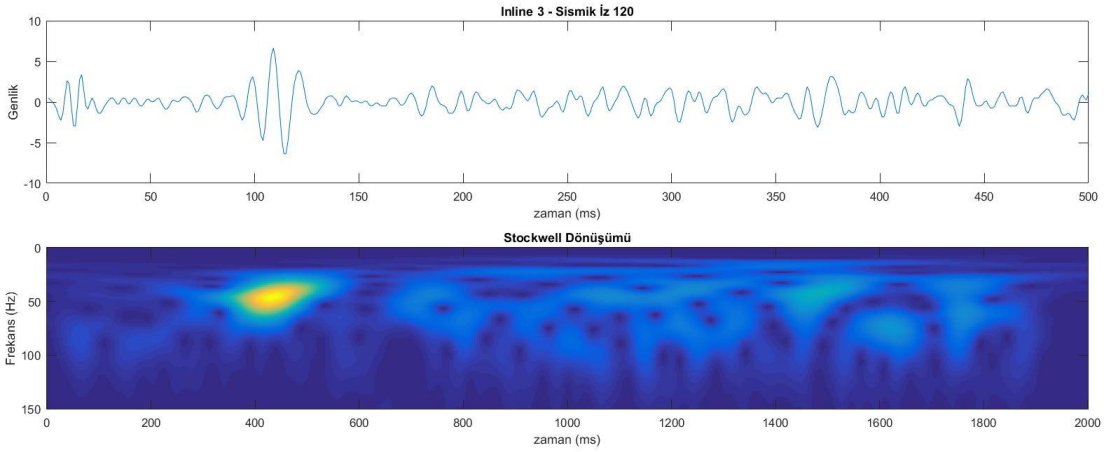
Şekil 6.14 Inline 2 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

Inline 3 bu çalışmadaki en önemli iki sismik hattan biridir. Bunun nedeni de akış testi yapılan kuyunun bu hat üzerinde olmasıdır. Şekil 6.15-6.17 arasında yapılan Dönüşümlerin haritaları verilmiştir. Sismik iz 90'ın Dönüşüm sonucuna bakıldığında daha önce karşılaşılan anomali kendini korumaya devam etmektedir. Bunun yanında 1s civarında 40 Hz'lik bir anomalinin oluştuğu görülmektedir. Sismik iz 120, araştırma kuyusunun olduğu nokta, şu ana kadar alınan en net anomaliyi vermektedir. Frekans ve bulunduğu zaman aralığı zaman-frekans kesitinde oldukça baskındır.

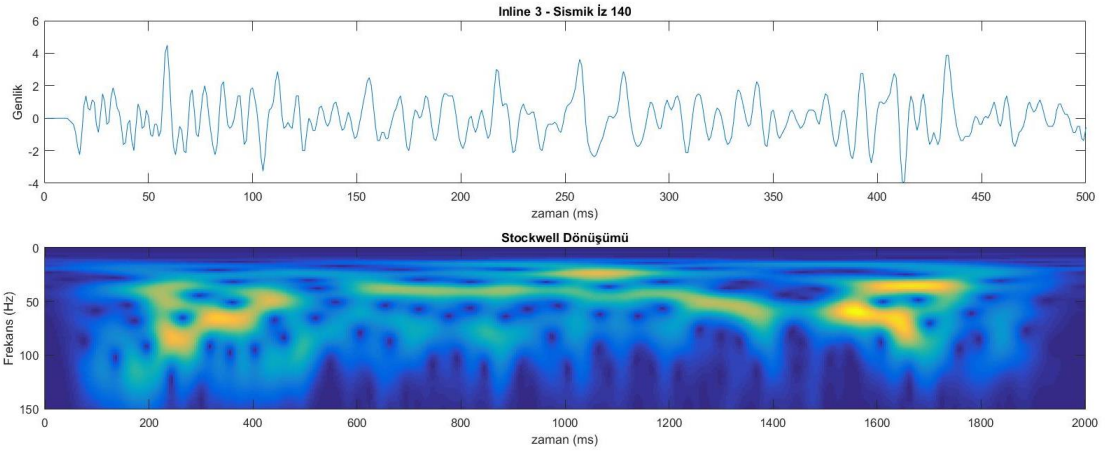
Sismik iz 140'a geçildiğinde ise dikkat çeken durum anomaliden ziyade süreklilik ifade edercesine zamanda devam eden frekans bandıdır. Yaklaşık 40 Hz civarında olup 600 ms'den 1800 ms'ye kadar devam etmiştir. Bu durum anomali göstermek yerine sismik izdeki veri işlem aşamasında giderilemeyen gürültülerden kaynaklanmaktadır. Kesitte o bölgede öne çıkan bir yansıma bile olmamasına karşın belli bir frekans aralığının süreklilik göstermesi beklenen bir durum değildir.



