KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKUSTİK SONLU FARKLAR MODELLEMESİ İLE KARMAŞIK JEOLOJİK ORTAMLARDAKİ HİDROKARBON KAPANLARININ SİSMİK YANSIMA KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

DOKTORA TEZİ

Şerife BOĞAZKESEN

MART 2023
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKUSTİK SONLU FARKLAR MODELLEMESİ İLE KARMAŞIK JEOLOJİK ORTAMLARDAKİ HİDROKARBON KAPANLARININ SİSMİK YANSIMA KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

Şerife BOĞAZKESEN

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 02 /2023
Tezin Savunma Tarihi : 30 / 03 /2023

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan KARSLI
ORCID : - - -

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, karmaşık jeolojik ortamlardaki hidrokarbon kapanlarının sismik yansıma kesitlerinin atış ortamı modellenmesi, analitik yöntemlere göre oldukça yaygın kullanıma sahip Akustik Sonlu Farklar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, basit kanal kapan modeli üzerinde en uygun parametre seçimi için testler yapılmış ve uygun kayıt parametre değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen kayıt parametreleri kullanılarak karakteristik kapan modellerinin atış kayıtlarının modellenmesi yapılmış ve veri işlem uygulamaları ile sıfır açılım kesitleri elde edilmiştir.

Çalışmada, Sonlu Farklar modellemesi için serbest erişimi olan CREWES Project MatLab (http://www.crewes.ucalgary.ca/) kodlarından yararlanılmıştır. Hesaplanan atış kayıtlarının işlenmesinde, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne akademik araştırma ve kullanma amaçları için Halliburton şirketi tarafından hibe edilmiş olan Landmark Graphics Coorparation firmasının ProMax yazılımı kullanılmıştır. Her iki kuruma da katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında ilgisiyle, bilgisiyle ve tecrübeleriyle yanımda olan tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Hakan KARSLI'ya, yararlı katkılarından dolayı tez izleme jüri üyesi Sayın Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ'a ve Sayın Prof. Dr. Nilgün Lütfiye SAYIL'a teşekkür ederim. Sismik verilerin işlenmesi süreçlerinin deneyimlenmesi ve gerçek verilere uygulama kapsamında Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojileri Enstitüsü SeisLab imkânlarını sağlayan Sayın Prof. Dr. Derman DONDURUR'a ve SeisLab ekibine teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen Dr. Recep GÜNEY'e, Dr. Öğr. Üyesi Erdem BAYRAK'a, Arş. Gör. Dr. Ercüment KOÇ'a, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat DİLMAÇ'a ve Arş. Gör. Banu YAYLALI'ya teşekkür ederim.

Bana hep inanan, beni destekleyen, varlıklarıyla bana güç veren, her zaman yanımda olan kardeşlerim Kemal Kılıç BOĞAZKESEN ve Murat Eren BOĞAZKESEN'e ayrı ayrı teşekkür ederim. Bugünlere gelmem için büyük bir özveriyle emek harcayan, bütün yaşamım boyunca bana koşulsuz destek olan, cesaret veren, güvenen Canım Annem (Fadime BOĞAZKESEN) ve Canım Babama (Temel BOĞAZKESEN)'e gönülden teşekkürlerimi, sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım.

Şerife BOĞAZKESEN

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Akustik Sonlu Farklar Modellemesi ile Karmaşık Jeolojik Ortamlardaki Hidrokarbon Kapanlarının Sismik Yansıma Kesitlerinin Hesaplanması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hakan KARSLI‘nın sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/03/2023

Şerife BOĞAZKESEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ IV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET VII
SUMMARY VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
SEMBOLLER DİZİNİ XV
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Literatür Çalışmaları 2
1.3. Tezin Amacı 5
1.4. Hidrokarbon Sistemi ve Tanımlar 6
1.5. Kapan Türleri ve Özellikleri 8
1.6. Sismik Atış ve Sıfır Ofset (Açılım) Kesitleri 10
2. METARYAL VE YÖNTEM 14
2.1. Akustik Sonlu Farklar Yöntemi (ASFY) 14
2.2.1. Sayısal Çözüm Koşulları 17
2.1.2. Sınır Koşulları 17
2.1.3. Ağ Dispersiyonu 18
2.1.4. Kararlılık Koşulu ve Doğruluk 19
2.2. Kaynak Dalgacığı (veya Fonksiyonu) 20
2.2.1. Kullanılan Yazılımının Tanıtımı 21
2.3. Kapan Jeolojik Modellerinin Tasarlanması 22
2.4. Verilerin İşlenmesi ve İş Akışının Oluşturulması 22
2.5. Basit Kanal Kapan Modeli ve Parametre Testi 26
2.6. Kapan Modellemesi: Yapay Sismik Atış Kesitlerinin Hesaplanması ve Veri İşlemi 47
2.6.1. Karmaşık Kanal Kapan Modeli ve Veri İşlemi 49
2.6.2. Granit Wash Kapan Modeli ve Veri İşlemi 52
2.6.3. Normal Fay Kapanı Modeli ve Veri İşlemi 61

2.6.4. Biyoherm Modeli ve Veri İşlemi 65
2.6.5. Antiklinal Modeli ve Veri İşlemi 73
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 78
4. SONUÇLAR 90
5. KAYNAKLAR 92
ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

AKUSTİK SONLU FARKLAR MODELLEMESİ İLE KARMAŞIK JEOLOJİK ORTAMLARDAKİ HİDROKARBON KAPANLARININ SİSMİK YANSIMA KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

Şerife BOĞAZKESEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan KARSLI
2023, 98 Sayfa

Bu tez çalışmasında, karmaşık jeolojik ortamlardaki hidrokarbon (petrol ve doğal gaz) kapan yer modellerinin sismik yansıma tepkilerinin yapay olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Hidrokarbon kapan modellerinin atış ortamı sismik modellemesi, gerçeğe uygun bir yaklaşım olması ve isteğe bağlı farklı yapıda giriş modelleri seçilebilmesi nedeniyle 2 boyutlu akustik sonlu farklar yöntemi (ASFY) ile hesaplanmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak, basit kanal kapan modeli üzerinde veri elde etmede en uygun parametre seçimi için testler yapılmıştır. Bu parametreler referans alınarak dünyada ve ülkemizde hidrokarbon aramacılığı açısından önemli yere sahip olan kanal, antiklinal, normal fay kapanı, granit wash ve biyoherm kapan modellerinin atış ortamı yapay verileri hesaplanmış ve bu veriler mümkün olan en uygun veri işlem aşamaları ile sıfır açılımlı kesitlere (yığma ve göç kesitleri) dönüştürülmüştür. Model veriler sayesinde, karmaşık yapılı hidrokarbon kapanlarının yapısal (geometrik) özelliklerinin dalga yayılımı üzerindeki etkileri incelenmiş, veri işlem süreçleriyle en iyi sıfır açılımlı kesitlere ulaşılabilmesi için iş akış seçenekleri test edilmiş ve başlangıç jeolojik model ile sıfır açılımlı kesitlerin karşılaştırmaları yapılarak ortaya çıkan sorunların nedenleri tartışılmıştır. Özellikle, saçılma dalgaları girişiminin hız analizi sonuçlarını olumsuz etkilemesi nedeniyle hız seçiminde belirsizliklere yol açtığı ve dolayısıyla yığma kesitlerinin kalitesini zayıflattığı tespit edilmiştir. Yığma öncesi ve sonrası göç işlemleri ile bu sorunların çözümü sağlanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, veri elde etme parametre seçiminin ve veri işlem iş akışları kapsamında uygulanan işlemlerdeki parametre seçimlerinin ve işlem sıralamalarının, elde edilen sıfır açılımlı kesitlerin kalitesinde ve yer modelinin yüksek tutarlılıkta karakterize etmesinde son derece önemli olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akustik Sonlu Farklar Yöntemi, Hidrokarbon Kapanlar, Atış Ortamı Sismik Modelleme, Veri İşlem.

PhD. Thesis

SUMMARY

CALCULATION OF SEISMIC REFLECTION SECTIONS OF HYDROCARBON TRAPS IN COMPLEX GEOLOGICAL ENVIRONMENTS BY ACOUSTIC FINITE DIFFERENCE MODELING

Şerife BOĞAZKESEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophyscial Engineering Departmant
Supervisor: Prof. Dr. Hakan KARSLI
2023, 98 Pages

In this thesis, it is aimed to artificially investigate the seismic reflection responses of hydrocarbon (oil and natural gas) trapping models in complex geological environments. The shot domain seismic modeling of the hydrocarbon trap models was calculated with the 2 dimensional acoustic finite difference method (AFDM) since it is a realistic approach and can arbitrary select different entrance models. In this context, firstly, tests were conducted for the selection of the most appropriate parameter in obtaining data on the simple channel trap model. By taking these parameters as a reference, the synthetic data of the shot domain of the channel, anticline, normal fault trap, granite wash and bioherm trap models, which have an important place in terms of hydrocarbon exploration in the world and in our country, were calculated and these data were converted into zero-offset sections (stack and migration sections) with the most appropriate data processing stages. With through model data, the effects of the structural (geometric) properties of the complex hydrocarbon traps on wave propagation were investigated, workflow options have been tested to achieve the best zero-offset sections with data processing processes and the reasons for problems emerging by comparing the initial geological model with the zero-offset sections were discussed. In particular, it has been found that scattering waves interference caused uncertainties in velocity selection due to the negatively affecting the results of the velocity analysis and thus reduces the quality of stack sections. It has been tried to solve these problems with pre-stack and post-stack migration processes. Consequently, it is has been observed the selection of parameters for data acquisition and the selection of parameters in the processes applied within the sequencing of data processing and their order in the workflow are extremely important in the quality of the obtained zero-offset sections and in characterizing the ground model with high consistency.

Keywords: Acoustic Finite Difference Method, Hydrocarbon Traps, Shot Domain Seismic Modeling, Data Processing.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Temel olarak kaynak, kapan, hazne, örtü kaya ve birincil-ikincil göçten oluşan bir hidrokarbon sistemi 7

Şekil 2. Basitleştirilmiş yapısal (fay, antiklinal), stratigrafik (kanal) ve bileşik (tuz domu) kapan görüntüleri 10

Şekil 3. Sismik yansıma veri toplama düzeninin basitleştirilmiş görünümü 11

Şekil 4. Çoklu kaynak-alıcı dizilimi. Kırmızı noktalar alıcı konumlarını, mavi yıldızlar atış konumlarını göstermektedir. 12

Şekil 5. Bir atış kaydı ve yığma kesiti örneği. (a) atış ve (b) veri işlem uygulamalarından sonra elde edilen yığma kesiti. R, K ve G sırasıyla, yansıma, ilk varış ve yüzey dalga alanlarını göstermektedir 13

Şekil 6. Merkezi sonlu farklar türev yaklaşımına uygun grid ağı. (M; x yönündeki grid sayısı, N; z yönündeki grid sayısı, i; x koordinatı, j; z koordinatı) 15

Şekil 7. Sonlu fark model ağda sınır koşulları. a) Model kenarlarındaki sınır koşulları, b) Dirichlet ve Neumann sınır koşulu. Burada, N; soğurucu tabaka mesafesi ve α; yansıyan dalga açısını temsil etmektedir 18

Şekil 8. 30 Hz tepe frekanslarına göre minimum fazlı dalgacığın (a) zaman ortamı ve (b) frekans ortamındaki görünümleri 21

Şekil 9. 30 Hz tepe frekanslarına göre sıfır fazlı dalgacığın (a) zaman ortamı ve (b) frekans ortamındaki görünümünü göstermektedir 21

Şekil 10. Sismik veri işlemde temel işlemleri içeren iş akışı (Yılmaz 2001'den düzenlenerek) 24

Şekil 11. Fresnel bölgesinin AA' tanımlaması. Burada, |AOA'|: yer altındaki yatay düzlemsel yansıtıcıyı, |SO|: yerin yüzeyindeki S konumu ile yer altındaki O noktası arasındaki mesafeyi ve h: 1. Fresnel bölgesini temsil etmektedir 27

Şekil 12. Homojen bir ortamdaki kanal tipi kapan modeli. Ölçüler: 100 m x 100 m ve ortalama hızı 1200 m/s. 28

Şekil 13. Tepe frekanslarına göre minimum fazlı dalgacıkların zaman ve frekans ortamındaki görünümleri. (a, d) 15 Hz, (b, e) 30 Hz ve (c, f) 60 Hz kaynak dalgacıklarını göstermektedir. Örnekleme zaman aralığı 2 ms kullanılmıştır.. 30

Şekil 14. SFY ile elde edilen atış verileri. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f=60 Hz kaynak dalgacığı için elde edilen, (i) 1. (kaynak 60 m'de), (ii) 13. (kaynak 500 m'de) ve (iii) 25. (kaynak 960 m'de) atış kayıtları. Verilerin içermiş olduğu temel olaylar kesit üzerinde belirtilmiştir 33

Şekil 15. SFY ile elde edilen atış verileri. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f=60 Hz kaynak dalgacığı için elde edilen (i) 1. (kaynak 60 m'de), (ii) 13. (kaynak 500 m'de) ve (iii) 25. (kaynak 960 m'de) atış kayıtlarındaki ilk varış olayların üstten silme ile silinmiş durumları. Verilerin içermiş olduğu temel olaylar kesit üzerinde belirtilmiştir 34

Şekil 16. f= 15 Hz için kanal kapan modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu..... 35

Şekil 17. f=30 Hz için kanal kapan modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu 36

Şekil 18. f=60 Hz için kanal kapan modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu 36

Şekil 19. SFY ile elde edilen atış verileri. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f=60 Hz kaynak dalgacığı için elde edilen (i) 1. (kaynak 60 m'de), (ii) 13. (kaynak 500 m'de) ve (iii) 25. (kaynak 960 m'de) atış kayıtlarındaki uyum süzgeci uygulanmış durumları. Verilerin içermiş olduğu temel olaylar kesit üzerinde belirtilmiştir 37

Şekil 20. a) f=15 Hz, b) f=30 Hz ve c) f=60 Hz için hesaplanan verilerin sırasıyla 60., 120. ve 150. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Hız spektrumları görüntüsü (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubunun görünümü (sağda)..... 38

Şekil 21. a) f=15 Hz, b) f=30 Hz ve c) f=60 Hz için hesaplanan verilerinin sırasıyla (i) 120. OON izleri, (ii) hız spektrumu ve (iii) NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu. 40

Şekil 22. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f= 60 Hz'li atış grupları için elde edilen yığma kesitleri 41

Şekil 23. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f= 60 Hz'li atış grupları için derinlik dönüştürülmüş Kirchhoff göç kesitleri 42

Şekil 24. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f= 60 Hz'li atış grupları için yığma öncesi Kirchhoff zaman göç kesitleri 43

Şekil 25. (a) 10 m ve (b) 5 m grid aralıkları kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri 44

Şekil 26. (a) 80 m ve (b) 40 m atış aralıkları kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri 45

Şekil 27. 30 Hz Tepe frekansına göre sıfır fazlı dalgacığın (a) zaman ve (b) frekans ortamındaki görünümleri. Örnekleme zaman aralığı 2 ms kullanılmıştır 46

Şekil 28. (a) f=30 Hz minimum fazlı Ricker dalgacığı ve (b) f= 30 Hz sıfır fazlı Ricker dalgacığı kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri..... 46

Şekil 29. Yatay tabakalı bir ortamda gelişen kanal yapısı modeli..... 50

Şekil 30. Kanal modeli için hesaplanan (a) 1., (b) 12. ve (c) 25. atış kayıtları. D doğrudan gelen dalgaları, Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından

kaynaklı kenar yansımalarını ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 51

Şekil 31. İlk varışlarının atılması için üstten kesme işlemlerinin uygulandığı (a) 1., (b) 12. ve (c) 25. atış grupları. Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir . 52

Şekil 32. (a) 40., (b) 80. ve (c) 120. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Herbiri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda) 52

Şekil 33. Granit wash kapan modeli Hyne (1984). 53

Şekil 34. Granit wash modeli için hesaplanan 1., 23 ve 45. geometrisi yüklenmiş ham atış grupları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D doğrudan gelen dalgaları, R yansıyan dalgaları, KKY kaynak kaya yansımaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir . 55

Şekil 35. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 23. ve (c) 45. atış kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı (atış noktası) göstermektedir. R yansıyan dalgaları, KKY kaynak kaya yansımaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 56

Şekil 36. Granit wash modelinin ilk varışlarının atılması için üstten kesme işlemi ve sonrasında bant geçişli süzgeç işlemlerinin uygulandığı (a) 1., (b) 23. ve (c) 45. atış grupları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KKY kenar yansımaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir..... 57

Şekil 37. Granite wash modellemesinden 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu 57

Şekil 38. Ön veri işlem aşamalarından geçirilen (a) 1., (b) 23. ve (c) 45. yapay atış grupları için ön kestirim dekonvolüsyon sonuçları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KKY kaynak kaya yansıması, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 59

Şekil 39. Granite wash modellemesinden 1. atış kaydına ait (a, b) ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortama genlik spektrumları, (c, d) ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortama genlik spektrumları 59

Şekil 40. Granite wash modellemesinden 1. atış kaydına ait ön kestirim dekonvolüsyonu sonrası bant geçişli süzgeç uygulanmamış (a, b) ve uygulanmış (c, d) atış kayıtları ve Fourier ortama genlik spektrumları 60

Şekil 41. 340. OON grubu üzerinde hız spektrumu uygulaması. Ön kestirim dekonvolüsyonu (a) uygulanmamış (b) uygulanmış hız spektrumu görüntüleri. Beyaz sürekli çizgi, işaretlenen KOK hızlarını göstermektedir ... 60

Şekil 42. Normal fay kapan modeli Hyne (1984). 61

Şekil 43. Normal fay kapanı modeli için hesaplanan (a)1., (b) 13. ve (c) 25. geometrisi yüklenmiş ham atış grupları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D

doğrudan gelen dalgaları, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir . 62

Şekil 44. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 13. ve (c) 25. atış kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları göstermektedir 63

Şekil 45. Normal fay kapanı modelinin yapay verilerinden direkt varışlarının atılması için üstten kesme işlemi ve izleyen aşamada bant geçişli süzgeç işlemlerinin uygulandığı (a)1., (b) 13. ve (c) 25. atış grupları. Kırmızı bayrak sembolü sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 64

Şekil 46. Normal fay kapanı modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu 64

Şekil 47. (a) 50., (b) 150. ve (c) 300. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Her biri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda) 65

Şekil 48. Biyoherm kapan modeli Hyne (1984). 66

Şekil 49. Biyoherm modeli için hesaplanan atış kayıtları. (a) 1. atış (100 m), (b) 13. atış (1000 m) ve (c) 25. atış (1900 m) kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D doğrudan gelen dalgaları, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 67

Şekil 50. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 13. ve (c) 25. atış kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir . 68

Şekil 51. Şekil 50'daki atış kayıtlarının bant geçişli süzgeç uygulanmış sonuçları 68

Şekil 52. Biyoherm modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu 69

Şekil 53. Uyum süzgecinden (a, b) önce ve (c, d) sonraki zaman ve spektral ortam görüntüleri 70

Şekil 54. Şekil 52'deki atış kayıtlarının uyum süzgeç uygulanmış sonuçları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 71

Şekil 55. (a) 20., (b) 260. ve (c) 350. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Her biri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda) 71

Şekil 56. Aoffset 105 m, 1005 m ve 2485 m için kesitler. 72

Şekil 57. Antiklinal kapan modeli (Sudarmaji (2016)'dan düzenlenmiştir) 74

Şekil 58. Antiklinal modeli için hesaplanan atış kayıtları. (a) 1. atış (60 m), (b) 13. atış (500 m) ve (c) 25. atış (960 m) kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı,

D doğrudan gelen dalgaları, Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir . 74

Şekil 59. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 13. ve (c) 25. atış kayıtları. Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir 75

Şekil 60. Şekil 57'deki atış kayıtlarının bant geçişli süzgeç uygulanmış sonuçları. Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir..... 76

Şekil 61. 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu 76

Şekil 62. (a)40., (b) 80. ve (c) 120. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Her biri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda) 77

Şekil 63. Kanal kapan modeli için yığma kesit 79

Şekil 64. Kanal kapan modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman migrasyon kesiti 79

Şekil 65. (a) Kanal kapan derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması 80

Şekil 66. Granit Wash modeli için yığma kesit 81

Şekil 67. Granit Wash modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti..... 81

Şekil 68. (a) Granite wash derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması 82

Şekil 69. Normal fay kapanı modeli için yığma kesit..... 83

Şekil 70. Normal fay kapanı modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti..... 83

Şekil 71. (a) Normal fay kapanı derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması 84

Şekil 72. Biyoherm modeli için yığma kesit..... 85

Şekil 73. Biyoherm kapan modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti..... 85

Şekil 74. Biyoherm kapan modeli için yığma öncesi Kirchhoff zaman göçü uygulanmış göç kesiti 86

Şekil 75. (a) Biyoherm kapanı derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması 87

Şekil 76. Antiklinal modeli için yığma kesit 88

Şekil 77. Antiklinal modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti 88

Şekil 78. (a) Antiklinal kapanı derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması 89

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Açık ve kapalı SFY'nin karşılaştırılması 17
Tablo 2. Veri işlem aşamaları 25
Tablo 3. Kanal Kapan yapay atış kayıtlarını hesaplamak için kullanılan parametreler 28
Tablo 4. f=15, 30 ve 60 Hz için yanal ayrımlılık eşik değerleri (1. Fresnel bölgesi) .. 31
Tablo 5. Kanal test model verisinin işlenmesi için oluşturulan veri işlem akışları 32
Tablo 6. Yapay atış verisi hesaplama parametreleri 50
Tablo 7. Veri işlem iş akışında uygulanan işlemler 51
Tablo 8. Yapay atış kayıtlarını hesaplama için kullanılan parametreler 54
Tablo 9. Veri işlem iş akışı 55

SEMBOLLER DİZİNİ

ASFY : Akustik Sonlu Farklar Yöntemi

ESFY : Elastik Sonlu Farklar Yöntemi

SFY : Sonlu Farklar Yöntemi

AFDM : Acoustic Finite Difference

P : Boyuna Dalga

S : Kesme Dalgası

SV : S dalgası'nın düşey bileşeni

SH : S dalgası'nın yatay bileşeni

2B : İki Boyutlu

3B : Üç Boyutlu

2D : Two Dimension

Δx : Yatay yöndeki ağ (grid) mesafesi

Δz : Düşey yöndeki ağ (grid) mesafesi

Δt : Örnekleme zamanı

M : Yatay yöndeki ağ (grid) sayısı

N : Düşey yöndeki ağ (grid) sayısı

i : x koordinatı

j : z koordinatı

m : Metre

s : Saniye

ϕ : Dalga potansiyeli

V : Hız

∇ : Laplace

x : Yatay kartezyen dik koordinatı

z : Düşey kartezyen dik koordinatı

t : Zaman

V_{max} : Maksimum hız

R : Yansıma katsayısı

k : Eleman sıklık dizeyi

π : pi sayısı (3.14)

λ : Lame parametresi

V_p : P-dalga hızı

f_m : Sismik kaynak frekansı

f_c : Maksimum genlik frekansı

s(i, j, t) : Kaynak fonksiyonu

α : Yansıyan dalga açısı

S : Sinyal

G : Gürültü

NKZ : Normal Kayma Zamanı

OON : Ortak Orta Nokta

ODN : Ortak Derinlik Noktası

K : Katlanma Sayısı

dx : Alıcı Aralığı

ds : Atış Aralığı

f : Frekans

t_0 : İki yol seyahat zamanı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hidrokarbon (petrol, doğal gaz ve kömür) kaynakları dünyada tüketilen enerji kaynaklarının %86'sını, Türkiye'de ise %92'sini oluşturmaktadır (URL-1, 2022). Dolayısıyla, hidrokarbon rezervuarlarının aranması ve keşfedilmesi faaliyetleri için yapılan yatırımlar ve bilimsel çalışmalar günümüzde artarak devam etmektedir. Bu nedenle karasal ve denizel ortamlarda hidrokarbon içeren kapanların ve rezervuarların arama çalışmaları modern teknolojiler yardımı ile dünyada olduğu gibi Türkiye'de de gerçekleştirilmektedir (Boğazkesen ve Karslı, 2022).

Hidrokarbon kapanı, çeşitli jeolojik süreçlerin sonunda yapısal veya çökelimsel (stratigrafik) olarak meydana gelen petrol ve doğal gaz veya her ikisinin içinde hapsolduğu gözenekli ve geçirgen hazne (rezervuar) kayayı içinde bulunduran, geometrik olarak kayaçların belirli düzenlerde bulunduğu bir sistemi ifade eder. Yer kabuğunun farklı derinliklerindeki ve boyutlardaki hidrokarbon kapanların konumlarının belirlenmesinde kullanılan en etkili ve vazgeçilmez araştırma yöntemi sismik yansıma yöntemidir. Bu yöntem sırasıyla; *i)* belirli bir sistem dâhilinde kaynak ve alıcılar (jeofon ve hidrofon) ile çalışma alanından veri elde edilmesi, *ii)* elde edilen verilerin ilgili yazılımlar kullanılarak işlenmesi ve *iii)* işlenen verilerin yorumlanması adımlarından oluşmaktadır. Yorumlama, stratigrafik ve yapısal ilkeleri göz önünde bulundurarak jeolojik unsurların ve hidrokarbon kapanlarının tespit edilmesine imkân sağlamaktadır. Genel olarak farklı yapısal ve stratigrafik özelliklerdeki hidrokarbon kapanlarının sismik davranışlarının belirlenmesi, sismik kesitlerin yorumlanması açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Buna ek olarak, kapanların bulunduğu jeolojik ortamların karmaşıklığı, veri işleme süreçlerindeki veya parametre seçimindeki eksiklikler ve hataların yorumlanacak kesitlerin kalitesini olumsuz etkileyeceği iyi bilinmektedir (Boğazkesen ve Karslı, 2022).

Gerçek jeolojik ortamlarda sismik dalga yayılım problemlerinin zaman ortamında modellenmesi, jeofizik bilimin üzerinde çalıştığı alanların başında gelmektedir. Önceki çalışmalarda modelleme, basit yeraltı yapıları üzerinde yapılan analitik hesaplamalarla sınırlı iken, günümüzde ise modern yüksek performanslı bilgi işlemciler sayesinde gelişmiş sayısal hesaplama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, karmaşık

jeolojik ortamların sismik davranışlarının modellenmesi kolaylaşmıştır ve bu amaçla etkili bir sayısal hesaplama yöntemi olan Sonlu Farklar Yöntemi (SFY) geliştirilmiştir.

1.2. Literatür Çalışmaları

SFY ile dalga denklemi modelleme işlemi 1960'lardan günümüze hem farklı jeolojik ortam modellemelerini gerçekleştirmek hem de yöntemsel gelişmeyi sağlamak için birçok araştırmacı tarafından kullanılmaya başlamıştır. Yöntem, akustik/elastik dalga denklemlerinin analitik çözümlerini elde etmede karşılaşılan zorluklar nedeniyle, yapısal olarak karmaşık yer altı yapılarına sahip ortamların sismik tepkilerini elde etmek için oldukça önemlidir. Alterman ve Karal (1968) elastik dalga denkleminin sayısal çözümüne dayalı SFY'ni kullanarak P dalga sinyali yayan gömülü bir nokta kaynağı ile tabakalı yarı sonsuz ortam problemlerini incelemişlerdir. Yatay ve düşey bileşenler için teorik sismogramlar elde etmişlerdir. Boore (1970) tabakalı ortamda sismik dalga yayılımını SFY'ni kullanarak modellemiştir. Alford vd. (1974) SFY'nin doğruluğunu, akustik dalga denklemini kullanarak sonsuz iki boyutlu kama yakınına yerleştirilmiş alıcılar ile hesaplanmış olan sismogramların karşılaştırılmasıyla incelemiş ve örnekleme aralığının yeterince küçük seçilmemesi durumunda grid dispersiyonu oluşacağını, duyarlı sonucun elde edilebilmesi için kaynak dalga boyunun en az on grid aralığı kadar olması gerektiğini belirtmiştir. Madariaga (1974, 1976) karmaşık sınır koşullarının neden olduğu grid dispersiyonunu ve kararsızlıkları azaltan bir sonlu fark algoritması geliştirerek SFY için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Bu yöntemi, sabit hız kullanarak, listrik (kayma yüzeyi eğrisel olan ve büyüyen yapıdaki fay tipleri) fayların modellenmesinde kullanmıştır. Kelly vd. (1976) elastik dalga denklemini kullanarak farklı karmaşık jeolojik modeller için yatay ve düşey dalga alanlarını Dirichlet ve Neumann sınır koşullarını kullanarak hesaplamışlardır. Clayton ve Engquist (1977) akustik ve elastik dalga yayılımı modellemesinde, kenar yansımalarını azaltan Dirichlet ve Neumann soğurucu sınır koşullarını (absorbing boundary conditions) geliştirmişlerdir. Virieux (1984, 1986) dereceli grid yaklaşımını iki boyutlu (2B) dalga yayılımı modellemesinde kullanmıştır. İlk olarak, SH dalga yayılımını heterojen bir ortamda hız ve gerilme bileşenlerine bağlı olarak modellemiştir. Daha sonra hız ve gerilme bileşenlerini P-SV dalga yayılımının modellenmesi için de kullanmıştır. Grid ağının yatay ve düşey aralıklarının birbirinden farklı olması durumunda, kararlılık koşulunun ve P dalgası faz dispersiyon eğrisinin

Poisson oranına bağlı olmadığını, S dalgası faz dispersiyon eğrisi davranışının ise Poisson oranına karşı daha da duyarsız olduğunu önermiştir (Akkaya, 2011). Mufti (1985) grid aralıklarının sürekli değişken olduğu durumu SFY'ne uygulamıştır. Levander (1988, 1989) SFY ile P-SV dalga yayılımını akustik-elastik ortamlarda modellemiştir. Standart SFY, akustik dalga alanlarının modellenmesinde, grid dispersiyonundan ve grid anizotropisinden dolayı sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu etkilerin uygun bir sayısal değer (computational cost) ile azaltılması kapsamında, Zaitian (1989) kararlılık koşulunu $\frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1$ olarak belirlemiştir. Versteeg ve Grau (1991) ikinci dereceden sonlu fark şemasını kullanarak Marmousi sismik modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Frankel ve Vidale (1992) Santa Clara Vadisi'nin yorumlanmış üç boyutlu (3B) modelinde sonlu farklar yöntemini kullanarak elastik dalgaların yayılımını incelemişlerdir. Bording ve Lines (1997) ve Carcione vd. (2002) standart SFY için doğruluk ve kararlılık yöntemini geliştirmişlerdir. Aydın (1997) karmaşık hidrokarbon kapanlarının incelenmesinde gravite verilerinin modellenmesini ve analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmasında yer modellerini sismik yansıma kesitlerinden yararlanarak oluşturmuştur. Manning ve Margrave (1998)'in çalışması sismik araştırma amacıyla elde edilen atış kayıtlarının özelliklerini belirlemek için, elastik dalga alanlarının 2B sonlu farklar modellemesi açısından özel öneme sahiptir. Oprsal ve Zahradnik (1999) tarafından SFY ile elastik dalga denkleminin modellemesinde, faylar, düşük hızlı tabakalar, boşluklar ve düzlemsel olmayan yüzeyler için küçük bir grid aralığı kullanırken, modelin geri kalan kısımları için ise, eşit büyük aralıklı gridler kullanılmıştır. Youzwishen ve Margrave (1999) ve Margrave (2000) akustik sonlu farklar yöntemini kullanarak sismik dalgaları modellemek için, akustik sonlu farklar CREWES Matlab kodunu geliştirmişlerdir. Skaler dalga denklemini yaklaşık olarak hesaplayan merkezi sonlu farklar şemasını kullanmışlardır. Grid kenarlarından yansımaları bastırmak için soğurucu sınır koşullarını uygulamışlardır. Karmaşık jeolojik ortamlardaki görüntüleme problemlerini çözmek için, SFY'ne dayalı 2B elastik ve 3B akustik dalga denklemlerini kullanarak yapay sismik sismogramlar elde etmişlerdir. Bununla birlikte, ileri modelleme yönteminin, gölge zonunun sismik etkisini ve işlem gürültülerini (artifacts) belirlemek için faydalı olabileceğini ve karmaşık jeolojik özellikler için her türlü dalganın modellenebileceğini belirtmişlerdir (Phadke vd., 1998; Phadke vd., 2000; Yerneni vd., 2002). Bohlen (2002) viskoelastik sonlu farklar yönteminin 3B heterojen viskoelastik ortamdaki sismik dalga yayılımını etkili bir şekilde modelleyebileceğini ifade etmiştir.

Geiger ve Daley (2003) farklı yoğunluktaki ve değişken hız ortamındaki akustik dalga alanını modellemek amacıyla MatLab yazılım programında akustik sonlu farklar kodunu geliştirmişlerdir ve gerçek Marmousi modellemesi için, tam akustik dalga denkleminin çözümünde 5 nokta yaklaşımlı merkezi sonlu farklar şemasını kullanmışlardır. Cho vd. (2007) uygun bir grid aralığı belirlemek amacıyla akustik sonlu farklar yöntemini kullanarak modellenmiş veriler üzerinde incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Grid aralığı 10 m olan atış kaydının halka şekilli çok daha dispersif bir dalga alanı ürettiğini, grid aralığı 1 m olan atış kaydının ise çok daha keskin dalga alanı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Fakat hesaplama süresinin ise 500 kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, küçük grid aralığının daha gelişmiş bir sonuç vereceğini, ancak daha yoğun bir hesaplama süreci gerektirdiğini ifade etmişlerdir. Jinhua vd. (2009) Kuzeybatı Çin'in karmaşık jeolojik yer altı yapılarının ve rezervuarlarının sismik dalga alanlarını modellemek için sonlu farklar ve sonlu eleman yöntemini uygulamış ve gerçek jeolojik modeli test etmek için modelden hesaplanan yığma kesit ile araziden elde edilen gerçek yığma kesitini karşılaştırmışlardır. Liu vd. (2009) sonlu farklar yönteminin doğruluğunun ve kararlılığının türev derecesine ve grid boyutuna bağlı olduğunu gözlemlemiş ve derece arttıkça doğruluğun arttığını ancak hesaplama zamanının da arttığını belirtmişlerdir. Hesaplama süresini ve zamanını azaltmak için ise, yüksek dereceli açık sonlu farklar yöntemleri ile kapalı sonlu farklar yöntemlerinin yer değiştirilebileceği sonucuna varmışlardır. Nejati ve Hashemi (2012) birbirinden farklı dört jeolojik modeli sonlu farklar yöntemini kullanarak başarılı bir şekilde modellemişlerdir. Elde edilen atış verilerine yığma sonrası göç yöntemini uygulayarak yer altının gerçek görüntüsünü elde etmişlerdir. Marmousi modeli gibi çok karmaşık modellerde ise yığma öncesi derinlik göç yöntemini uygulayarak daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ahmadi vd. (2013) sismik akustik sonlu farklar ileri modelleme yöntemini, kavramsal modelin doğruluğunu test etmek için yorumlanmış olan sismik kesite uygulamışlardır. Gerçek alan verisine uygulanan veri işlem aşamalarını yapay veriler içinde uygulamışlardır. Sonuçların karşılaştırılması neticesinde modelin gözlemlerle tutarlı olduğunu göstermişlerdir. Karmaşık jeoloji ve temel kaya ortamlarını çalışan birçok araştırmacı bu yaklaşımı kullanmışlardır. Burschil vd. (2015) yorumlanmış P dalga derinlik kesitinin jeolojik ve jeofizik bilgilerini kullanarak sonlu farklar algoritması ile yapay P dalga verisini üretmişlerdir. Yapay veri ile gerçek alan verisini karşılaştırdıklarında doğrudan gelen dalgaları, birincil yansımaları ve tekrarlı yansımaları görüntülemişlerdir. Yapay veriden elde edilen yığma sonrası zaman derinlik göç kesitinin

daha az gürültülü ve daha az genlik değişimi olduğunu ifade etmişlerdir. Gerçek alan verisinin ise farklı sinyallerin doğal seviyelerini içerdikleri için küçük ölçekli içyapılar hakkında daha fazla bilgi içerdiklerini belirtmişlerdir. Ahmadi vd. (2016) kavramsal modelin doğruluğunu test etmek için sismik akustik sonlu farklar ileri modelleme yöntemini, yorumlanmış gerçek alan verisine uygulamışlardır. 3B sabit hız ışın izleme yöntemini kullanarak elde edilen gerçek alan verileri ile 2B akustik sonlu farklar yönteminden elde edilen verilere aynı veri işlem aşamalarını uygulamışlardır. Gerçek göç kesiti ile yapay göç kesitinin sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yeni bir yer modeli önermişler ve litolojinin bazı kısımlarının farklı seviyelerde tekrarladığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, heterojen kalın bazalt katmanlarının altındaki karmaşık jeolojik yeraltı yapılarının modellenmesi için, Talukdar ve Behere (2018) tarafından SFY kullanılmıştır. Daha sonra model verilere yığma öncesi Kirchhoff zaman göçü ve yığma sonrası derinlik göçü uygulayarak eğimli fayları ve litolojik farklılıkları belirleyebilmişlerdir.