Şekil 6.15 Inline 3 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

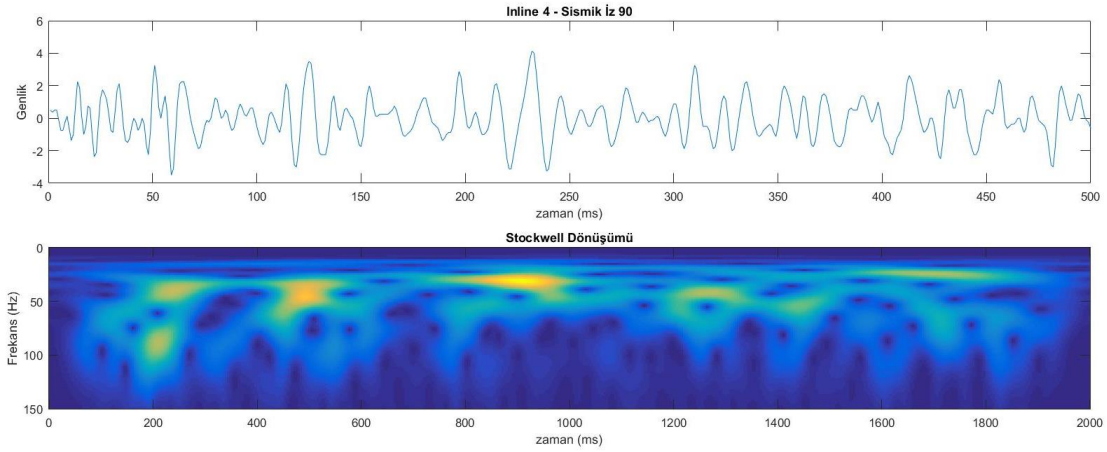


Şekil 6.16 Inline 3 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

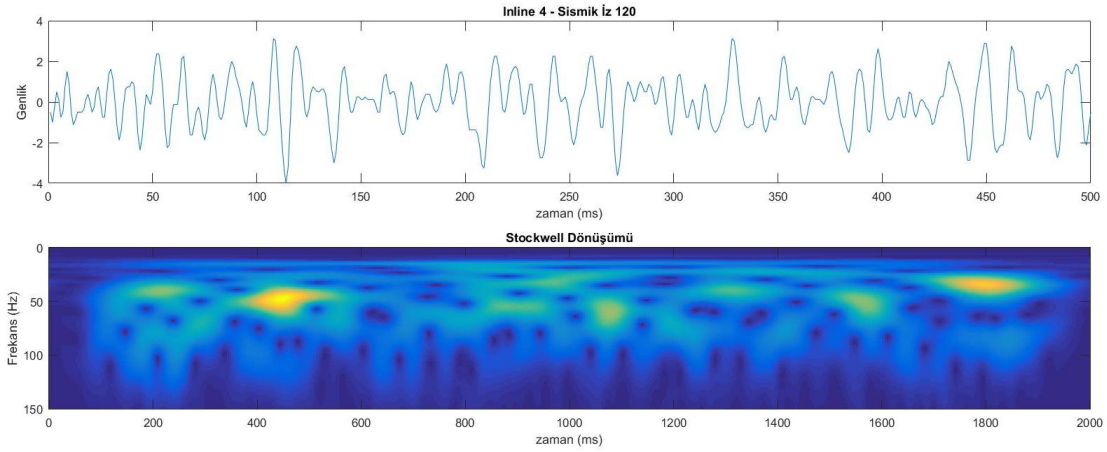


Şekil 6.17 Inline 3 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

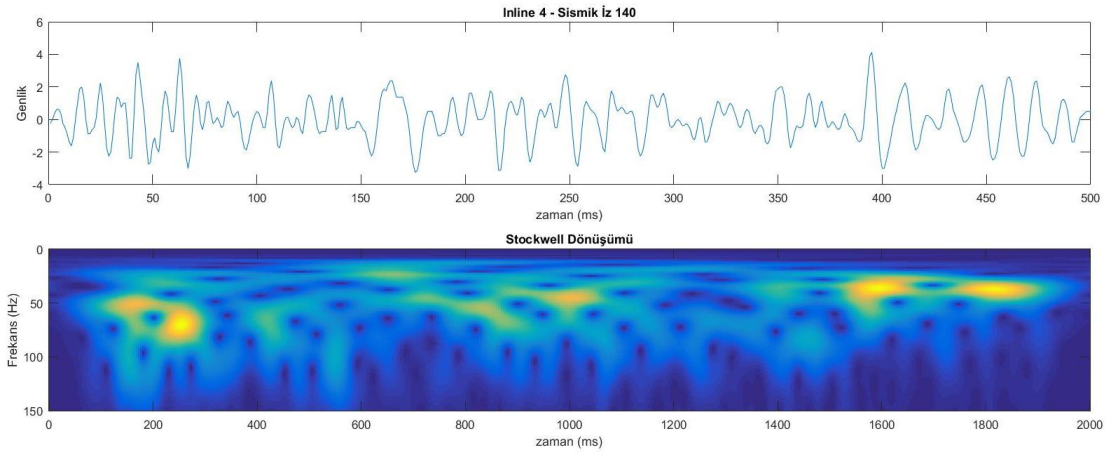
Eğim doğrultusundaki hatların sonuncusu olan inline 4'te yapılan Dönüşüm sonuçları inline 3'de bahsedilen gürültü sıkıntısını daha net açıklar niteliktedir. Dönüşüm yapılan izlerin üçünde de paralel devam eden sürekli anomali benzeri gürültüler göze çarpmaktadır. Şekil 6.8'deki Inline-4 sismik hattı da incelenirse iki ana yansımadan başka yorumlanabilecek yansıma da bulunmamaktadır. Ancak sismik iz 90 ve 120'de daha önce belirtilmiş olan anomalinin bir benzeri tekrar görüntülenmiştir. Elde edilen zaman-frekans haritaları Şekil 6.18-6.20 arasında verilmiştir.



Şekil 6.18 Inline 4 sismik iz 90'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

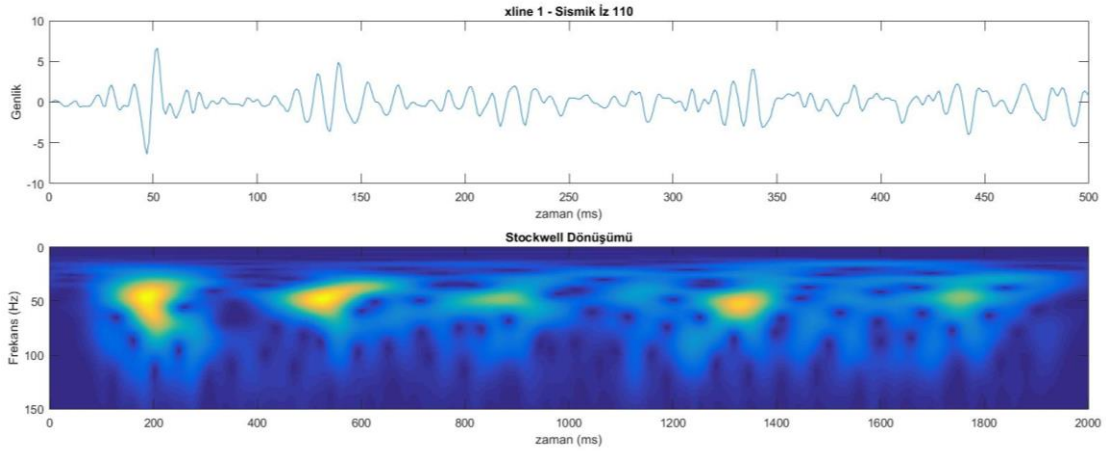


Şekil 6.19 Inline 4 sismik iz 120'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü

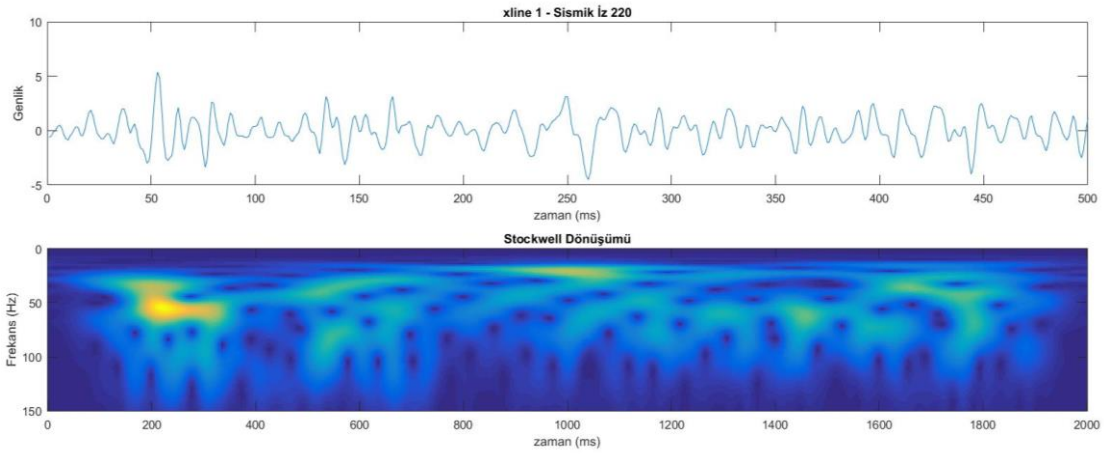


Şekil 6.20 Inline 4 sismik iz 140'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