1.3. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, karmaşık hidrokarbon (petrol ve doğal gaz) kapan yer modellerinin sismik yansıma tepkilerinin yapay olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için, gerçekçi bir yaklaşım olması nedeniyle, atış ortamı modelleme yaklaşımı ile tasarlanan jeolojik kapan modellerinin sismik tepkileri atış ortamında, 2 boyutlu akustik sonlu farklar sayısal çözüm tekniği ile hesaplanmış ve uygun veri işlem süreçleri ile sıfır ofset kesitler (yığma ve göç kesitleri) elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece, farklı karakterdeki kapanların ne tür sismik tepkiler verdiği, işlenmesi süreçlerinde hangi sorunlarla karşılaşıldığı ve hangi çözümlerin katkı sağladığı ve elde edilen sıfır ofset kesitlerin başlangıç modeli ile ne derece uyumlu olabildiği hususları incelenmiştir. Bu kapsamda, tezin ilk bölümünde, yerbilimlerinde sayısal modelleme işleminde kullanılan sayısal hesaplama yaklaşımı olan sonlu farklar yöntemi, bu yönteme ilişkin öncel çalışmalar, hidrokarbon oluşumu ve kapan türleri hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, akustik sonlu farklar yönteminin dayandığı temel matematiksel ilkeler ve kullanılan sayısal çözüm algoritması, üçüncü bölümde sayısal verilere uygulanan veri işlem yöntemleri, dördüncü bölümde kanal kapan modelinin parametre test uygulamaları

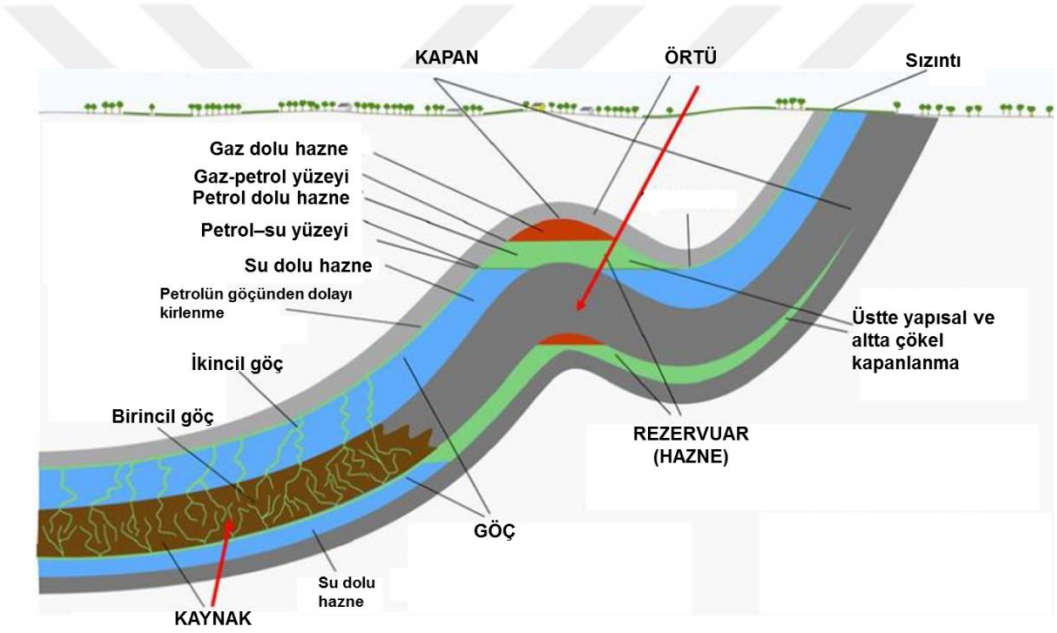
ve beşinci bölümde ise model uygulamalarına ilişkin hesaplama sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır.

1.4. Hidrokarbon Sistemi ve Tanımlar

En basit plankton ve tek hücreli yaşam şekillerinden, daha karmaşık kabuklular ve balık türlerine kadar deniz yaşamı karbon molekülleri içerir. Bu canlılar milyonlarca yıl boyunca anaerobik bir ortamda, karbon molekülleri ısı ve basınç süreçleri yoluyla hidrokarbon bileşiklerine ayrışır. Hidrokarbon bileşikleri, hidrojen ve karbon atomlarından oluşan organik bir kimyasal bileşen olarak tanımlanır. Yeterli miktardaki hidrokarbon birikintiler zamanla petrol ve gaz rezervuarları oluşturabilir. Artan ısı ve basınç, karbon bileşiklerinin deniz yaşamı kalıntılarından ayrışmasını sağlar. Daha büyük organik moleküller, uçucu malzemeler (hidrojen ve metan gibi daha basit zincirli karbonlar) ile sıvı malzemeler arasında ayrışmaya yol açan daha düşük ağırlıklı bileşikler oluşturmak için parçalanır. Kerojen adı verilen bu organik maddenin petrol ve doğal gaz hidrokarbonlarına dönüşmesi, hidrojen/karbon oranının giderek artmasına neden olur. Genel olarak, sıcaklık ne kadar düşük ve derinlik ne kadar sığsa, oluşan hidrokarbon bileşeni o kadar ağırdır. Bu faktörler, belirli bir rezervuarda bulunan petrole karşı doğal gazın göreceli miktarlarını belirler. Derinlik, sıcaklık ve olası petrol üretimi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Basit anlamda; gaz, petrol gibi akışkan ve kömür gibi katı hidrokarbonlar, organik maddeden hidrokarbon oluşumunda sadece farklı aşamalardır. Petrol için bir kaynak kaya haline gelebilecek herhangi bir tortul tabaka da gaz üretebilir. Bu durumda üretilen gaz, aynı rezervuarda oluşan ve ham petrol ile bir arada bulunan ilişkili gaz olacaktır. Bununla birlikte, gaz üretebilen tüm tortul tabakalar aynı zamanda petrol üretmeyecek, bu da dünyanın birçok yerinde bulunan, büyük bir ham petrol yatağı ile ilişkisi olmayan petrolsüz gaz rezervlerine yol açacaktır (Cohen, 2009).

Petrol jeolojisinde çok önemli bir kavram olan ‘‘Petrol sistemi’’ ilk kez Dow (1972, 1974) tarafından tanımlanmış, Magoon ve Dow (1994) tarafından‘‘bir aktif kaynak kaya ve hidrokarbon birikiminin var olması için gerekli tüm jeolojik unsurları ve süreçleri içeren doğal bir sistem olarak’’ ifade edilmiştir. Petrol sistemi kavramı, hidrokarbon birikimlerini bir kaynak kayaya bağlar, böylece hidrokarbonların kökenine vurgu yapar. Petrol sisteminin ana unsurlarını kaynak kaya, hazne kaya, kapan ve örtü kayadan oluşturmaktadır. İlgili jeolojik süreçler; hidrokarbon oluşması, kapan oluşumu, göç,

birikim ve korunmadır (Şekil 1). Kaynak kaya, ticari öneme sahip petrol veya gaz birikimi oluşturmak için yeterli hidrokarbon üretebilen, organik madde bakımından zengin, çökelim ortamı ürünü, koyu renkli, ince taneli şeyl ve kireçtaşı gibi sedimanter kayaçlar olarak tanımlanır (Tissot ve Welte, 1984; Hunt, 1995). Bununla birlikte, hazne kaya niteliğindeki bazı çökellerde de petrol birikimleri bulunmaktadır. Petrolün üretildiği resifal kireçtaşları bol miktarda organik madde içermektedir. Dolayısıyla, bu kayaçlar hem hazne kayaç hem de ana kayaç olarak kabul edilebilmektedir. Ana kayacın yaygın olarak oluştuğu ortamlar, planktonca zengin deniz ortamındaki killi kayacı, koloni halinde yaşayan organizmalarca zengin resif ortamındaki karbonatlı kayaç ve deltatik ortamda bulunan plankton ve bitki açısından zengin humuslu killi kayaçları içerir.



Şekil 1. Temel olarak kaynak, kapan, hazne, örtü kaya ve birincil-ikincil göçten oluşan bir hidrokarbon sistemi (Railsback, 2011'den uyarlanmıştır)

Hazne kaya (rezervuar), hidrokarbonun toplandığı veya biriktiği kayaya denir. Boşluk, çatlak ve gözenek içeren her kayaç hazne kaya özelliğine sahip olabilmektedir. Tortul kayaçlar, en yaygın rezervuar kayaçlarıdır. Çünkü çoğu magmatik ve metamorfik kayaçtan daha fazla gözenekliliğe sahiptirler ve hidrokarbonların korunabileceği sıcaklık koşulları altında oluşurlar. Örneğin, yaygın olarak %60 kumtaşı ve nadiren ise %40 kireçtaşlarıdır. Ülkemizde Trakya Bölgesi'nde kumlar gaz için iyi bir hazne kaya iken, Güneydoğu Anadolu'da Mardin grubu kireçtaşları petrol için yaygın bir hazne kayadır.

Dünyada petrolün en fazla (~%90) bulunduğu hazne kayaçlar kumtaşları ve kireçtaşlarıdır (Sefünç, 2017). Ancak, geri kalan kısım ise tektonik olaylar sonucu gözeneklilik ve geçirgenlik kazanan diğer kayaçlardır (örneğin şeyl, magmatik ya da metamorfik kayalar gibi). Petrol jeolojisi açısından hazne kayanın en önemli özelliği, gözeneklilik (porozite) ve geçirimliliktir (permabilite).

Gözeneklilik, kayacın toplam boşluk hacminin toplam katı hacmine oranıdır. Hidrokarbonun üretilmesinde önemli bir değiştirgendir. Genelde yapısal kıvrımlarda, faylarda ve aşınma yüzeylerinde gelişmektedir. Güneydoğu Anadolu'da Mardin gruplarından elde edilen petrol, çatlak gözenekliliğine sahip karbonatlardan elde edilmektedir.

Örtü kayaçları; hidrokarbonun hazne kayaç içinden kaçışını engelleyen geçirimsiz kayaçlardır. Geçirimsiz, kırıksız ve plastik özelliğe sahip formasyonlar "iyi örtü kayacı" olarak tanımlanabilirler.

Yaygın olarak, çamurtaşı, kil, kiltaşı, tuz, anhidrit, jips, marn ve bentonit iyi bir örtü kayacıdır. Çok az poroziteli ve geçirimsiz, çatlaksız kireçtaşı, dolomit, ayrışmış volkan külü ve türleri de örtü kayacı olabilir. Örtü kayacı özelliği taşıyan kayaçlar içinde en yaygın olanları evaporitler, kiltaşları ve karbonatlı kayaçlardır. Genel olarak, jeolojik zaman boyunca akışkanları tutabilen bir örtü kayacının geçirgenliğinin çok düşük seviyede, ~ 10^{-6} ile 10^{-8} darcy, olduğu belirtilmektedir (Biddle ve Wielchowsky, 1994).

1.5. Kapan Türleri ve Özellikleri

Hidrokarbon sistemleri kapanları oluşturmaktadır. Buna göre hidrokarbon kapanı, hidrokarbonları biriktiren hazne ve örtü kayalarının geometrik bir düzende olan yapısal ve stratigrafik birlikleri anlamına gelir. Ya da hidrokarbonları barındırmaya uygun ve hidrokarbonların göç etmeyeceği nispeten bir geçirimsiz oluşumla örtülmüş kayalar sistemi/düzeni/biçimi olarak tanımlanabilir. Buna karşılık, petrolün göç ederek hareket edemeyecek şekilde sıkıştığı yerlere veya su üzerinde yüzebilen sıvıları (petrol ve gaz) içine hapsedilebilen kayaç biçimine ise, rezervuar (hazne) adı verilmektedir. Gözenekli tabakalardaki kapalı yapılar, geçirimsiz bir tavan olması halinde kapan özelliği sergileyebilmektedir. Petrol-su ve gaz-su dokanaklarının geçirgenliği yüksek hazne kayalarda keskin, geçirgenliği düşük ve yüksek kapilarite basıncına sahip hazne kayalarda ise geçişli olarak gelişir. Akışkan dokanakları genellikle yatay ve düzlemsel olup, petrol-su

dokanağı ile sınırlıdır. Bu dokanak genelde yatay, ancak nadiren de eğimli olabilir. Kapan bir hidrokarbon sisteminin temel bileşenidir ve üç ana grupta incelenirler;

Yapısal Kapan: Yapısal kapanlar tektonik deformasyonlardan oluşur. Örneğin, antiklinal ve fay gibi jeolojik yapılarda oluşan hidrokarbon tuzaklarıdır. Dünya'nın en büyük hidrokarbon haznelerinin %80'i antiklinal kapanlarında bulunur.

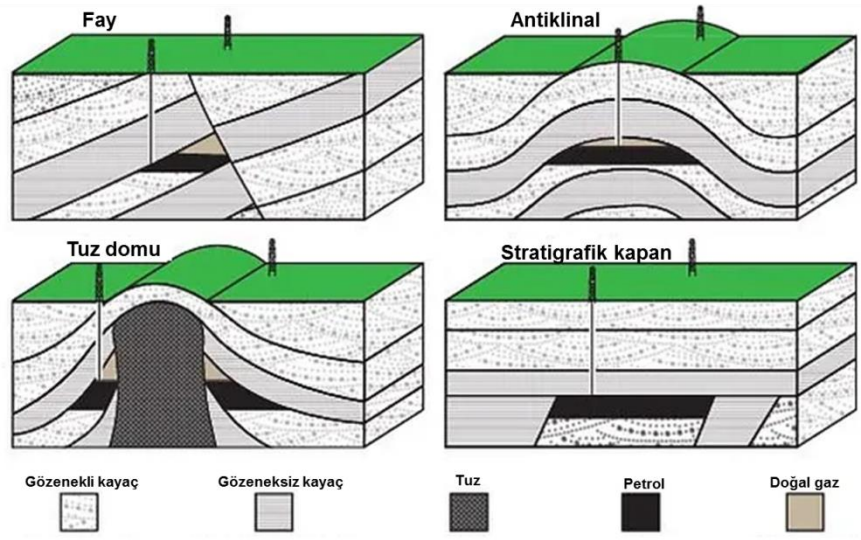
Stratigrafik Kapan: Kaya türündeki değişikliklerden, çıkıntılardan (pinch-outs), uyumsuzluklardan (unconformities), resifler (reefs) veya birikintiler (buildups) gibi diğer tortul özelliklerden kaynaklanan hidrokarbon tuzaklarıdır (örnek: kanallar ve nehir deltasındaki kumtaşı bariyerleri, karbonat yamaçları, mercan resifleri ve dolomit ve kalsitin kil dolu kanalları).

Bileşik Kapan: Hazne kayacın çökelmesi sırasında çökelimlerde meydana gelen süreçlerin bir bileşimi ile oluşurlar. Ayrıca hazne kayaçların çökelmelerinden sonra meydana gelen tektonik faaliyetlerle de oluşurlar (örnek: Tuz domları).

Kapan modelleri Şekil 2'de gösterilmektedir. En basit ve en yaygın kapan tipi antiklinaldir. Kapalı bir sistem petrolü biriktirir. Kapanın tabanı genellikle düzlemsel olup petrol-su arayüzeyi ile sınırlıdır. Dünyadaki kapanları en çok antiklinaller oluşturmaktadır.

Fayın kapan oluşumuna neden olabilmesi için, geçirimsiz bir süreksizlik ortamına neden olması gerekmektedir. Fayın atımı hazne kayanın atımından az ise, kapan oluşturması zordur.

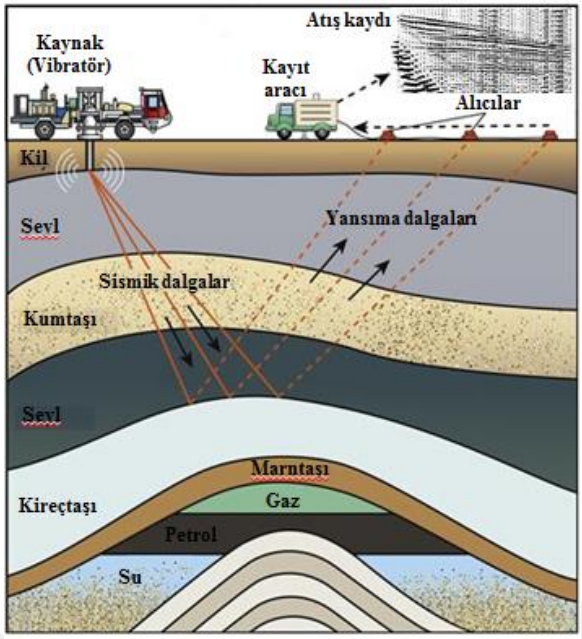
Kapanlarda hidrokarbon birikiminin olup olmadığı sismik hızlar ve genliklerdeki artış ve azalış ile ilişkilidir. Kuru ortamdan sıvı (doygun) ortama geçerken sismik hızda azalma olmaktadır. Bu durum gözenekli yapıların içerdiği sıvılar hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır (Mavko, 1998). Yansıma genliğindeki değişimler, bir gösterge olarak kabul edilebilir. Yüksek hidrokarbon doygunluğu, genlikte azalmaya neden olur. Düşük hıza sahip gazın, hazne kayanın içine girmesi akustik empedansın önemli miktarda azalmasına öyle ki, kayacın ortalama hızının %40 kadar azalmasına neden olmaktadır. Yüksek gözeneklilik ise, düşük akustik empedansa neden olmaktadır. Derin ortamlarda sismik hızın yerel olarak çevresindeki kayaçlara göre azalması, doğrudan hidrokarbon göstergeci olarak değerlendirilmektedir (Sefünç, 2017).