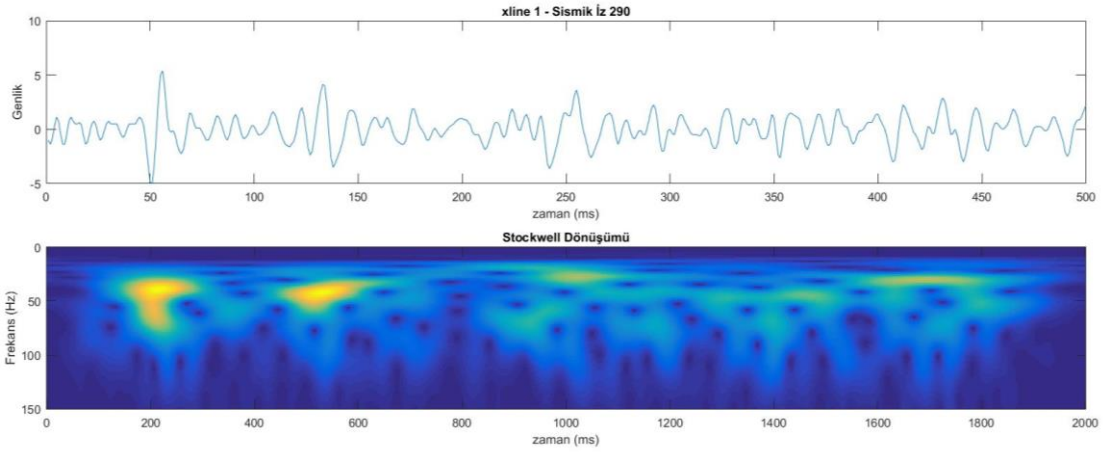
Yapı eğimine dik olan kesitlerde dörder adet izde Stockwell Dönüşümü yapılmıştır. Bunlar 110, 220, 290 ve 380 numaralı sismik izlerdir. Şekil 6.21-6.24 incelendiğinde çok belirgin ve devemlılığı olan iki anomali görülmektedir. Bunlardan ilki 200ms civarında olan diğeri de 400-650 ms aralığında olandır. Şekil 6.6'da xline-1 incelendiğinde 300ms'den başlayarak yükselen yansıma net bir şekilde görülmektedir ve 300.sismik izi geçtikten sonra ortadan kaybolmaktadır. Bu durum şekil 6.24'te 200 ms deki anomalinin gözükmemesini açıklamaktadır. Diğer anomalinin şekil 6.22'de gözükmemesinin nedeni de sismik kesitteki sağlıklı bir şekilde alınamayan veriden kaynaklıdır. Aynı kesit incelendiğinde 220 nolu sismik iz tam olarak veride kopukluğun olduğu bölgeye gelmektedir.



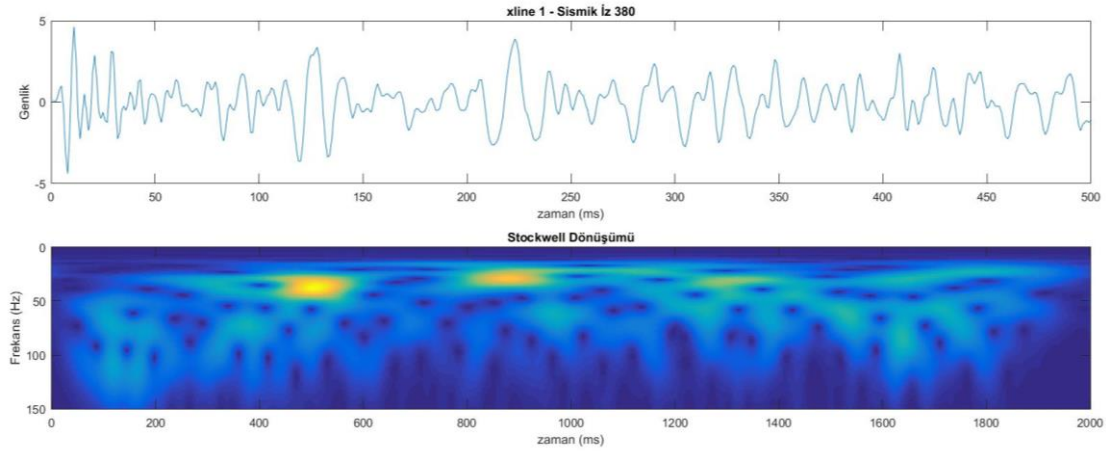
Şekil 6.21 xline 1 sismik iz 110'a uygulanan Stockwell Dönüşümü



Şekil 6.22 xline 1 sismik iz 220'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü

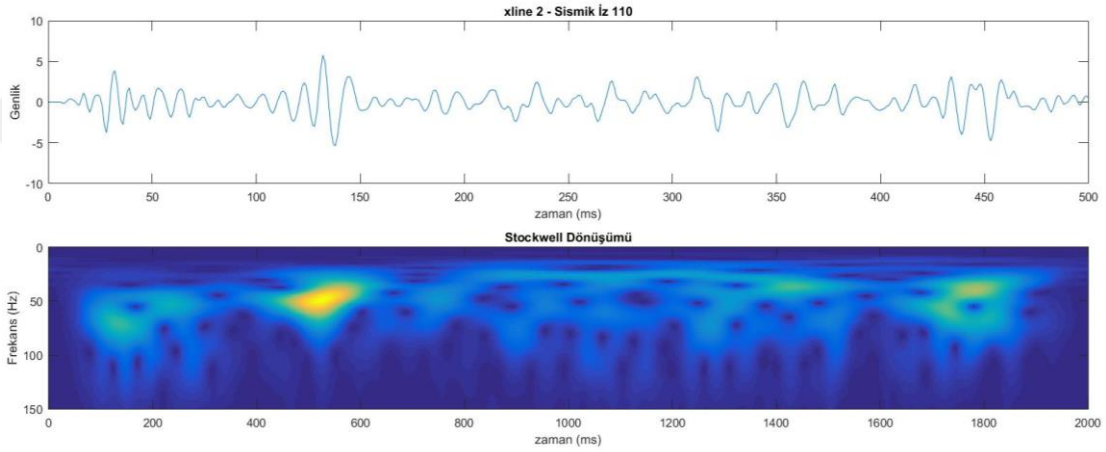


Şekil 6.23 xline 1 sismik iz 290'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

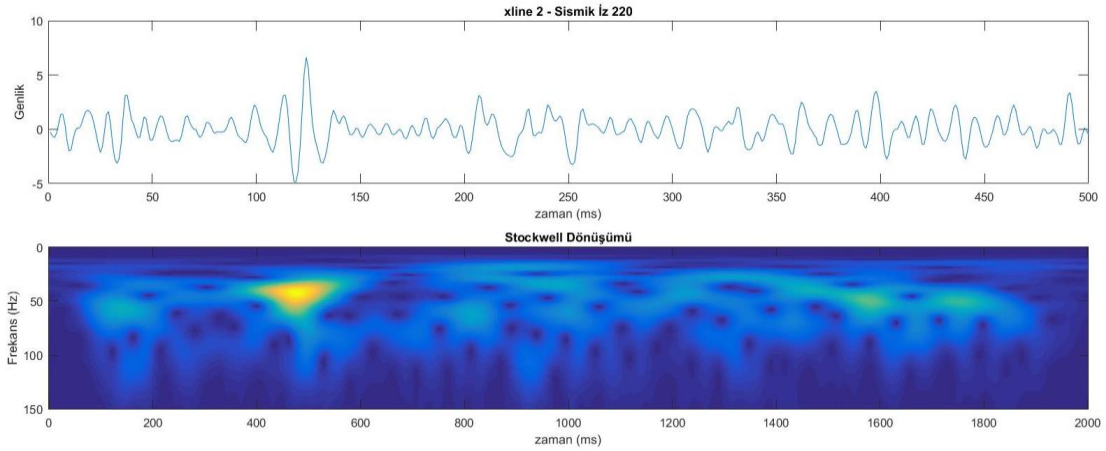


Şekil 6.24 xline 1 sismik iz 380'e uygulanan Stockwell Dönüşümü

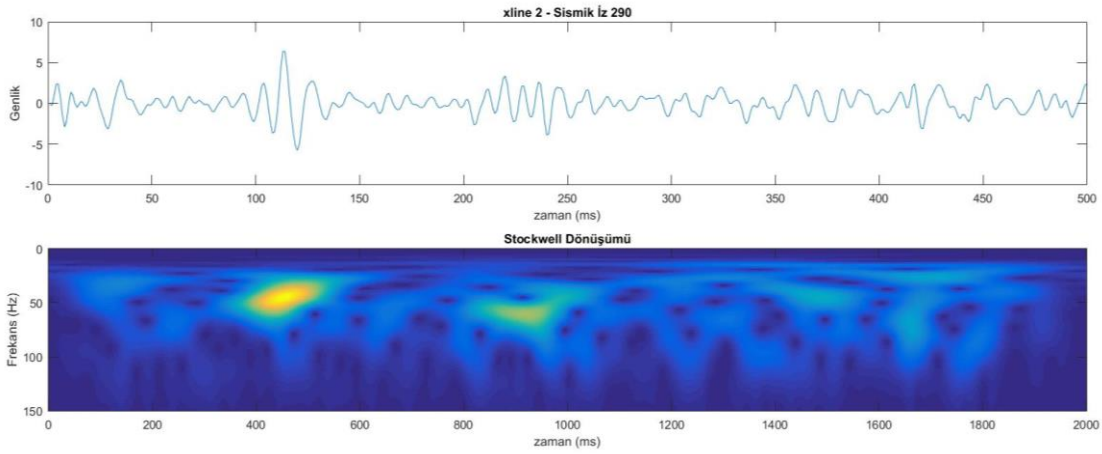
Çalışmada önem arz eden hatlardan diğeri xline 2'dir. Bunun sebebi K-1'in Inline-3'le beraber üzerinde olduğu kesişim hattı olmasıdır. Bu hat içinde xline 1'e göre alınan sismik izlerin Stockwell Dönüşümleri alınmıştır (Şekil 6.25-6.28). xline 2 de yapılan Dönüşümler sonucunda izlerin tamamında tek bir noktada göze çarpan anomali ile karşılaşılmaktadır. 400ms-600ms aralığındaki belirgin iz inline 3'deki anomali ile aynı bölgeye denk gelmektedir. Bu da farklı iki hatta yapılan analizin birbirini desteklediğini göstermektedir.



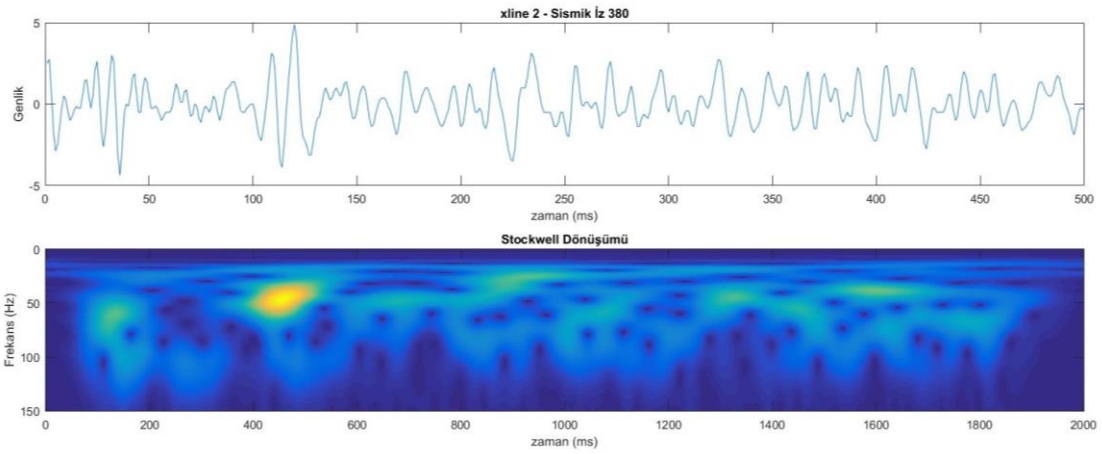
Şekil 6.25 xline 2 sismik iz 110'a uygulanan Stockwell Dönüşümü



Şekil 6.26 xline 2 sismik iz 220'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü

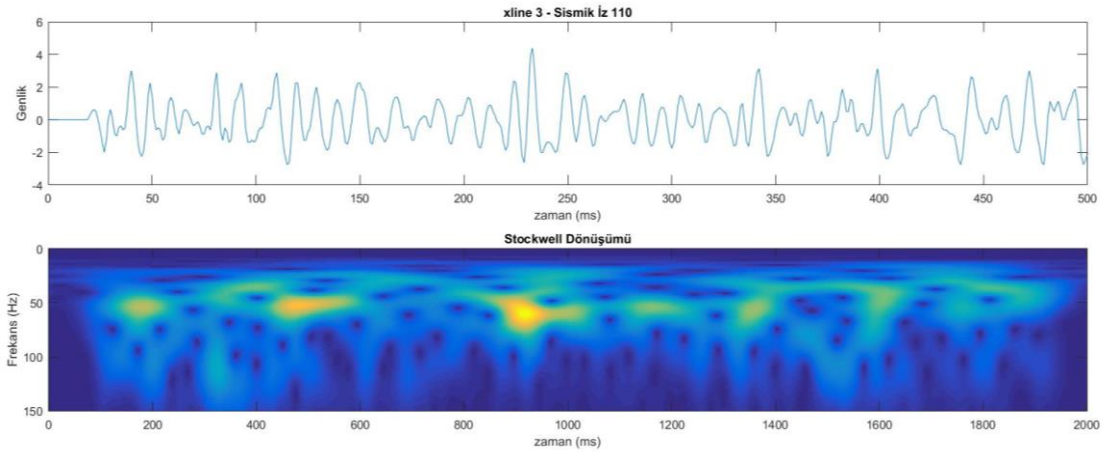


Şekil 6.27 xline 2 sismik iz 290'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