Şekil 2. Basitleştirilmiş yapısal (fay, antiklinal), stratigrafik (kanal) ve bileşik (tuz domu) kapan görüntüleri (Smil, 2008'den uyarlanmıştır)

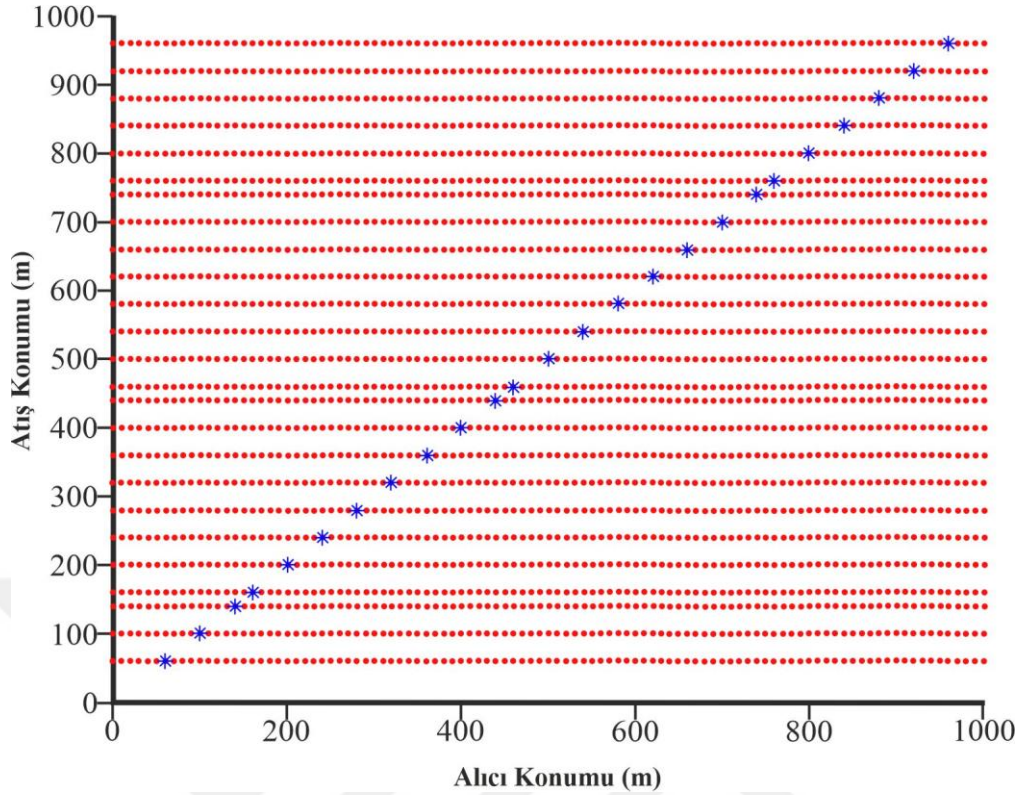
1.6. Sismik Atış ve Sıfır Ofset (Açılım) Kesitleri

Sismik veriler arazi ortamında (kara ve deniz) belirli düzenlerde çok kaynak (patlayıcı, vibratör, hava tabancası, balyoz, vb.) ve çok alıcılı sistemler kullanılarak uzaysal boyutlarda 2B (uzaklık-zaman) (Şekil 3) ve 3B (uzaklık, uzaklık, zaman) toplanır. Daha önce toplanmış bir verinin, belirli bir zaman sonra önceki için kullanılan kaynak-alıcı ve veri toplama parametreleri değiştirilmeksizin yeniden toplanması ise 4B'lu veri toplama olarak isimlendirilir toplanırlar. Bununla birlikte, günümüzde yer altı ile ilgili (yapısal, stratigrafik, hidrokarbon, yakın yüzey mühendislik özellikleri, vb.) üzerinde yorum yapılan tüm sismik veriler, sıfır açılımlı yığma ve/veya göç kesitleridir. Ancak bu kesitler ilk olarak onlarca ve yüzlerce atış verisi olarak toplanırlar, sonra bir dizi veri-işlem aşamasından geçirilerek son aşama olan yoruma hazır sıfır açılımlı kesitlere dönüştürürler.



Şekil 3. Sismik yansıma veri toplama düzeninin basitleştirilmiş görünümü (Cleveland ve Morris, 2013'ten uyarlanmıştır)

Şekil 4, basitçe çoklu atış ve sabit serimli bir alıcı düzeneği için veri toplama düzenini göstermektedir. Buna göre belirli aralıklarla yapılan atışlardan (kaynak uygulaması) 25 adet atış verisi toplanmıştır. Her bir atış verisinde alıcı sayısı (Şekil 4'te N=100 adet) kadar sismik iz bulunur. Uygulamada atış ve alıcı aralıkları ilgilenilen katlama (yer altında bir yansıma noktasından farklı atışlardan alınan yansımaların sayısı) sayısı (K=N*dx/(2*ds); dx ve ds sırasıyla alıcı ve atış aralıklarıdır) kadar olacak şekilde belirlenir. Bu kapsamda, mümkün olan en yüksek katlama elde edilmeye çalışılır (Şekil 4 için, N=100, dx=10 m, ds=40 m, K=12 olur).

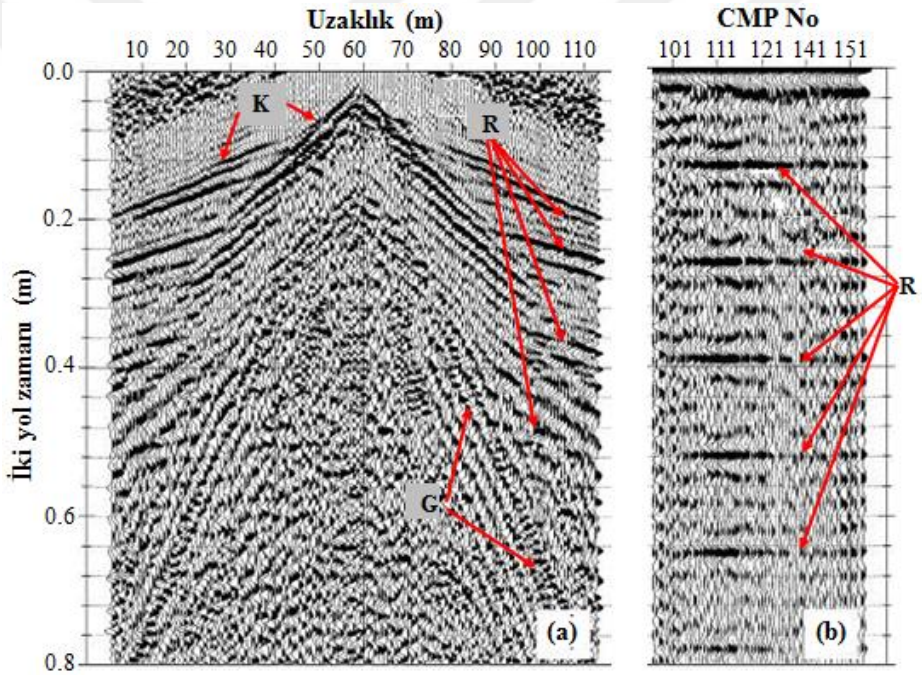


Şekil 4. Çoklu kaynak-alıcı dizilimi. Kırmızı noktalar alıcı konumlarını, mavi yıldızlar atış konumlarını göstermektedir.

Atış ortamı verileri saçılma, tekrarlı yansıma, ilk varışlar, yüzey dalgası, hava dalgası, çevresel gürültüler gibi birçok gürültüyü içerirler. Ayrıca, her bir tabakadan gelen yansıma geometrileri hiperboliktir ve yansıtıcı geometrisini yansıtmazlar. Bunun ötesinde yeraltının karmaşıklığı, soğurucu özelliği, heterojenitesi ve eğimli, topoğrafik özelliklerinden dolayı yüzeyde kaydedilen yansımaların dalga formları bozulmuştur. Yeraltının tekdüze olmaması nedeniyle kaynak-alıcı arasından beklenen yansıma olayı, bu noktadan gerçekleşmez, dolayısıyla atış verileri üzerinde yansıtıcı geometrileri çoğunlukla hatalıdır. Tüm bu olumsuzlukların giderilmesi için bir dizi veri işlem doğru ve en uygun parametre seçimleri ile atış verilerine uygulanır. Bu işlemler sonrası sıfır ofset (yani kaynak alıcı etkisi giderilmiş) ve doğru yansıma noktalarına taşınmış sismik kesitler elde edilmiş olur (bkz. Bölüm 2.4).

Atış ortamı verileri yeraltının karmaşıklığını ve çevresel etkilerini içerirken, sıfır ofset kesitler sadeleştirilmiş ve yeraltının bir görüntüsünü (yansıtıcı seviyeleri, yanal değişimleri, hidrokarbon kapan ve hazne anomalileri, vb.) yansıtırlar. Yani, atış verileri gerçek ortam verileri iken, sıfır ofset verileri yeraltı görüntülerine dönüştürülmüş atış

ortam verilerinden türetilmiş verilerdir. Şekil 5, bir profil boyunca kaydedilen atış verilerinden bir örneği ve bu atış verilerinden elde edilmiş sıfır ofset bir yığma ve/veya göç kesiti örneğini göstermektedir. Çok açık olarak, Şekil 5b'deki yığma kesiti Şekil 5a'dan üretilmiş olmasına rağmen, karakterleri ve içerikleri tamamen farklıdır. Yansıma çalışmalarında atış verilerindeki yansıma dalga alanlarının (olaylarının) dışındaki tüm dalga alanları gürültü olarak değerlendirildiğinden, yığma kesitlerindeki dalga alanlarının hemen hemen hepsinin (gürültü kalıntıları ihmal edilirek) yer altındaki yansıtıcılardan kaynaklı yansımalar olduğu kabul edilir. Tüm bu durumlar gözönüne alındığında, modelleme çalışmalarının atış kayıtlarından başlanmasının gerçek ortam etkilerini analiz etmek açısından önem taşıdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Bir atış kaydı ve yığma kesiti örneği. (a) atış ve (b) veri işlem uygulamalarından sonra elde edilen yığma kesiti. R, K ve G sırasıyla, yansıma, ilk varış ve yüzey dalga alanlarını göstermektedir (Francese vd., 2002'den uyarlanmıştır)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Akustik Sonlu Farklar Yöntemi (ASFY)

Sonlu farklar yöntemi, diferansiyel dalga denklemlerinin çözümünde kullanılan ilk sayısal yöntemlerden biridir. SFY yapay sismik atış verilerin hesaplanmasında kullanılan sayısal bir yöntem olup ve birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yöntem akustik ve elastik dalga denklemlerinin sayısal çöüzümlerine tam olarak uygulanabilmektedir (Moczo vd., 2007; Margrave, 2003; Carcione vd., 2002; Youzwishen ve Margrave, 1999; Manning ve Margrave, 1998; Krebes ve Lee, 1994; Marfurt, 1984).

ASFY, belirli başlangıç ve sınır koşullarında denklem (1) ile verilen kısmi diferansiyel akustik dalga denklemlerinin doğrudan çözümünü sağlar. Yöntem, akustik dalgaların yayılmasını basit jeolojik modellerden karmaşık jeolojik modellere kadar elde etme imkânı sağlar. Yöntemin 2B skaler (nümerik) dalga denklemi (x, z) kartezyen (dik) koordinatlarda aşağıdaki gibi yazılmıştır (Lines vd., 1999).

$$\frac{\partial^2 \phi(x,z,t)}{\partial t^2} = v^2(x,z)\nabla^2\phi(x,z,t) \tag{1}$$

Burada;

x: Grid ağı üzerindeki yatay uzaklık (m),

z: Grid ağı üzerindeki düşey uzak (m),

t: İki yön için zamanı (s),

v: Dalganın yayıldığı ortamın hızını (m/s),

$\nabla^2 \phi(x,z,t)$: Dalga potansiyelini veya akustik dalga alanını ifade etmektedir.

2B'lu ∇^2 Laplace işlemcisi denklem (2) ile verilmiştir.

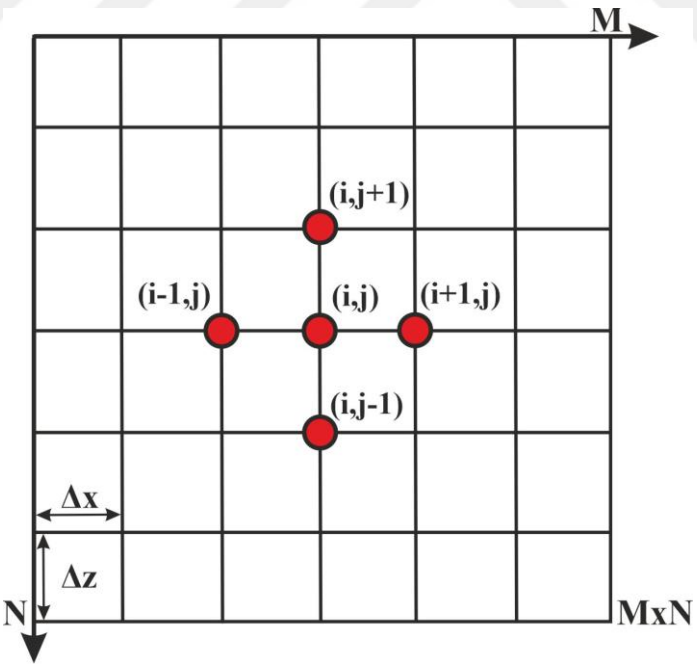
$$\nabla^2\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} \tag{2}$$

Merkezi fark operatörleri ile ikinci ve dördüncü derece türev yaklaşımları kullanılarak Laplace operatörü yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu türev yaklaşımlarda,

sırasıyla 5 ve 9 grid (ağ) noktası yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, hesaplama zamanını artırmasına karşın, yüksek doğruluk ve geniş bantlı çözüm sağladığı için 9 grid noktalı dördüncü derece Laplace operatör yaklaşımı olan denklem (3) kullanılmıştır (Youzwishen ve Margrave, 1999).

$$\nabla^2\phi(x,z) \approx \frac{-\phi(x+2,z)+16\phi(x+1,z)-30\phi(x,z)+16\phi(x-1,z)-\phi(x-2,z)}{12\Delta x^2} + \frac{-\phi(x,z+2)+16\phi(x,z+1)-30\phi(x,z)+16\phi(x,z-1)-\phi(x,z-2)}{12\Delta z^2} \quad (3)$$

Sismik dalga alanı, Şekil 6'da gösterilen her bir ağ noktasında, sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak dalga denkleminin türevleri elde edilir ve bu işlem tekrarlı olarak çözülerek hesaplanır. Bununla birlikte, dalga denklemlerinin çok az sayıda analitik çözümü vardır ve dalga alanı modellemesi için yaygın olarak yaklaşık sayısal çözümler tercih edilmektedir.



Şekil 6. Merkezi sonlu farklar türev yaklaşımına uygun grid ağı. (M; x yönündeki grid sayısı, N; z yönündeki grid sayısı, i; x koordinatı, j; z koordinatı)

Sonlu fark yaklaşımları şekilsel olarak sabitler ve değişkenlerden oluşan bir sayısal işlemdir (Şekil 6). Şekil 6'da verildiği gibi, herhangi bir (i, j) noktasına grid noktası adı verilir. Grid bölgesindeki bir noktadaki bağımlı değişkenin değeri komşu noktalardaki değerlerle ilişkilendirilebilir. Örneğin, (i, j+1) ve (i, j−1) üstünde ve altında bulunan, (i+1, j) ve (i−1, j) ise sağında ve solunda bulunan noktaları ifade eder. Kullanılan gridin düzenli grid olması halinde grid noktaları kolay bir şekilde tanımlanabilir. Örneğin, Şekil 1'deki gibi bir ağ için, ağ noktaları aşağıdaki denklem (4) ve (5) ile verilmiştir.

$$x_i = i.\Delta x_i \qquad i = 0,1,2,...,M \tag{4}$$

$$z_i = j.\Delta z_i \qquad j = 0,1,2,...,N \tag{5}$$

Burada;

Δt: Zamansal örnekleme aralığı (s),

Δx: Uzaysal örnekleme aralığı (m)'dir (Δx=Δz).

Denklem (1)'in solunda bulunan zaman türevinin ikinci dereceden merkezi farklar yaklaşımı ile hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\phi(t+\Delta t) - 2\phi(t) + \phi(t-\Delta t)}{\Delta t^2} \tag{6}$$

Denklem (3) ve (6), denklem (1)'deki sayısal dalga denkleminde yerine konulursa, t+Δt zamanındaki dalga alanı tekrarlı olarak çözülebilir (denklem 7).

$$\phi(\mathrm{x},\mathrm{z},t+\Delta t) \approx (2 + \Delta t^2 V(x,z)^2 \nabla^2)\phi(\mathrm{x},\mathrm{z},t) - \phi(\mathrm{x},\mathrm{z},t-\Delta t) \tag{7}$$

Burada;

ϕ: P-dalga potansiyeli.

t ve t-Δt zamanında dalga alanının bilinmesi halinde t+Δt zamanındaki dalga alanı hesaplanabilmektedir. Bu işlem her bir zamandaki dalga yayılımının anlık görüntüsü (snapshot) veya zaman adımlaması olarak adlandırılabilir. Dalga alanı t-Δt zamanında çıkarılırken, Laplace işlemcisi t zamanında dalga alanına uygulanır.

SFY açık (explicit) ve kapalı (implicit) yaklaşım olmak üzere iki gruba ayrılır. Açık yaklaşım, isteğe bağlı heterojen ortamlarda sismik dalgaları doğru bir şekilde modelleme yeteneğinden dolayı 2B ortamda sismik dalga yayılımını modellemek için yaygın olarak kullanılmıştır. Hesaplamada bir sonraki adım değerini hesaplamak için bir önceki zaman veya komşu nokta değerlerinden faydalanılır. İşlem yinelemeli olarak devam ettirilerek sonlu ağ üzerindeki her bir nokta değeri hesaplanır (Madariaga, 1976; Virieux, 1984 ve 1986; Moczo vd., 2004). Buna karşılık kapalı yaklaşımda ise, bir önceki zamana ait bilinen tüm uzaysal noktalardaki değerlerden bir sonraki zamana ait noktalar aynı anda dizey tersleme yöntemiyle elde edilir (Emerman vd., 1982; Mufti, 1985).