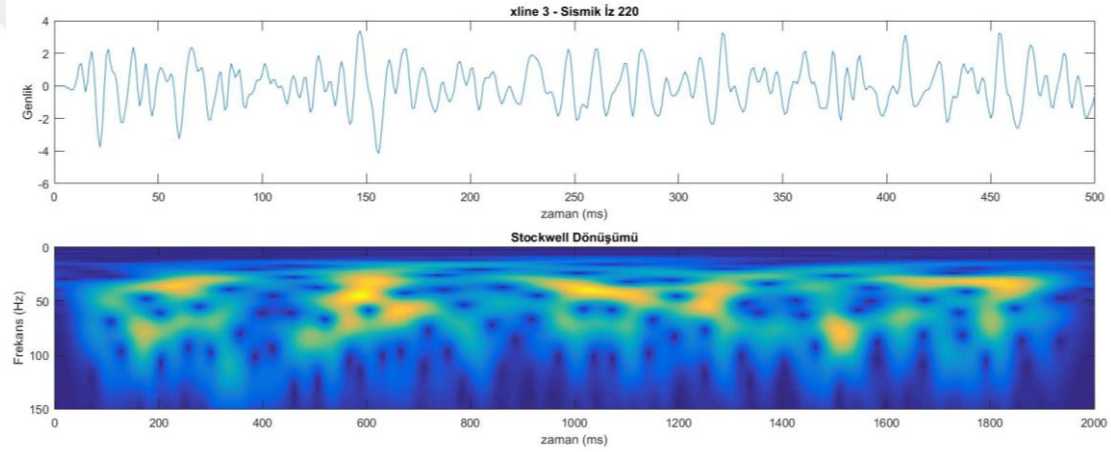


Şekil 6.28 xline 2 sismik iz 380'e uygulanan Stockwell Dönüşümü

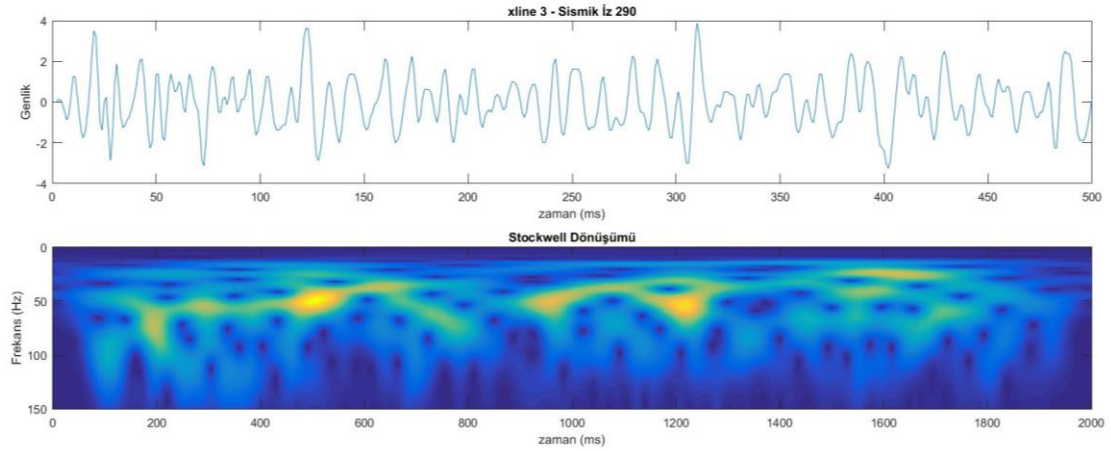
xline 3'te Stockwell Dönüşümü alınan sismik izlerin sonuçları inline 4'teki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Birden fazla noktada anomali benzeri tepkilerle karşılaşırken bunun yanında devamlılık ve doğrusallık gösteren frekanslar öne çıkmaktadır. Bunun sebebi diğer hatlardaki gibi belirgin anomalilerin olmaması ve yapı anomalisinin diğer hatlardaki kadar belirgin ortaya çıkmamasıdır. Şekil 6.29-6.32 arasındaki zaman-frekans haritaları incelendiğinde ilgili alandaki anomalinin elde edilmesine rağmen gürültü olarak adlandırabileceğimiz diğer anomalilerle birlikte farklı yorumlara açık olduğu görülmektedir.



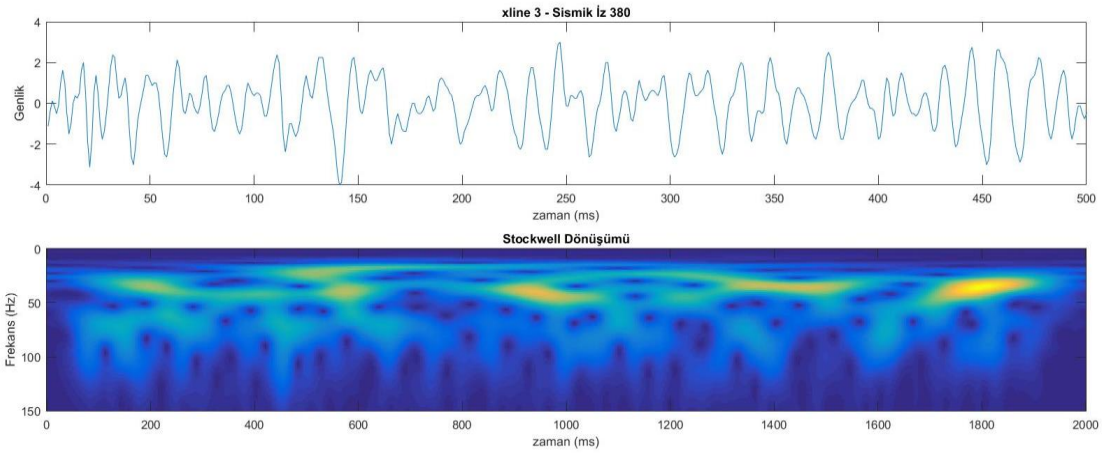
Şekil 6.29 xline 3 sismik iz 110'a uygulanan Stockwell Dönüşümü



Şekil 6.30 xline 3 sismik iz 220'ye uygulanan Stockwell Dönüşümü



Şekil 6.31 xline 3 sismik iz 290'a uygulanan Stockwell Dönüşümü

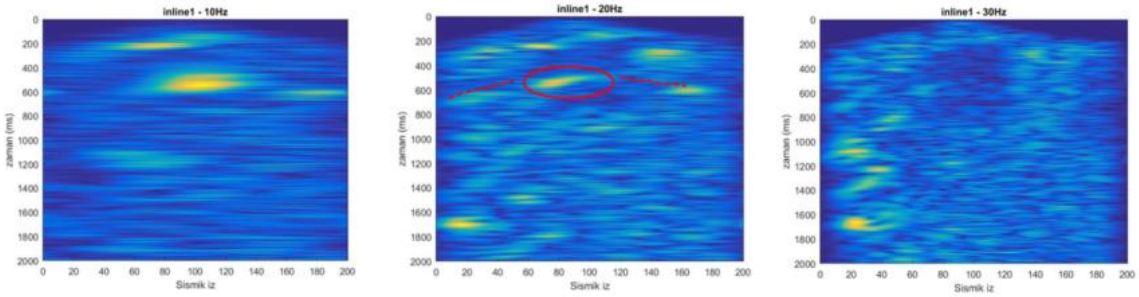


Şekil 6.32 xline 3 sismik iz 380'e uygulanan Stockwell Dönüşümü

7 sismik hat üzerindeki 24 sismik izde yapılan Stockwell Dönüşümü hangi zaman aralığında hangi frekansların öne çıktığını göstermiştir. Bundan sonra yapılacak olan sismik hatların baskın frekanslarının genliklerinin incelenmesidir. Bunun için Stockwell Dönüşümü yardımı ile hatların baskın frekansları tüm frekanslardan ayrıştırılacak ve sismik hatlar üzerinde incelenecektir. Alınan sonuçlar aranan gaz rezervuarının yeri ile ilgili daha fazla bilgi edinilmesini sağlayacaktır.

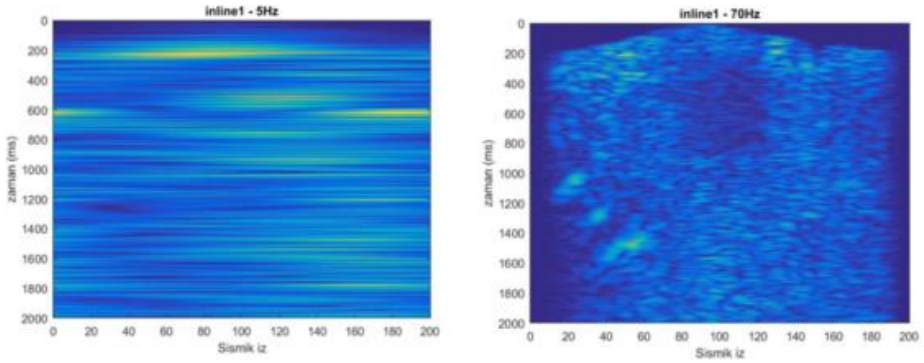
Çizelge 6.2'de verilmiş olan sismik hatların baskın frekanslarının ortalaması 21.5Hz çıkmaktadır. Buradan yola çıkarak farklı frekansların kıyaslamasının daha belirgin olması amacıyla baskın frekans hatların tamamı için 20Hz kabul edilmiştir.

Şekil 6.33'de soldan sağa doğru 10 Hz, 20 Hz ve 30 Hz için genlikler görüntülenmiştir. Inline 1'in baskın frekansı olan 20 Hz en net anomaliyi gösteren kesit olmuştur. Kırmızı halka ile gösterilen bölge sismik izlere uygulanan Stockwell Dönüşümü ile aynı bölgeyi göstermektedir. 10 Hz kesiti daha genel bir anomali ortaya koyarken 30 Hz için yapılan Dönüşümde baskın frekanstan uzaklaştıkça beklenen asıl anomaliden uzaklaşıldığı görülmektedir.



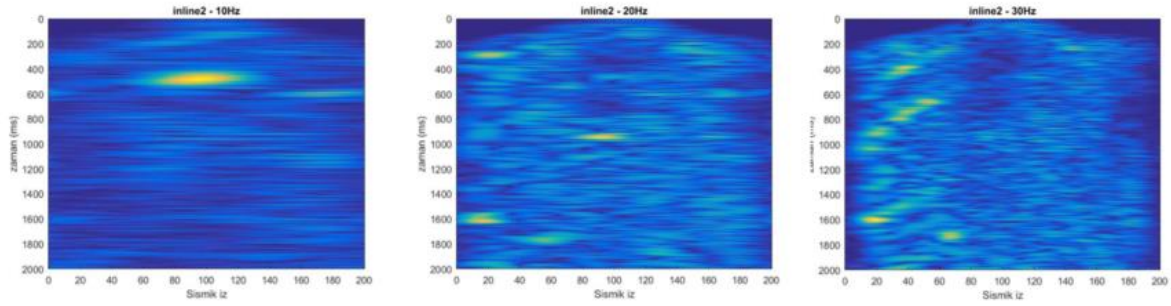
Şekil 6.33 inline 1 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

Seçilen frekans değerinin çıkan anomalide ne kadar etkili olduğunu göstermek amacı ile Şekil 6.34'te sırasıyla çok düşük bir frekans (5Hz) ile yüksek bir frekans (70Hz) alınarak aynı işlem tekrarlanmıştır. 5Hz'lık kesitte yatay sürekli çizgiler odak oluşturabilecek hiçbir bilgi vermemektedir. Çözünürlük oldukça düşüktür. 70Hz'lik kesitte ise çözünürlük artmış gibi görünsede asıl veride de kayıplara uğranmıştır.



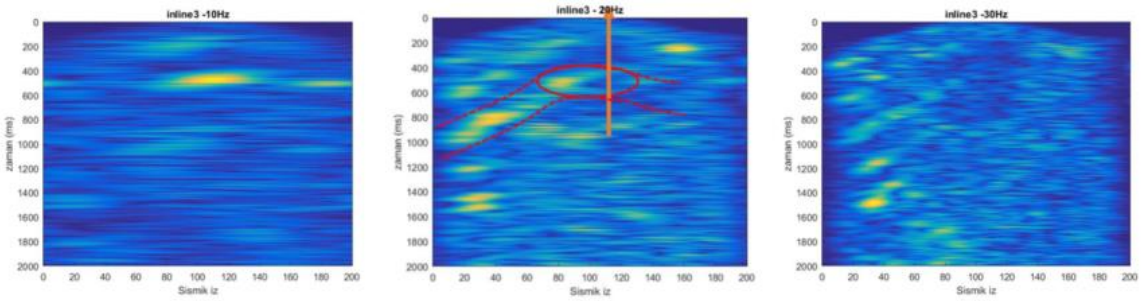
Şekil 6.34 inline 1 için genlik kesitleri (soldan sağa: 5 Hz, 70 Hz)

Inline 2'nin sabit frekans haritalarında 10 Hz için inline 1'deki durumun aynısı gerçekleşmiştir. 20 Hz'de bazı anomaliler göze çarpsada çok belirgin bir sonuç görülememiştir. Şekil 6.35'de hattın güneyine doğru kendini gösteren anomalilerin tüm hatlara Stockwell Dönüşümü uygulandıktan sonra yorumlanması daha doğru olacaktır.



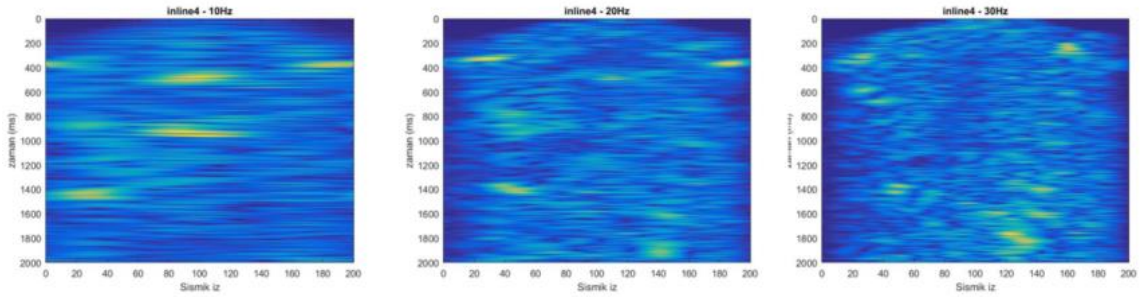
Şekil 6.35 inline 2 için genlik haritaları (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

Inline 3 daha net sonuçlar ortaya koymuştur. Özellikle 20 Hz için yapılan genlik kesiti aranan yapının ortaya konmasına yardımcı olmaktadır. Kırmızı elips içinde gösterilen bölge önceki Dönüşümlerde de anomali ile karşılaştığımız bölgeyi, kırmızı kesitli çizgiler ise gaz rezervuarının arasında olduğunu tahmin ettiğimiz aralığı temsil etmektedir. 10Hz'lik kesitte kırmızı dairenin olduğu noktaya denk gelen anomali kendini gösterirken, dikkatli bakıldığımda 30 Hz kesitte yapının şeklinin devam ettiğini gösterir.



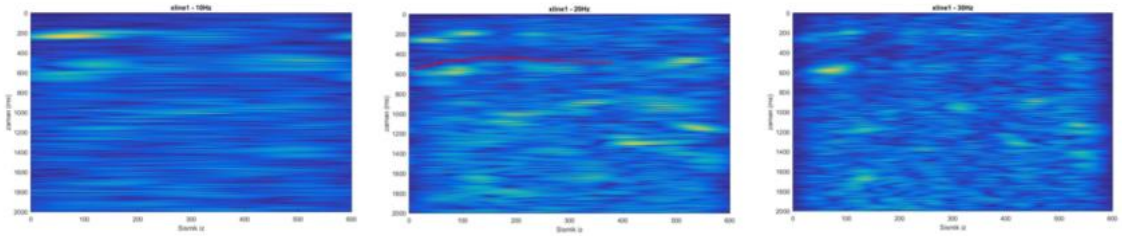
Şekil 6.36 inline 3 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

Inline 4 daha önceki analizlerinde olduğu gibi diğer hatlara göre daha belirsiz sonuçlar vermiştir. Özellikle 30 Hz için yapılan çalışma nerdeyse hiçbir şey ifade etmezken, 10 Hz ve 20 Hz genlik kesitlerinde çok net olmayan ama beklediğimiz anomaliye yakın olan sonuçlar dikkat çekmektedir.