Açık yaklaşım, Δt zaman örnekleme aralığının büyük seçilmesi durumunda kararsız yapılar oluşturabilir. Bu durumda kapalı yaklaşımdan daha etkin çözümler elde edilebilir. Açık ve kapalı yaklaşım özellikleri Tablo 1'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 1. Açık ve kapalı SFY'nin karşılaştırılması (Li vd., 2017)

Açık Yaklaşım (Explicit)	**Kapalı Yaklaşım (İmplicit)**
Genellikle kullanımı basit ve anlaşılması oldukça kolaydır.	Δt zaman adımı daha büyük seçilebilir. Böylece hedeflenen zamana daha hızlı ulaşılır.
Programlanması nispeten kolaydır.	Açık yaklaşıma göre daha karmaşıktır ve programlanması daha zordur.
Doğruluk ve kararlılığı sağlamak için çok küçük zaman adımları kullanmak gerekir.	Her bir zaman adımı için çok fazla hesaplama yükü getirir.

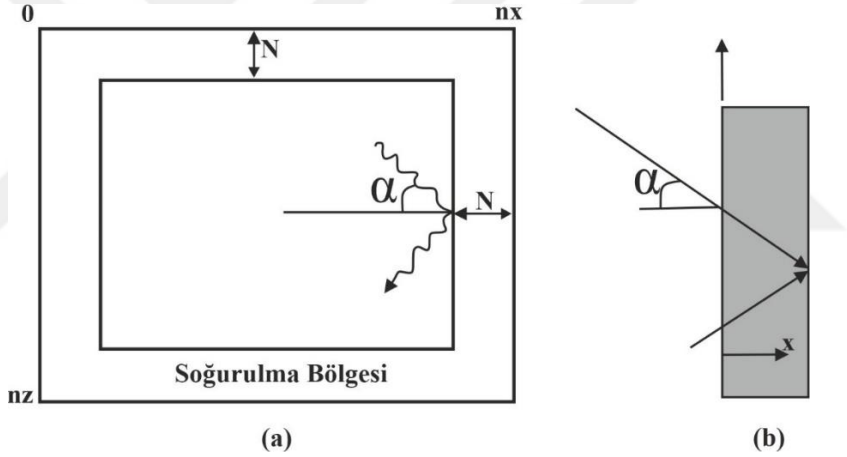
2.2.1. Sayısal Çözüm Koşulları

Akustik dalga denkleminin sayısal çözümünde kullanılan uzaysal örnekleme aralıklarının $(\Delta x, \Delta z)$ ve örnekleme zamanının (Δt) belirlenmesi bazı koşullara bağlıdır. Bu koşullar; sınır, kararlılık ve ağ (veya grid) dispersiyonudur ve bunların sismik modelleme sırasında tam ve doğru belirlenmesi gerekmektedir.

2.1.2. Sınır Koşulları

Sonlu fark denkleminde kullanılan jeolojik modeller, sonlu sayıda grid noktasıyla sınırlıdır. Görüntüleme yöntemi (Levander, 1988) ile modelin üzerine serbest bir yüzey uygulanır (Robertsson, 1996). Ayrıklaştırılmış modeller de aynı şekilde yanal ve alt

tabanda sınırlandırılmıştır, fakat bu kenarlar gerçek sınırları temsil etmemektedir. Şekil 7a'da gösterildiği gibi, bir modelin sınırlarına ulaşan dalga, kullanılan sınır şartına göre ya sönümlenir ya da bu sınırdan grid ağının içine geri yansır. Neumann ve Dirichlet sınır şartları kullanıldığında, sınırlarda yansıma katsayısı, R=1 olmaktadır. Diğer bir deyişle, sınıra gelen dalga ile sınırdan yansıyan dalganın genliği aynı olmakta ve bunun neticesinde kenar yansımaları oluşarak hesaplamaları olumsuz etkilemektedir (Şekil 7b) (Clayton ve Engquist, 1977; Reynolds, 1978; Higdon, 1991). Sayısal gridin kenarlarında oluşan bu yansımaları azaltmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Genellikle grid çevresinde, parçacık hızlarının ve gerilme değerlerinin 1'den küçük bir faktörle çarpılarak düzgün bir şekilde dalgayı sönümleyen çerçeve kullanılır (Cerjan vd., 1985). Diğer bir olasılık ise, grid etrafına düşük kalite faktörü değerine (Q) sahip bir çerçeve eklemek olabilir (Robertsson vd., 1994; Liao ve McMechan, 1996).



Şekil 7. Sonlu fark model ağda sınır koşulları. a) Model kenarlarındaki sınır koşulları, b) Dirichlet ve Neumann sınır koşulu. Burada, N; soğurucu tabaka mesafesi ve α; yansıyan dalga açısını temsil etmektedir

2.1.3. Ağ Dispersiyonu

Sismik enerjinin grup hızı, dalga sayısına bağlı bir niceliktir. Uzaysal grid örneklemesinden dolayı farklı spektral bileşenler farklı hızlarda hareket eder, bu da grid dispersiyonu olarak bilinen yapay bir dispersiyonla sonuçlanır (Holberg, 1987). Temel sebep, sayısal türev için sonlu fark işlemcilerinin daha kısa dalga boylarında daha fazla hatalı sonuç vermesidir. Sayısal dispersiyonun etkilerini azaltmak için çok küçük bir

örnekleme gerekebilir. Çünkü uzaysal (Δx) örnekleme aralığı büyüdükçe grid dispersiyonu artar (Kelly vd., 1976). Grid dispersiyon koşulu denklem (8)'de verilmiştir. Burada, k, eleman sıklık dizeyini, π, pi sayısını, λ, Lame parametresini, V_p, P dalga hızını, Δx, x yönündeki ağ (grid) mesafesini ve f_m, sismik kaynak frekansını temsil etmektedir.

$$k\,\Delta x \le \frac{\pi}{5} \quad (k = \frac{2\pi}{\lambda})$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_{\min}}\Delta x \le \frac{\pi}{5}$$

$$10\,\Delta x \le \lambda_{\min}$$

$$\frac{V_p}{\Delta x\, f_m} \ge 10 \tag{8}$$

2.1.4. Kararlılık Koşulu ve Doğruluk

Sonlu fark yönteminden elde edilen çözümün güvenilir ve kararlı olması için sayısal yöntemlerin doğruluğu ve kararlılığı son derece önemlidir. Doğruluk, yaklaşık çözümün kesin çözümlere yakınlığı ile ilgili olup kararlılık ise, şemanın zamanla artan çözüm büyüklüğünü artırmaması şartıdır. Çözümün kararlığı için, ilgilenilen model bölgesinde tanımlanan en küçük ve en büyük hız, kaynak dalgacığının baskın frekansı ve uzaysal örnekleme aralıkları belirlenmelidir (Vemuri ve Karplus, 1981).

Kararlılık koşulu için farklı yaklaşımlar farklı araştırmacılar tarafından geliştirmiştir. Fiziksel olarak sayısal hesaplama yapabilmek için sonlu farklar algoritmasının sonlu olması gerekir. Bundan dolayı, örnekleme zamanının (Δt) seçimi isteğe bağlı olarak belirlenemez. Ortamın hız değerleri ve sonlu farklar gridinin yatay ve düşey uzaklıkları Δt seçiminde belirleyicidir. 2B akustik dalga denklemi için kararlılık koşulu (Virieux, 1984; Mufti, 1985) denklem (9) ve (10)'da verilmiştir. Buna göre, kararlılık koşulu,

$\Delta x \neq \Delta z$ ise,

$$V_p \Delta t \sqrt{\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta z^2}} \leq 1 \tag{9}$$

ve $\Delta x = \Delta z$ ise,

$$V_p \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \tag{10}$$

olarak kullanılır. 2B dalga denklemi için kararlılık koşulu Reynolds (1978) tarafından önerilen denklem (11) ile belirlenmiştir.

$$V_p \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \left(1 + \frac{V_s^2}{V_p^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \tag{11}$$

2.2. Kaynak Dalgacığı (veya Fonksiyonu)

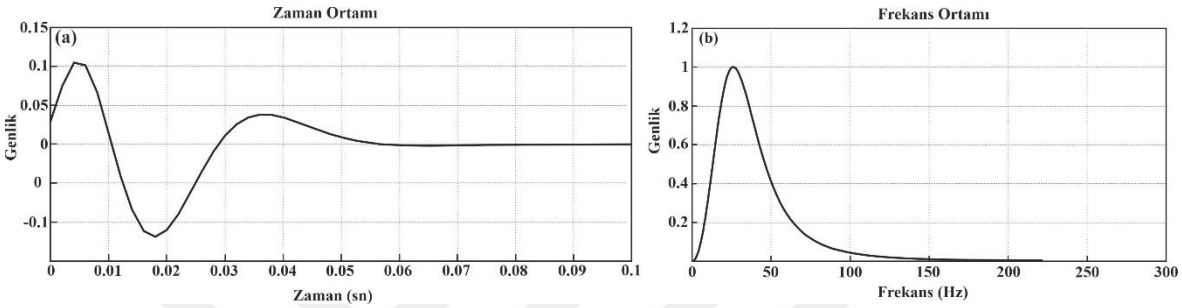
Sismik dalga yayılımının modellenebilmesi için yapay bir sismik kaynak gereklidir. Yapay kaynak bir nokta kaynak olabileceği gibi, düzlem kaynak veya hacimsel kaynak olarak da tanımlanabilir. Ağ dispersiyonunu önlemek için, kaynak fonksiyonu genellikle sıfır fazlı Gauss, Ricker veya Butterworth türü fonksiyonlar olarak tanımlanır. Bu tez çalışmasında sismik kaynak fonksiyonu olarak Ricker dalgacığı kullanılmıştır ve denklem (12) ile aşağıda verilmiştir.

$$s(t) = (1 - t^2 f_c^{\,2} \pi^2) e^{(-t^2 f_c^2 \pi^2)} \text{ veya } s(t) = (1 - 2\left[\pi f (t - t_0)\right]^2) e^{-\left[\pi f (t - t_0)\right]^2} \tag{12}$$

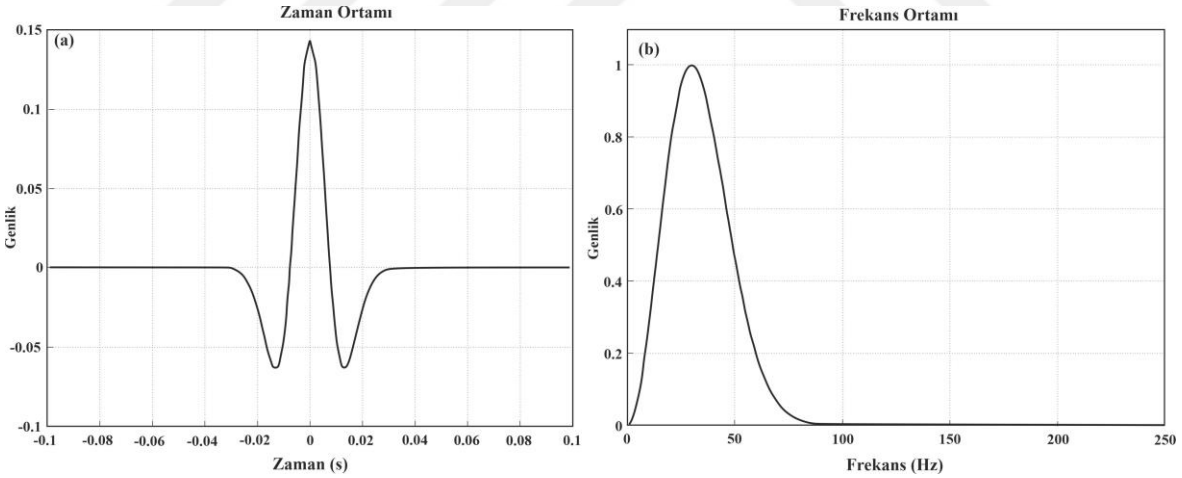
Bağıntıda verilen f_c, maksimum genlik (tepe) frekansını, *s(t),* kaynak fonksiyonunu ve t, zamanı ifade etmektedir.

Sismik modellemede, dalgacık türü düşey ayrımlılığı belirlemede en önemli faktördür. Minimum fazlı ve sıfır fazlı dalgacık olmak üzere iki temel şekli vardır.

Minimum fazlı dalgacık, sismik dalgacığın başlangıcının yeraltı arayüzeyinin tam konumu ile çakıştığı dalgacık türü iken, sıfır fazlı dalgacık, dalgacığın maksimum genliğinin litolojik arayüzeyle çakıştığı dalgacık tipidir (Veeken ve Moerkerhen, 2013). Hâkim frekansı f=30 Hz olan, zaman örnekleme aralığı 2 ms ve kayıt uzunluğu 1000 ms olan minimum fazlı ve sıfır fazlı Ricker dalgacıklarının zaman ve frekans ortamındaki görünümü Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. 30 Hz tepe frekanslarına göre minimum fazlı dalgacığın (a) zaman ortamı ve (b) frekans ortamındaki görünümleri



Şekil 9. 30 Hz tepe frekanslarına göre sıfır fazlı dalgacığın (a) zaman ortamı ve (b) frekans ortamındaki görünümünü göstermektedir

2.2.1. Kullanılan Yazılımının Tanıtımı

Bu tez çalışmasında, Sonlu Farklar Modellemesi için serbest erişimi olan CREWES Project MatLab kodlarından yararlanılmıştır (Margrave, 2003). Matlab araç kutusu, akustik sonlu farklar yöntemini kullanarak sismik dalgaları modellemek için yazılmıştır. Araç

kutusu ile hız modelleri, atış kayıtları, patlayan yansıtıcı modelleri ve derinliklerde yayılan dalga alanının anlık görüntüleri (snapshots) elde edilir (Youzwishen and Margrave 1999).

2.3. Kapan Jeolojik Modellerinin Tasarlanması

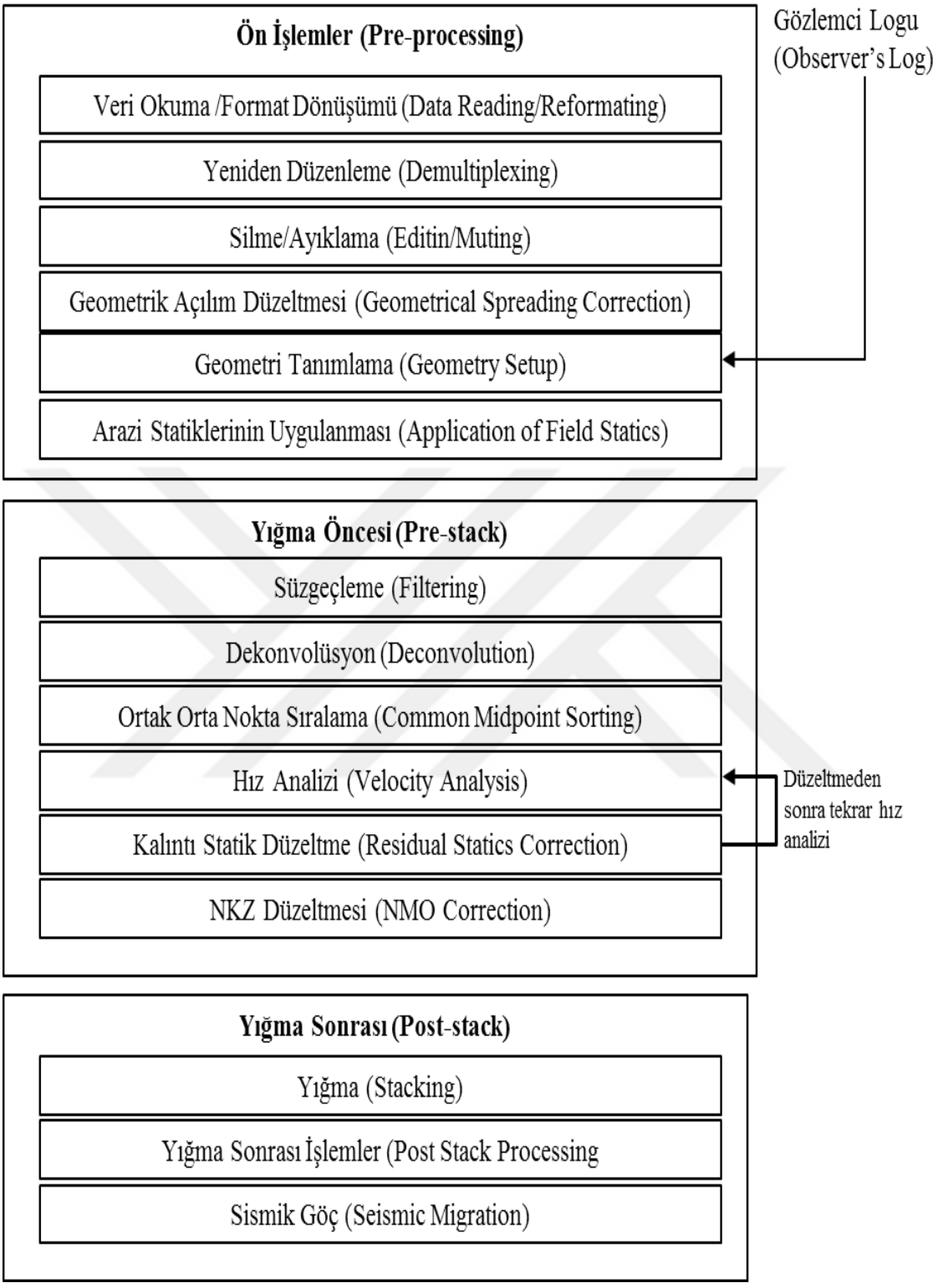
2B akustik sonlu fark yöntemi kullanılarak elde edilen bu yapay yer modelleri, sismik P dalga hızları farklı olan isteğe bağlı sayıda birkaç poligonal bölge ile oluşturulmaktadır. Başlangıçta, 10 m'lik hücre boyutuna sahip (dx) olan 100 x 100 m'lik bir grid için temel bir algoritma kurulur. Daha sonra hız matrisi belirlenir ve arka plan hızı (en düşük hız) atanır. Ardından poligonal bölgenin köşe koordinatları (x, z) tanımlanır. Bu bölgeye modellemede belirlenen en yüksek hız ile doldurmak için akustik sonlu fark hız modelleme (afd_vmodel) araç kutusu (toolbox) çağrılır. afd_vmodel'in tekrar çağırarak, birçok poligonal bölgenin üst üste konulmasıyla karmaşık hız modelleri oluşturulur. Elde edilen hız modellerinin atış kayıtlarını hesaplamak için sismogram örnekleme aralığı (dt), zaman hesaplama adımı (dtstep) ve kayıt süresi (tmax) değerleri tanımlanarak (afd_shootline) araç kutusu ile bir dizi atış kayıtları oluşturulur. Modellenen atış verileri daha sonra (SEGY-WriteShotGathers) araç kutusu ile SEGY dosyasına yazılır (Margrave, 2000).

2.4. Verilerin İşlenmesi ve İş Akışının Oluşturulması

Sismik veri işlem, atış kayıtlarını yorumlanabilir kesitlere dönüştürmek için temeli matematiksel olan işlemlerin sismik veriye uygulamasını içerir. Bu işlemler sayesinde verinin gürültü bileşenleri zayıflatılır/bastırılır/soğurulur, sinyal/gürültü oranı, zamansal (düşey) ve uzaysal (yanal) ayrımlılığı artırılır, görüntü kalitesi iyileştirilir ve profil boyunca yüzlerce-binlerce atıştan oluşan veri yoğunluğu yani veri hacmi azaltılır. Sismik verilerin işlenmesi üç temel aşamada gerçekleştirilir: (1) veriyi işlenmeye hazırlayan ön işlemler, (2) veriyi yığmaya hazırlayan işlemler ve (3) veriyi yoruma hazırlayan işlemler (Tablo 2). Bunlardan 1. ve 2. aşamalar yığma öncesi (pre-stack) ve 3. aşama yığma sonrası (post-stack) işlemler olarak gruplandırılır. Bu kapsamda, atış verilerinin yığma ortamına aktarılması için gerçekleştirilen ve Ortak Orta Nokta (OON, common mid point-CMP) sıralama (sort) işlemi son derece önemlidir. Çok atış-çok alıcı veri toplama düzenlerinde, aynı yansıma noktasından yansıma izlerinin seçilmesi olan bu işlemin tam olarak doğru

gerçekleştirilmesi atış-alıcı koordinat bilgilerinin eksiksiz ve doğru olarak tanımlanmasına bağlıdır (Yılmaz, 2001; Dondurur, 2018). Bu aşamada yapılacak hata, özellikle hız analizinde yanlış hız seçimine neden olacaktır. Verinin içerdiği düşük ve yüksek frekanslı gürültülerin süzgeçlenmesi ile verinin sinyal/gürültü oranı artırılır. Dekonvolüsyon ile verinin zamansal ayrımlılığı artırılırken, göç işlemi ile uzaysal ayrımlılık artırılır. OON iz gruplarına normal kayma zamanı düzeltmesi uygulanarak üste üste toplama işlemi olan yığma ve yansımaların gerçek yansıma noktalarına taşıma işlemi olan göç işleminin başarısı hız analizine bağlıdır. Sismik kayıtlardan tabakalı ortama ait hız haritası, OON gruplarının hız spektrumlarının hesaplanması ile elde edilir. Göç kesitleri genel olarak yığma sonrası (post-stack migration) kesitlere uygulanmakla birlikte, yığma öncesi (pre-stack migration) atış kayıtlarına uygulanarak da gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda hesaplama algoritmalarında ve bilgisayar teknolojilerinde ki ilerlemelere bağlı olarak, özellikle karmaşık jeolojik ortamlardan elde edilen sismik verilere çoğunlukla yığma öncesi göç uygulanması tercih edilmektedir.

Yukarıda ana hatları ile açıklanan sismik veri işlem uygulaması belirli bir düzen içinde belirlenen iş akışları (Work Flow) ile gerçekleştirilir (Şekil 10). Şekilde yaygın olarak tercih edilen bir iş akışı örneği sunulmuştur (Yılmaz, 2001). Bu iş akışındaki her bir işlemin başarısı o işlem için seçilen parametrelere bağlıdır, dolayısıyla sismik veri işlem aslında kullanıcı deneyimine yakından bağlı olan bir sanat olarak da değerlendirilebilir. İş akışındaki bazı işlemler iş akışından çıkarılabileceği gibi, yeni işlemler eklenebilir. Aynı işlemler hem yığma öncesi hem yığma sonrası iş akışına eklenebilir. Mesela süzgeçleme yığma öncesi düşük frekanslı gürültülerin (yüzey dalgası veya deniz dalgası gürültüleri) bastırılmasında kullanılırken, dekonvolüsyon sonrası yüksek frekanslı gürültüleri bastırmak içinde kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, çok saçılma içeren verilerde yığma öncesi dekonvolüsyon kullanılması tercih edilmez iken, bu işlem yığma sonrası uygulanır. Böylece, sismik veri işlem sürecinde iş akışında hangi işlemlerin olacağı verinin özeliklerine de bağlıdır.



Şekil 10. Sismik veri işlemde temel işlemleri içeren iş akışı (Yılmaz 2001'den düzenlenerek)

Tablo 2. Veri işlem aşamaları

İşlem Adı	Açıklama
Yeniden Formatlama (Reformating)	Arazi kayıtları SEGD'den SEGY'a dönüştürülür.
Yeniden Düzenleme (Demultiplexing)	Arazi kaydındaki farklı alıcı izlerinin aynı indisli değerleri [(1,1), (2,1), (3,1)….] bir sütuna yazılır. Yeniden düzenleme ile, bu değerler ait oldukları alıcı sütununa [(1,1), (1,2), (1,3)…] yazılır.
Veri Yükleme (Data Loading)	Toplanmış olan ham sismik verinin veri işlem sistemine yüklenmesidir.
Geometri Tanımlama (Geometry Definition)	Kaynak-alıcı geometrisinin ve bunların gerçek coğrafik koordinatlarının tanımlanmasıdır.
Bant-Geçişli Süzgeç (Band-Pass Filter)	Verinin belirli bir frekans bandındaki bileşenleri geçirip, bu bandın dışındaki frekans bileşenlerine ait genlikleri veriden atma işlemidir.
Arzu edilmeyen Alanların Atılması (Muting)	Birincil yansıma olayların dışındaki doğrudan ve kırılarak gelen dalgalar gibi bazı olaylar sismik atış verisinden tamamen silinir.
f-k Eğim Süzgeçleri (f-k Dip Filters)	Giriş verisinin 2B Fourier dönüşümü alınarak farklı eğime sahip olayların birbirinden ayrılmasıdır.
Dekonvolüsyon (Deconvolution)	Sismik verinin zamansal ayrımlılığını artırır.
Ortak Orta Nokta Sırala-OON (Common Mid-Point Sort)	Sismik veriyi atış-alıcı ortamından işlem ortamına aktarır.
Hız Analizi (Velocity Analysis)	OON grupları üzerinde hız hesaplama yöntemidir.
Normal Kayma Zamanı Düzeltmesi-NKZ (Normal Moveout Correction)	Yansımalar sıfır açılım zamanına taşınır.
Yığma (Stack)	OON gruplarındaki tüm izler toplanarak tek bir iz haline getirilir.
Göç (Migration)	Eğimli yansımaları gerçek konumlarına taşır ve saçılma enerjisini yok eder.

2.5. Basit Kanal Kapan Modeli ve Parametre Testi

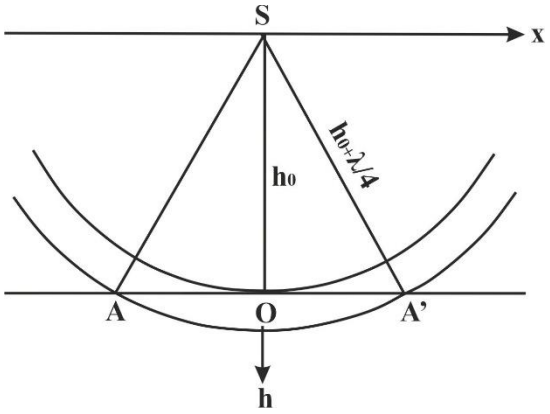
Sismik çalışmalarda kullanılan kaynaklar, modelleme çalışmalarında belirli frekansa ve süreye sahip kaynak dalgacıkları ile tanımlanır. Kaynak dalgacığının frekans içeriği ayrımlılık açısından oldukça önemlidir. Yeraltındaki jeolojik yapılarla ilgili doğru bilgi edinebilmek, hedef derinliklerdeki yapıları belirleyebilmek ve yorum yapabilmek için verinin ayrımlılığın yüksek olması istenir. Sismik verilerde düşey ve yanal ayrımlılık dalga boyu (dalgaboyu=hız/frekans) ve ilgili tabaka kalınlığı tarafından kontrol edilir.

Düşey ayrımlılık, bir tabakanın üst ve alt yüzeylerinden yanısmaların sismik veriler üzerinde ayırt edilebilmesidir ve bir tabakanın kalınlığı ile ilişkilidir. Sismik dalganın hâkim dalga boyu (λ), ortamın P dalga hızı (V) ve o tabaka içindeki baskın frekansına (f) bağlıdır ve denklem (13) ile verilmiştir.

$$\lambda = \frac{V}{f} \tag{13}$$

Buna göre bir tabakanın sismik kesitler üzerinde ayrımlanabilmesinin temel sınır koşulu, $h \geq \lambda/4$ ile gerçekleşir ve Rayleigh ayrımlılık kriteri olarak bilinir. Yani, λ/4'ten daha ince tabakaların sismik veriler üzerinde yapıcı veya bozucu girişimden dolayı ayrımlı olarak kaydedilmesi mümkün olmaz. Özellikle derinlere doğru inildikçe dalga frekansı azaldığından ve hız göreceli olarak arttığından dolayı düşey ayrımlılık azalır. Dolayısıyla, genel olarak derinlerde bulunan tabakaların sığ derinliklerde bulunan tabakalardan daha kalın olması gerekir, ancak bu her zaman mümkün olamayabilir. Bu nedenle verilerin ayrımlılıkları onların baskın frekans içeriğinin artırılmasını veya genişletilmesini içeren veri işlem süreçleri ile sağlanmaya çalışılır.

Yanal ayrımlılık ise, yer altında yatay konumda yan yana durmakta olan iki yansıtıcının, sismik veri üzerinde birbirlerinden ayırt edilebilmesidir. Küresel dalga cephesinin yatay bir düzleme çarpması sonucu kapladığı dairesel alanın (Şekil 11'de AA' yayının |AOA'| doğrusu arasındaki bölge) yarıçapı (|OA| veya |OA'|) ile ilişkili olan Fresnel Zonu (1. Fresnel Bölgesi olarak isimlendirilir), yatay ayrımlılığın bir ölçütüdür. Fresnel Zonu'nun yarıçapı (R), arayüzeye kadar olan P-dalga yayınım hızına (V), baskın frekansa (f) ve sismik dalganın düşey gidiş-geliş zamanına (t_0) bağlıdır (Şekil 11).



Şekil 11. Fresnel bölgesinin AA' tanımlaması. Burada, |AOA'|: yer altındaki yatay düzlemsel yansıtıcıyı, |SO|: yerin yüzeyindeki S konumu ile yer altındaki O noktası arasındaki mesafeyi ve h: 1. Fresnel bölgesini temsil etmektedir

Fresnel Zonu'nun yarıçapı aşağıda verilen denklem (13) ile hesaplanır. Kaynak dalgacığı baskın frekans değeri artıkça, ya da dalga boyu kısaldıkça, Fresnel Zonu'nun yarıçapı, R, daralır ve yatay ayrımlılık artar.

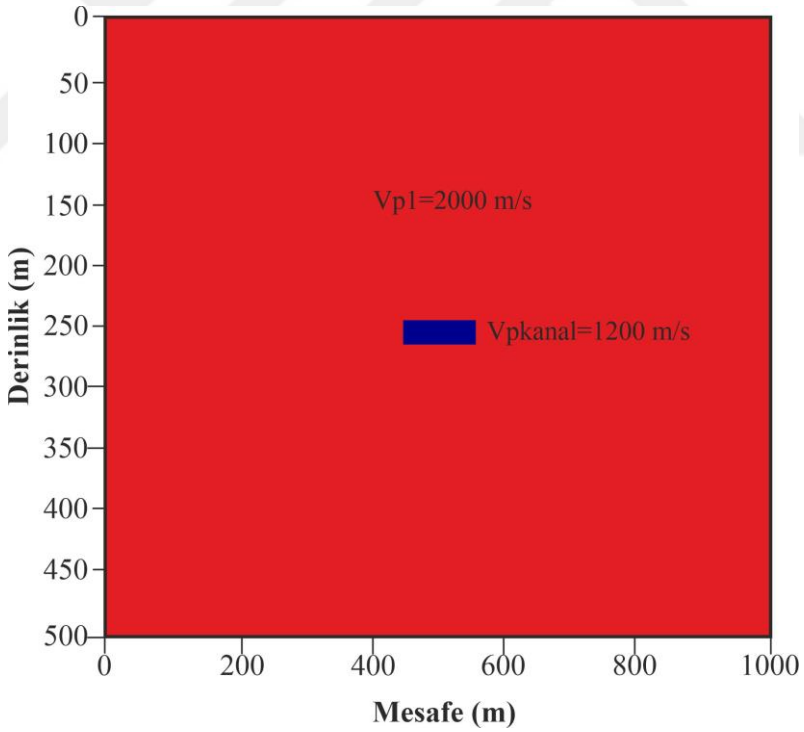
$$R = \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t_0}{f}} \tag{13}$$

Burada, R; Fresnel Zonu yarıçapını (|AOA'|/2) ifade etmektedir.

Kaynak dalgacığı frekansının önemini incelemek için Şekil 12'de gösterilen basit bir kanal kapan modeli tasarlanmıştır. Modele ilişkin kullanılan parametreler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kanal Kapan yapay atış kayıtlarını hesaplamak için kullanılan parametreler

Kanal Kapan Yer Modeli	
Hat uzunluğu (m)	1000
Maks. derinlik (m)	500
Jeofonlar arası uzaklık (m)	10
Atışlar arası uzaklık (m)	80
Atış sayısı	25
Alıcı sayısı	101
Maks. hız (m/s)	4000
Min. hız (m/s)	2000
Maks. uzaklık (m)	2000
Min. uzaklık (m)	100
Hesaplama zaman adımı (ms)	0.2
Örnekleme zamanı (ms)	2
Kayıt süresi (ms)	1000
Min. Fazlı Ricker kaynak dalgacığı (Hz)	15, 30, 60

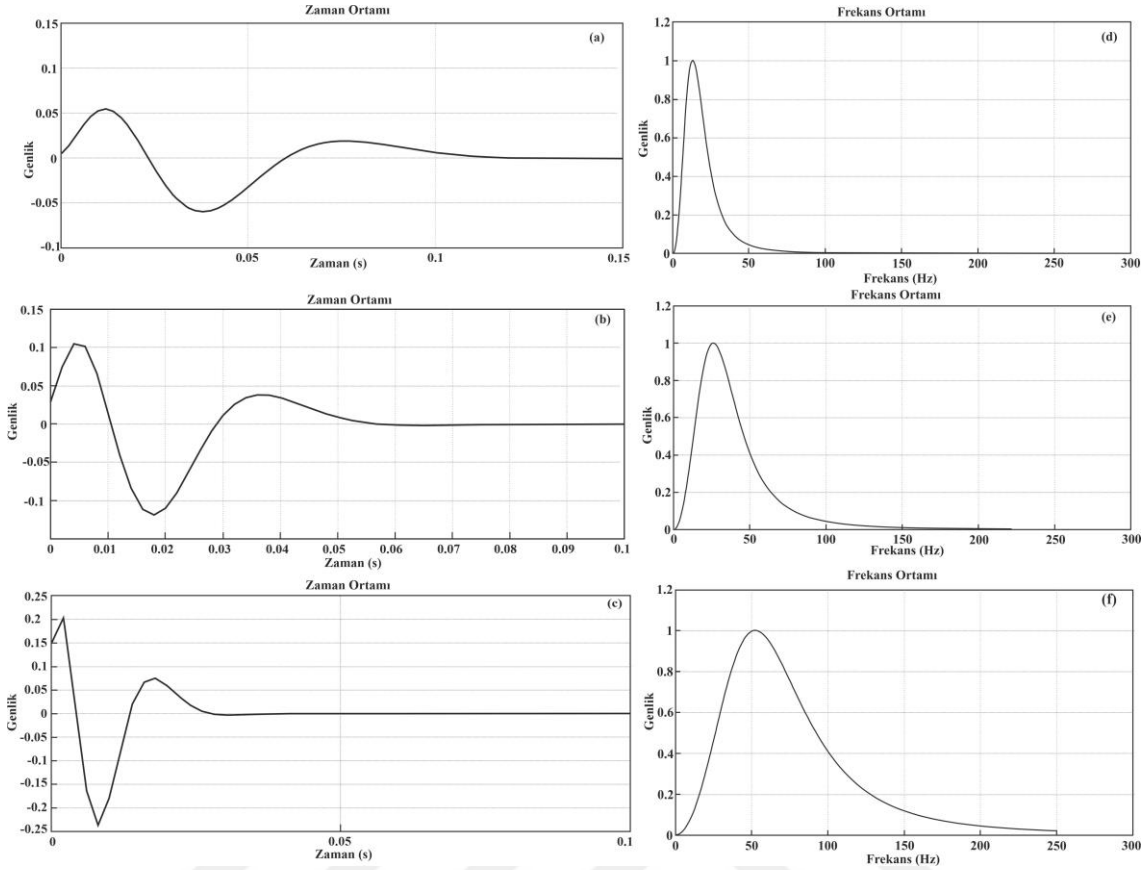


Şekil 12. Homojen bir ortamdaki kanal tipi kapan modeli. Ölçüler: 100 m x 100 m ve ortalama hızı 1200 m/s

Şekil 12'deki yer modelinde, 250 m derinlikte 10 m kalınlığında ve 100 m genişliğinde hızı 1200 m/s olan doğal gaz içeren ince gözenekli ve geçirgen kumtaşı olan bir kanal kapan yapısı yerleştirilmiştir. Kanalı çevreleyen ortamın hızı ise 2000 m/s olan gözeneksiz ve geçirgen olmayan şeyl olacak şekilde tasarlanmıştır.