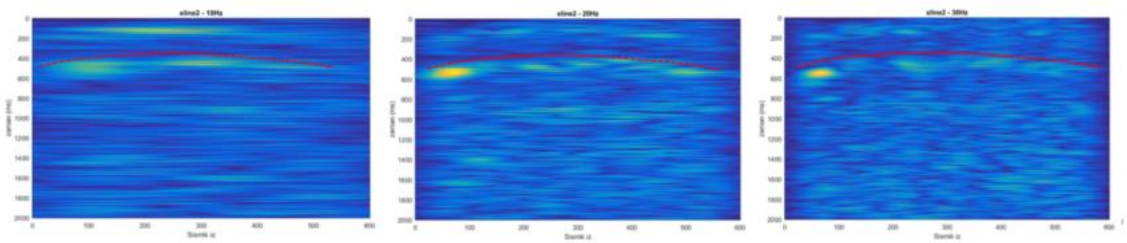
Şekil 6.37 inline 4 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

Şekil 6.38 xline 1 de yapılan genlik kesitlerini göstermektedir. 20 Hz'lik kesit yapının belirli bir kısmını ortaya çıkarmıştır. Ortaya çıkan yapıya göre 10 Hz'lik kesit incelenirse eğer kabaca yapının ortaya çıktığı görülebilir ancak sonuç çok net değildir. 30 Hz'de ise 600 ms civarında gözüken anomalinin dışında göze çarpan başka bir şey yoktur.



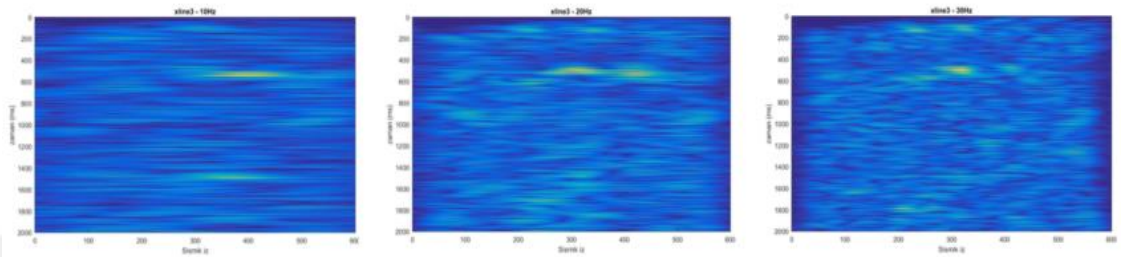
Şekil 6.38 xline 1 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

xline 2'de yapılan genlik kesitleri xline 1'e nazaran çok daha iyi sonuç vermiştir. Bunun en büyük sebeplerinden biri yapının tam ortasından geçmesidir. Her üç kesitte de kırmızı kesikli çizginin hemen altı incelendiğinde farklı anomalilerin aynı doğrultuda olduğu kolayca farkedilecektir. En belirgin hat 20 Hz'lik kesitte ortaya çıkarılmıştır. Bunun sebebi de daha önce bahsedildiği gibi baskın frekansın 20 Hz olmasıdır.



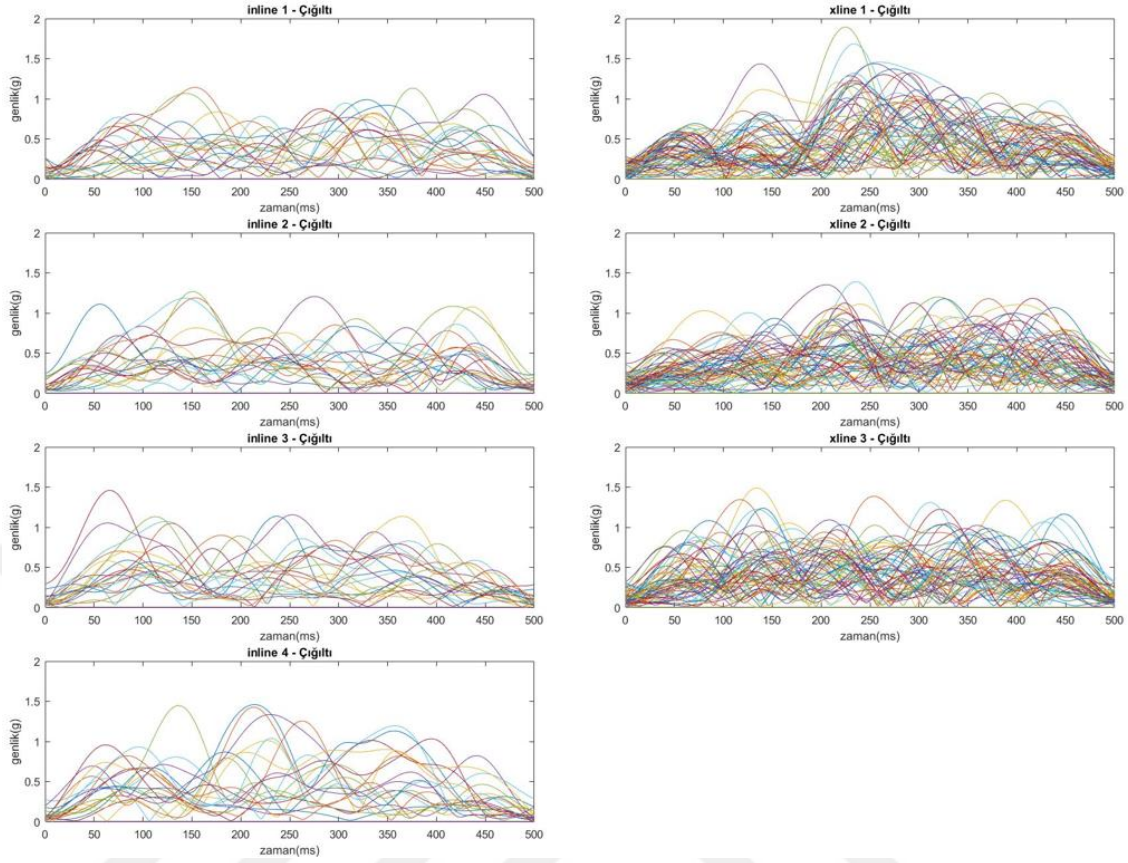
Şekil 6.39 xline 2 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

Son olarak xline 3'teki sabit frekans genlik kesitleri incelendiğinde 10 Hz ve 20 Hz'lik kesitlerde yapının devam ettiğine dair izler görülebilir. 30 Hz'lik kesite geçildiğinde izler kaybolmuş ve anomali görülememiştir. Şekil 6.33-6.40 arasında bulunan tüm sabit frekans genlik çalışmalarının büyük ölçekli kesitleri EK 3'te bulunabilir.



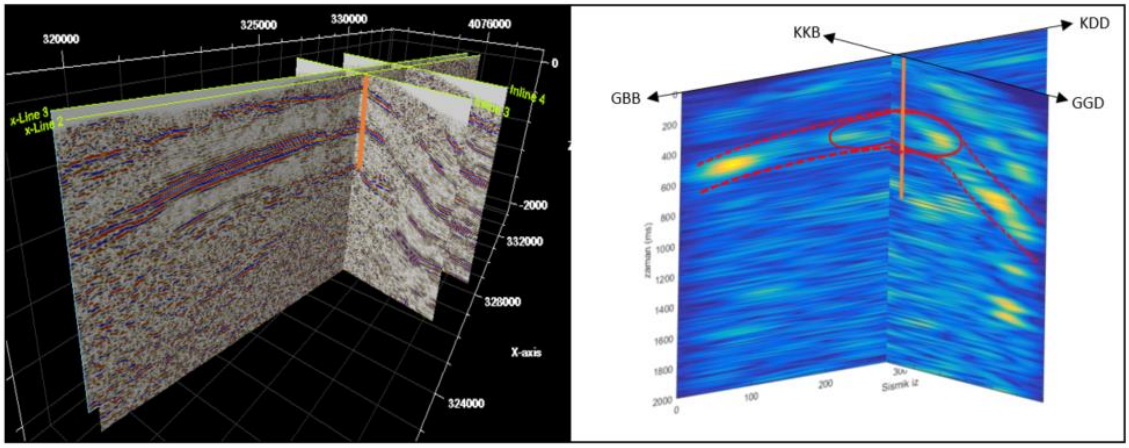
Şekil 6.40 xline 3 için genlik kesitleri (soldan sağa: 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz)

Stockwell Dönüşümü sonucunda 0-80 Hz frekansları arasındaki bazı çığıltılar görüntülenmiştir. Çığıltıların büyük ölçekli grafikleri eklerde bulunabilir. x ekseni sismik hatların örnekleme aralığının 4 ms olması sebebi 0-500 arasında ölçeklendirilmiştir. Gerçek zaman değerin dört katı alınarak bulunabilir. 1 genlikten büyük olan çığıltılar en güçlü yansımalara ait olanlardır. Hem inline hem de xlinelarda 400-650 ms arasındaki genlik artışları üzerinde çalıştığımız alana aittir. Diğer zaman aralıklarında ortaya çıkan genlik artışları kimi zaman farklı yansımalardan kimi zaman ise gürültülerden kaynaklanmaktadır. Çığıltıların hedef odaklı ve hangi yansımalara ait olduklarının belli olması için sadece araştırma bölgesinin sismik izleri incelenebilir (EK 4).