Bu kanal kapan modeli kullanılarak, elde edilecek atış kayıtlarının kalitesini belirlemek amacıyla aynı süreli farklı frekans değerlerine (f=15 Hz, f=30 Hz ve f=60 Hz) sahip minimum ve sıfır fazlı Ricker kaynak dalgacığı, değişken uzaysal grid boyutlarında (dx=5 m ve dx=10 m) ve farklı atış aralıklarında (25 atış= 80 m ve 46 atış= 40 m) bir dizi atış kayıtları oluşturulmuştur.

İlk olarak kanal kapan modeli, uzaysal grid aralığı 10 m olan aynı süreli üç farklı kaynak frekansına (15, 30 ve 60 Hz) sahip minimum fazlı Ricker dalgacığı kullanılarak modellenmiştir. Burada temel alınan frekans değeri, dalgacığın maksimum genlik değerine karşılık gelen frekanstır ve pik, tepe veya hâkim frekans olarak isimlendirilir. Şekil 13, kullanılan kaynak dalgacıklarının zaman ve frekans ortamındaki görünümlerini göstermektedir.



Şekil 13. Tepe frekanslarına göre minimum fazlı dalgacıkların zaman ve frekans ortamındaki görünümleri. (a, d) 15 Hz, (b, e) 30 Hz ve (c, f) 60 Hz kaynak dalgacıklarını göstermektedir. Örnekleme zaman aralığı 2 ms kullanılmıştır

Şekil 12'deki kanal yapısının düşey ve yanal ayrımlılık analizi kullanılan her üç kaynak dalgacığının frekansına göre yapılmıştır. Rayleigh düşey ayrımlılık kriterine ($h \geq \lambda / 4$) göre, sınır değerler; f=15 Hz için 20 m, f=30 Hz için 10 m ve f=60 Hz için 5 m'dir. Dolayısıyla, h=10 m kalınlığı olan kanal modelinin alt ve üst sınırlarından yansımalar, f=15 Hz tepe frekanslı bir dalgacık kullanılması durumunda sismik verilerde ayrımlı olarak görülemez, (h<20 m olduğundan). Buna karşılık f=30 Hz için maksimum girişim (tuning kalınlığı: maksimum yapıcı veya bozucu girişimin gerçekleştiği kalınlık) gerçekleşir (h=10 m) ve f=60 Hz için kanal kapanının alt ve üst sınırlarından yansımalar sismik verilerde ayrımlı olaylar olarak kaydedilirler (h>5 m).

Fresnel bölgesinin genişliği yanal ayrımlılığın bir ölçüsüdür. Buna göre, denklem (13) ile yapılan ayrımlılık analizleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere, kapan yapısının genişliği (L=50 m) 1. Fresnel bölgesinin yarıçapından (R) küçük olduğundan yanal ayrımlılık kriteri sağlanmamış olur.

Dalgacık frekansları, f=15, 30 ve 60 Hz olan sismik veriler üzerinde kapan yapısının göç uygulamasından önce yanal ayrımlılık analizleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. f=15, 30 ve 60 Hz için yanal ayrımlılık eşik değerleri (1. Fresnel bölgesi)

f (Hz)	Z(m)	λ (m)	R(m)= $\sqrt{Z*\lambda}$	L=50 m	Yanal Ayrımlılık
15	250	133.33	182.6	L<R	Yok
30	250	66.67	129.1	L<R	Yok
60	250	33.33	91.3	L<R	Yok

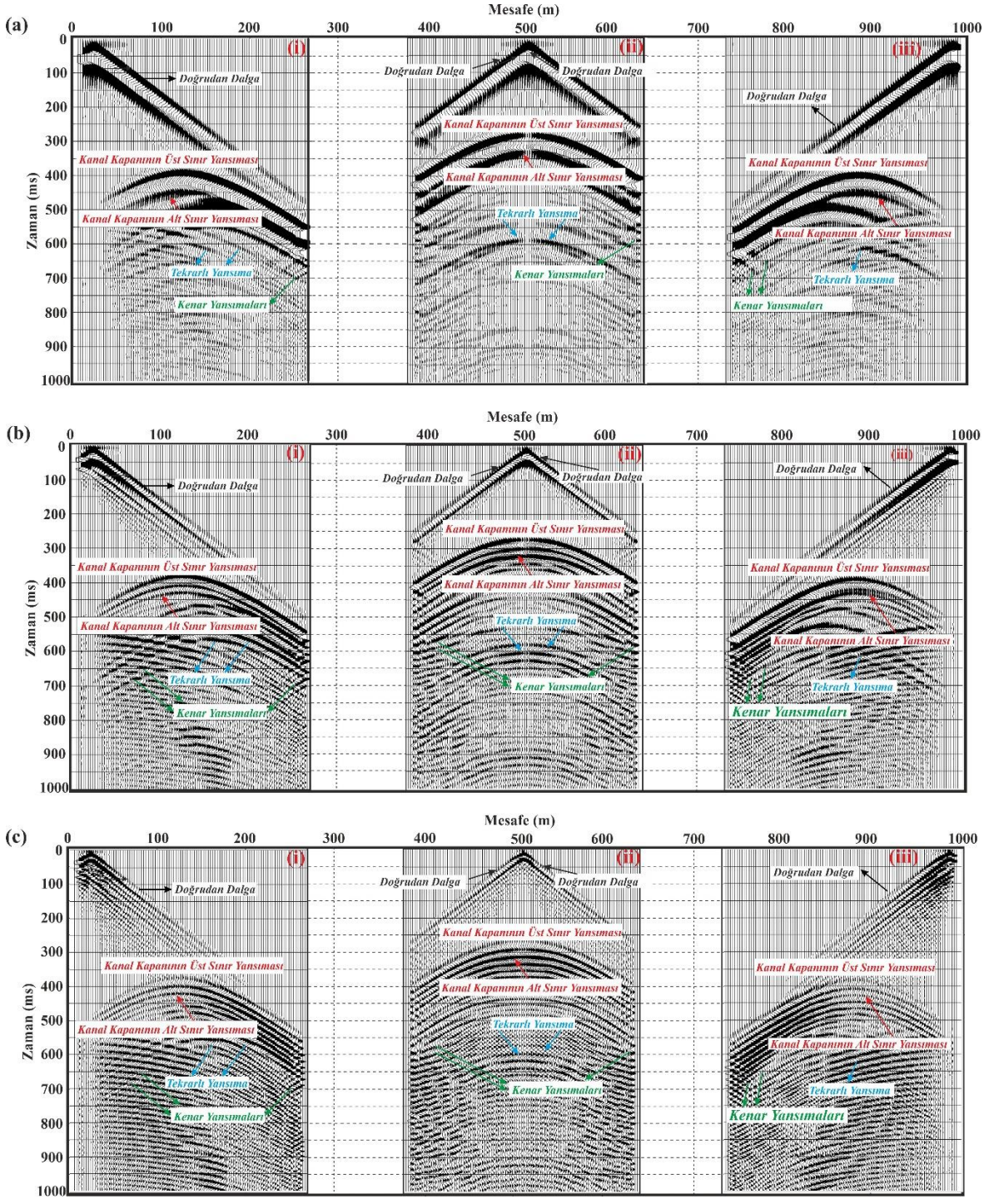
Yanal ayrımlılık için çözüm, sismik göç uygulamasıdır ve sismik göç Fresnel yarıçapını R=λ/4 yapar. Dolayısıyla yığma verilerine sismik göç uygulandığında, sırasıyla Fresnel zonu yarıçapları R=33.33 m, R=16.6 m ve R=8.3 m olduğundan, her üç frekanslı veri için, L>R olmaktadır. Dolayısıyla, Fresnel yarıçapı daraldığından dolayı yanal ayrımlılık sağlanacaktır.

Böylece, ayrımlılık kriterlerine göre analizleri yapılan üç farklı kaynak dalgacığı (15, 30 ve 60 Hz) frekansı için SFY ile 25 yapay atış (atış aralığı 80 m) yapılmış olup, atış başına 101 sismik iz elde edilmiştir. Hesaplanan yapay atış verilerinden sıfır açılım sismik kesitleri elde etmeyi ve yansıtıcı ara yüzeylerden birincil yansımaları güçlendirmeyi hedefleyen yığma sonrası ve öncesi Kirchhoff zaman göç uygulamasını içeren veri-işlem iş akışları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kanal test model verisinin işlenmesi için oluşturulan veri işlem akışları

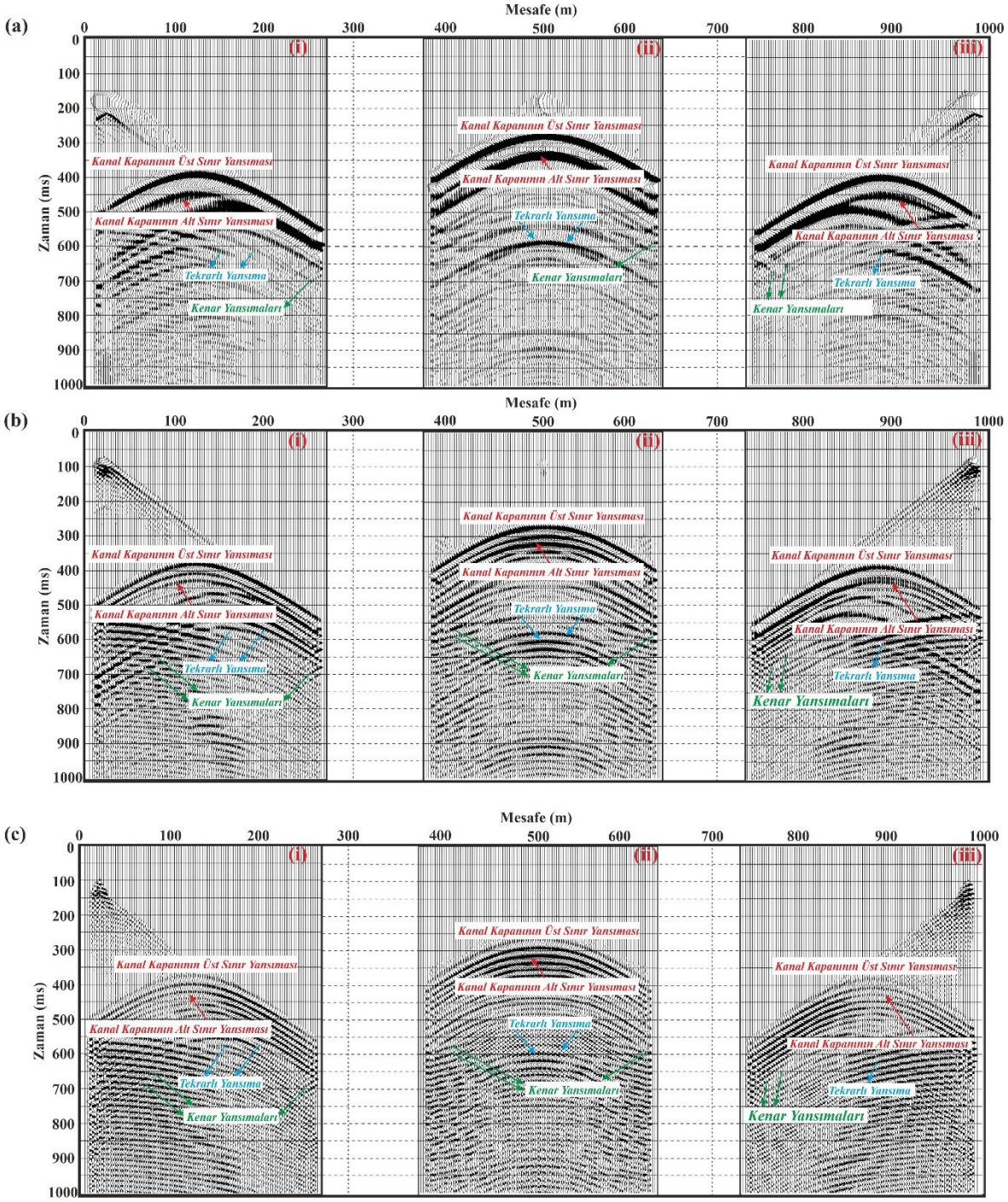
Yığma Sonrası Kirchhoff Zaman Göç İşlem Akışı	Yığma Öncesi Kirchhoff Zaman Göç İşlem Akışı
Veri Yükleme	Veri Yükleme
Geometri Tanımlama	Geometri Tanımlama
Üstten Kesme	Üstten Kesme
Bant Geçişli Süzgeç	Bant Geçişli Süzgeç
Doğrusal Olayların Süzgeçlenmesi	Doğrusal Olayların Süzgeçlenmesi
Ortak Orta Nokta Sıralama	Ortak Orta Nokta Sıralama
Hız Analizi	Hız Analizi I
Normal Kayma Zamanı Düzeltmesi	Yığma
Yığma	Hız Analizi II
Yığma Sonrası Kirchhoff Zaman Göçü	Yığma Öncesi Kirchhoff 2B Zaman Göçü
Zaman-Derinlik Dönüşümü	Yığma

MatLab ortamında hesaplanan model atış verileri ProMax yazılımına yüklenmiş ve geometrik bilgiler tanımlanmıştır. Şekil 14, üç farklı frekanslı kaynak dalgacığı için hesaplanan model verilerden örnekleri göstermektedir. f=15 Hz, f=30 Hz ve f=60 Hz kaynak dalgacığı kullanılarak elde edilen atış verileri karşılaştırıldığında frekans değeri arttıkça uyumlu gürültülerin yani kenar saçılmalarının (doğrusal istenmeyen olaylar) ve tekrarlı yansımaların arttığı görülmektedir.



Şekil 14. SFY ile elde edilen atış verileri. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f=60 Hz kaynak dalgacığı için elde edilen, (i) 1. (kaynak 60 m'de), (ii) 13. (kaynak 500 m'de) ve (iii) 25. (kaynak 960 m'de) atış kayıtları. Verilerin içermiş olduğu temel olaylar kesit üzerinde belirtilmiştir

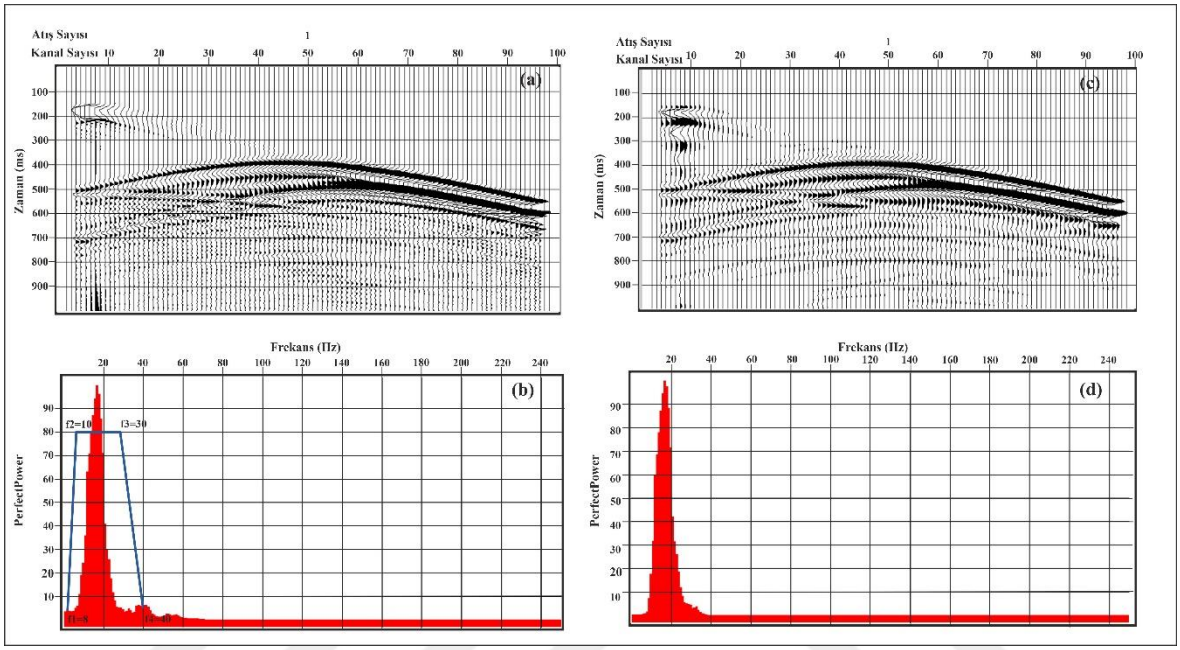
Atış verilerinin ilk varışları (doğrudan ve kırılarak gelen dalgalar) üstten silme (top mute) işlemi ile veriden atılmıştır (Şekil 15).