Şekil 6.41 Zamana karşı 0 Hz-80 Hz aralığındaki bazı çığıltıların genliklerinin değişimi (Inline hatlarda her 10 izde bir, xline hatlarda her 25 izde bir iz için yapılmıştır)

Şekil 6.42 yapılan tüm analizlerin özeti olarak verilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm sismik hatların baskın frekansları hesaplandıktan sonra birbirilerini kestikleri noktalardaki sismik izlerin Stockwell Dönüşümleri alınmıştır. Ardından ortaya çıkan sonuçlarla beraber baskın frekans ve bundan düşük-yüksek yakın frekanslar verinin içerdiği diğer frekanslardan ayrıştırılarak sismik kesitler üzerinde görüntülenmiştir. Şekilde gösterilen hatlar inline 3 ve xline 2'nin kendileri ve 20 Hz'lik sabit frekans genlik kesitleridir. Sağdaki şekilde kırmızı halkalar geçilen tüm aşamalarda anomali alınan bölgeyi göstermektedir. Kesikli çizgiler ise yapının devam ettiğini düşündüğümüz ekseni göstermektedir. Anomalilerin alındığı bölgedeki DST testleri gaz rezervuarının varlığını ispatlamaktadır. Yüksek anomalilerin alt kısımlarında birden hiç anomali olmaması beklenen bir durumdur. Bu kısımlar gaz gölgesi (gas shadow) olarak da adlandırılır.



Şekil 6.42 Inline 3 - xline 2'nin kesişimi (solda) – Stockwell Dönüşümü alınmış 20 Hz'lik kesitlerin kesişimi (sağda)

7. SONUÇLAR

Bu tez Stockwell Dönüşümü kullanılarak gaz rezervuarlarının kestiriminin sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca durağan bir sistemde Fourier Dönüşümünün nasıl sonuç verdiğini ve sonuçların Stockwell Dönüşümü ile nasıl geliştirilebildiğini ortaya koymaktadır.

Stockwell'in 1996 yılında veri analizinde çok daha güçlü bir yöntemi ortaya koyması (Ditommaso vd. 2012) ile klasik zaman-frekans Dönüşüm yöntemleri ile kıyaslamalar yapıldığında çok daha yüksek çözünürlüklü bir yöntem ortaya çıkmış ve bu çalışmada yorumlama amaçlı olarak kullanılmıştır.

Karbonatlı gaz rezervuarlarının kestiriminin bu yöntem ile sağlanabilmesi için aşağıdaki işlemlerin sırayla uygulanması önerilir.

Sahada daha önce açılmış olan araştırma kuyuları var ise DST sonuçları hedefleri belirlemede kullanılır. Belirlenen hedef bölge içerisinde olan sismik izlerin Stockwell Dönüşümü alınır ve sismik kesitlerin sabit frekans genlik haritaları çıkarılır. Zamana karşılık frekans grafiklerinde keskin genlik değişimleri ile gaz rezervuarının giriş bölgesi ve yapının beklendiği bölge yaklaşık olarak tespit edilir. Ayrıca sabit frekans genlik kesitlerindeki devamlılıklar yapının nereye kadar uzanabileceğinin ipuçlarını verir. Hidrokarbon olduğu düşünülen bölgede toplanan veri ile elde edilen gerçek sismik kesitlere uygulanan Stockwell Dönüşümü ile gaz rezervuarlarının kestirimi yapılır.

Bu çalışmanın geliştirilebilmesi için bölgede yer alan diğer kuyularda yapılacak olan testler ile kuyu loglarının karşılaştırılması Stockwell Dönüşümü sonucunda varılan tespitlerin doğruluğunu arttıracaktır.

KAYNAKLAR

Bampi, F. and Zordan, C. 1991. Solving Snell Law, Mechanics Research Communications, Vol.18, (2/3), 87-93, USA

Başokur, A. T., Dikmen, Ü. and Tokgöz, O. E. 2003. Time-frequency representation of strong-motion records for damage appraisal: examples from the Düzce earthquake (Turkey), Near Surface Geophysics, 1, 95-101.

Başokur, A. T. 2007. Spektral Analiz ve Sayısal Süzgeçler, TMMOB JMO Yayını , No:12, Türkiye

Castagna, J., Sun, S. and Siegfried, R.W. 2003. Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons: The Leading Edge, 22, 120–127, doi: 10.1190/1.1559038.

Chopra, A. K. 1995. Dynamic of structures - theory and applications to earthquake engineering. Pearson Prentice Hall, Englewood Cliffs

Cohen, L. 1989. Time-frequency distributions— A review: Proceedings of the IEEE, 77, 941–981, doi: 10.1109/5.30749.

Ditommaso, R., Mucciarelli, M. and Ponzo, F.C. 2012. Analysis of non-stationary structural systems by using a band-variable filter. Bull Earthquake Eng, 10:895-911

Dondurur, D. 2009. Deniz Sismiğinde Veri İşlem, TMMOB JMO Yayını, No:11, Türkiye

Gabor, D. 1946. Theory of communications. J Inst Elect Eng 93:429–457
Goswami, C., Chan, K. 2011. Fundamentals of wavelets : theory, algorithms, and applications

Ke, G. and De-Ping, X. 2012. Fractional S transform – Part 1: Theory. Applied Geophysics, Vol.9, No:1

Oliveira, S. 2010. Time–frequency spectral signature of Pelotas Basin deep water gas hydrates system. Mar Geophysics, 31, 89-87

Partyka, G. A., Gridley, J. M. and Lopez, J. 1999. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization: The Leading Edge, 18, 353–360, doi: 10.1190/1.1438295.

Reine, C., Van der Baan, M. and Clark, R. 2009. The robustness of seismic attenuation measurements using fixed- and variable-window timefrequency transforms: Geophysics, 74, no. 2, 123–135, doi: 10.1190/1.3043726.

Roueff, A., Chanussot, J., Mars, J. I. and Nguyen, M. Q. 2004. Unsupervised separation of seismic waves using the watershed algorithm on time-scale images, Geophysical Prospecting, 52, 287-300

Schroeder, F.W. 2004. The Seismic Method; Seismic Acquisition Course, Exxon Mobil Theophanis, S. and Quenn, J. 2000. Color display of the localized spectrum. Geophysics, 65. 482-491.

Xiangpeng, C. and Siyuan, C. 2005. The Second-generation Wavelet Transform and its Application in Denoising of Seismic Data. Applied Geophysics, Vol.2, No:2

Yılmaz, O. 2001. Seismic Data Analysis. Society of Exploration Geophysics. USA