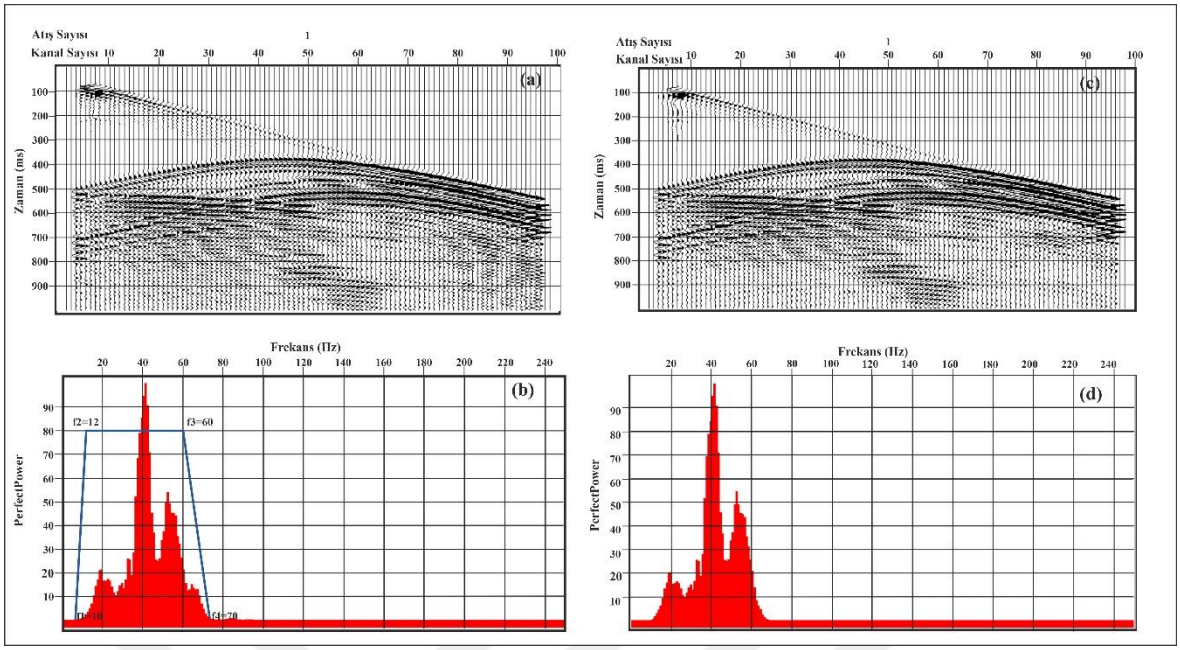
Şekil 15. SFY ile elde edilen atış verileri. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f=60 Hz kaynak dalgacığı için elde edilen (i) 1. (kaynak 60 m'de), (ii) 13. (kaynak 500 m'de) ve (iii) 25. (kaynak 960 m'de) atış kayıtlarındaki ilk varış olayların üstten silme ile silinmiş durumları. Verilerin içermiş olduğu temel olaylar kesit üzerinde belirtilmiştir

Şekil 15'ten açıkça görüldüğü üzere kanal verisinin modellemesinden kaynaklı oluşan düşük ve yüksek frekanslı işlem gürültüleri (artifacts) yansıma olaylarını

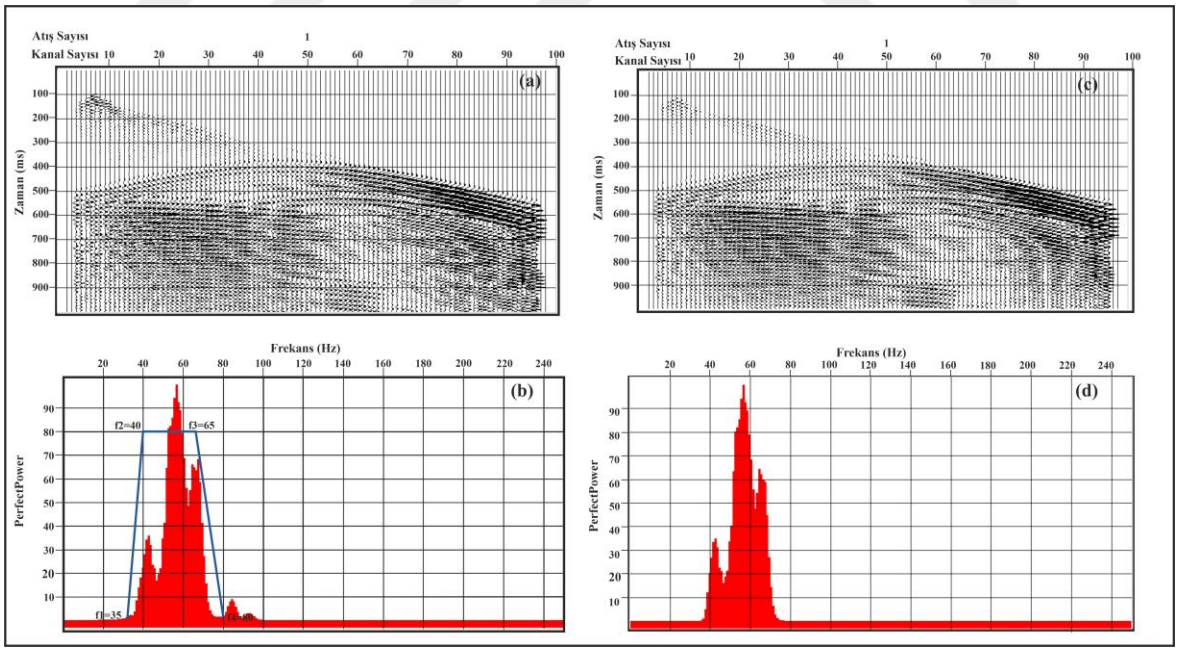
maskelemiştir. Bu tip gürültülerin süzgeçlenmesi için, verilere ortalama Fourier spektrumlarından yararlanarak kesme frekansları, f=15 Hz için [8 10 30 40] Hz (Şekil 16), f=30 Hz için [10 12 60 70] Hz (Şekil 17) ve f=60 Hz için [35 40 65 80] Hz (Şekil 18) bant geçişli süzgeçler uygulanmıştır.



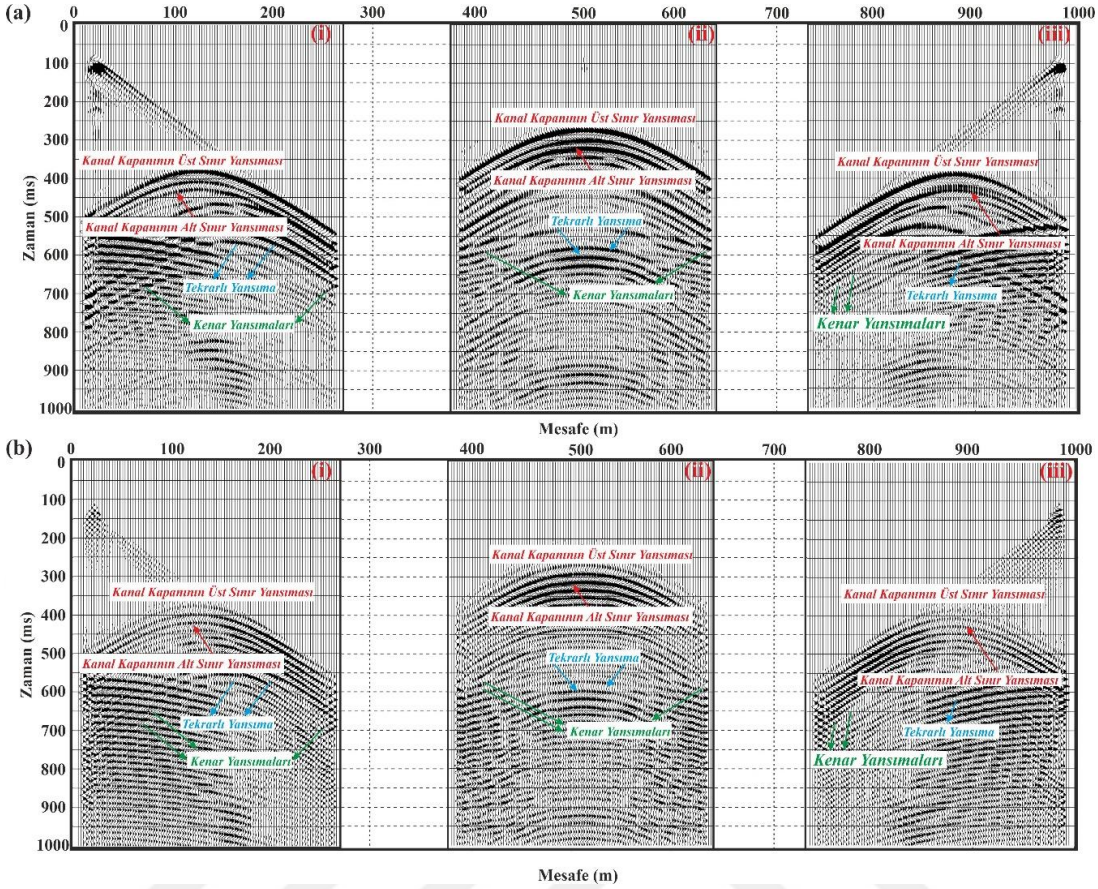
Şekil 16. f= 15 Hz için kanal kapan modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu



Şekil 17. f=30 Hz için kanal kapan modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu



Şekil 18. f=60 Hz için kanal kapan modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu

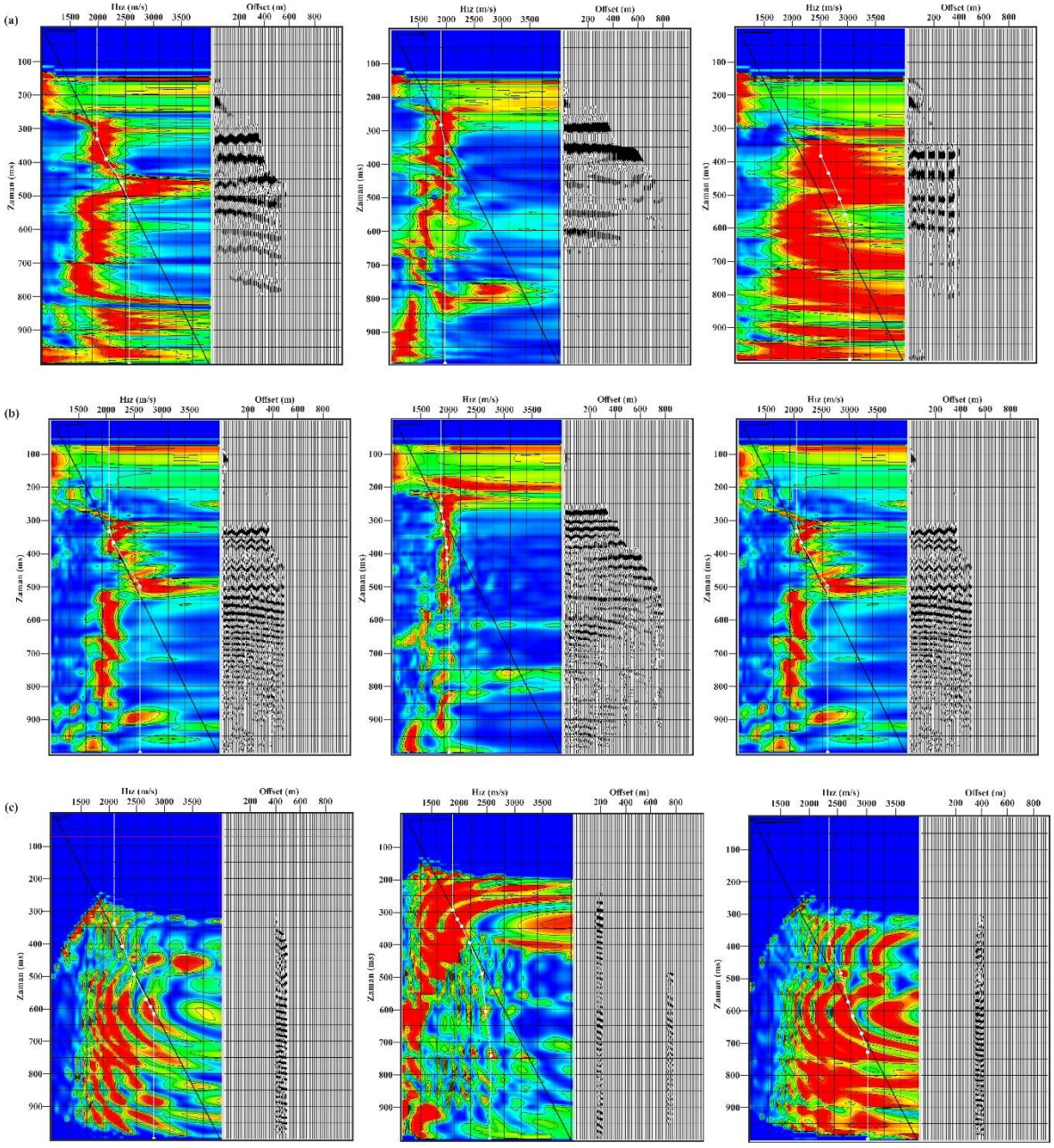


Şekil 19. SFY ile elde edilen atış verileri. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f=60 Hz kaynak dalgacığı için elde edilen (i) 1. (kaynak 60 m'de), (ii) 13. (kaynak 500 m'de) ve (iii) 25. (kaynak 960 m'de) atış kayıtlarındaki uyum süzgeci uygulanmış durumları. Verilerin içermiş olduğu temel olaylar kesit üzerinde belirtilmiştir

f= 30 Hz ve f= 60 Hz kaynak dalgacıkları kullanılarak elde edilen atış verilerinde model sınırlarından kaynaklanan yarı doğrusal olaylar görülmekte olup bunlar kenar etkisi gürültüleridir (Şekil 14b ve Şekil 14c). Modellemede, Clayton ve Engquist (1997) tarafından geliştirilen soğurucu sınır koşulları kullanılmasına rağmen nispeten etkili olmuştur. Çünkü atış verilerinde doğrusal istenmeyen olaylar (kenar saçılmaları) gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, bu doğrusal olayların süzgeçlenmesi için uyum süzgeci (coherence filter) kullanılmış olup atış verilerindeki doğrusal istenmeyen olaylar (kenar yansımaları) süzgeçlenmiştir (Şekil 19). Uyum süzgeci işleminde, sismik veriler zaman-uzaklık (t-x) ortamından Fourier dönüşümü kullanılarak frekans-dalgasayısı (f-k) ortamına dönüştürülür. Doğrusal istenmeyen olaylar eğim yönlerine göre ayrımlanır. Böylece doğrusal istenmeyen olayların frekans ve hız bilgileri kullanılarak süzgeçleme işlemi gerçekleştirilir. Burada, süzülecek doğrusal olayların hız ve frekans bilgileri sırasıyla 2000

m/s ve 20-60 Hz olarak belirlenmiştir. f=15 Hz kaynak dalgacığı kullanılarak elde edilen verilere ise, kenar saçılmaları çok az olduğu için uyum süzgeci uygulanmamıştır.

Ön işlemlerden geçirilen atış verileri ortak orta nokta (OON) iz gruplarına dönüştürülmüş ve sonra OON gruplarına hız analizi uygulanmıştır (Şekil 20).



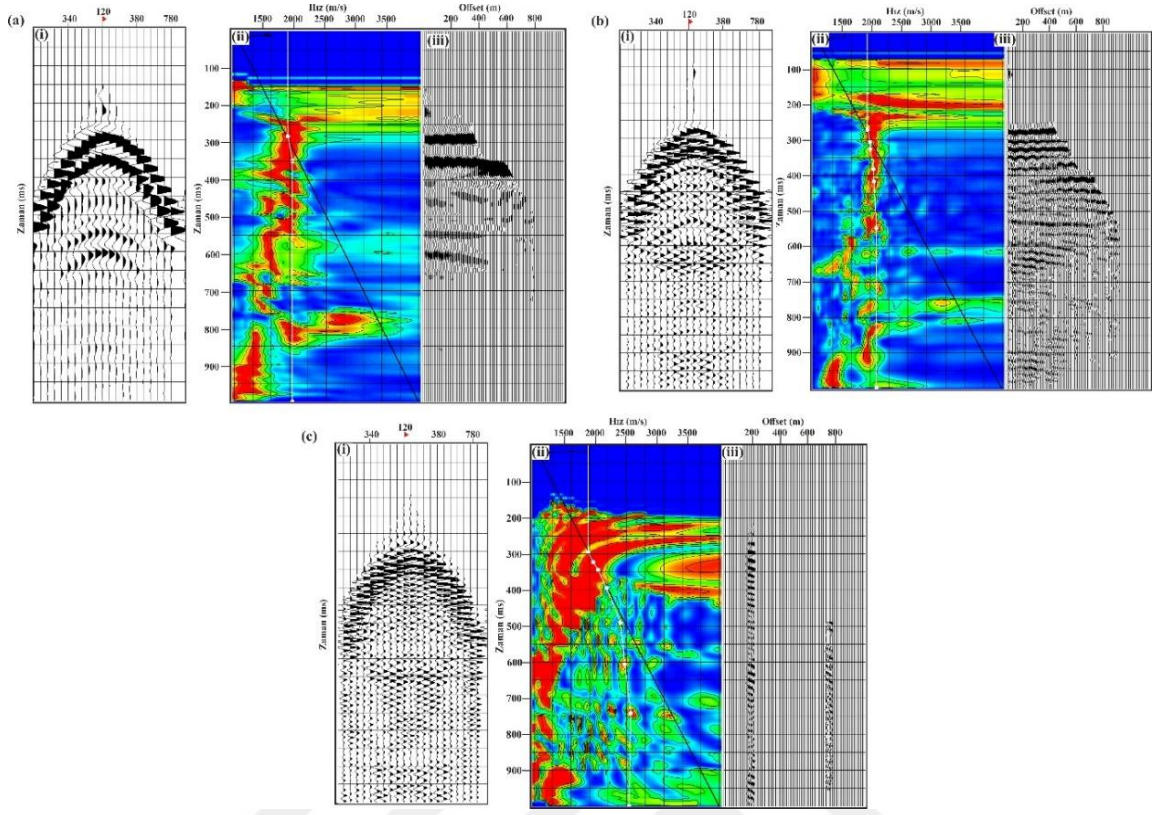
Şekil 20. a) f=15 Hz, b) f=30 Hz ve c) f=60 Hz için hesaplanan verilerin sırasıyla 60., 120. ve 150. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Hız spektrumları görüntüsü (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubunun görünümü (sağda)

Kaynak dalgacığının farklı frekans (15, 30 ve 60 Hz) değerleri, hız spektrumlarıyla hız kestiriminin doğruluğunu ve ayrımlılığını etkilemiştir.

30 Hz kaynak dalgacığı kullanılarak elde edilen atış verilerinin hız spektrumları ile hız işaretleme (Şekil 20b), 15 ve 60 Hz kaynak dalgacığı kullanılarak elde edilen atış verilerinin hız spektrumu (semblans) çizimlerindeki hız işaretlemesine göre çok daha kolaydır Şekil (20a ve Şekil 20c). 30 Hz'li OON grubunun hız spektrumunda hız kontur kapanımların oldukça dar olduğu, 15 ve 60 Hz olanlarda ise geniş olduğu görülmektedir. Hız spektrumundaki kapanımların geniş olması, bu kısımdaki geniş bir hız aralığında seçilebilecek birçok hız değerinin yansıma hiperbolüne uyduğunu gösterir ki, bu da yapılan hız analizinin ayrımlılığının düşük olduğu göstermektedir.

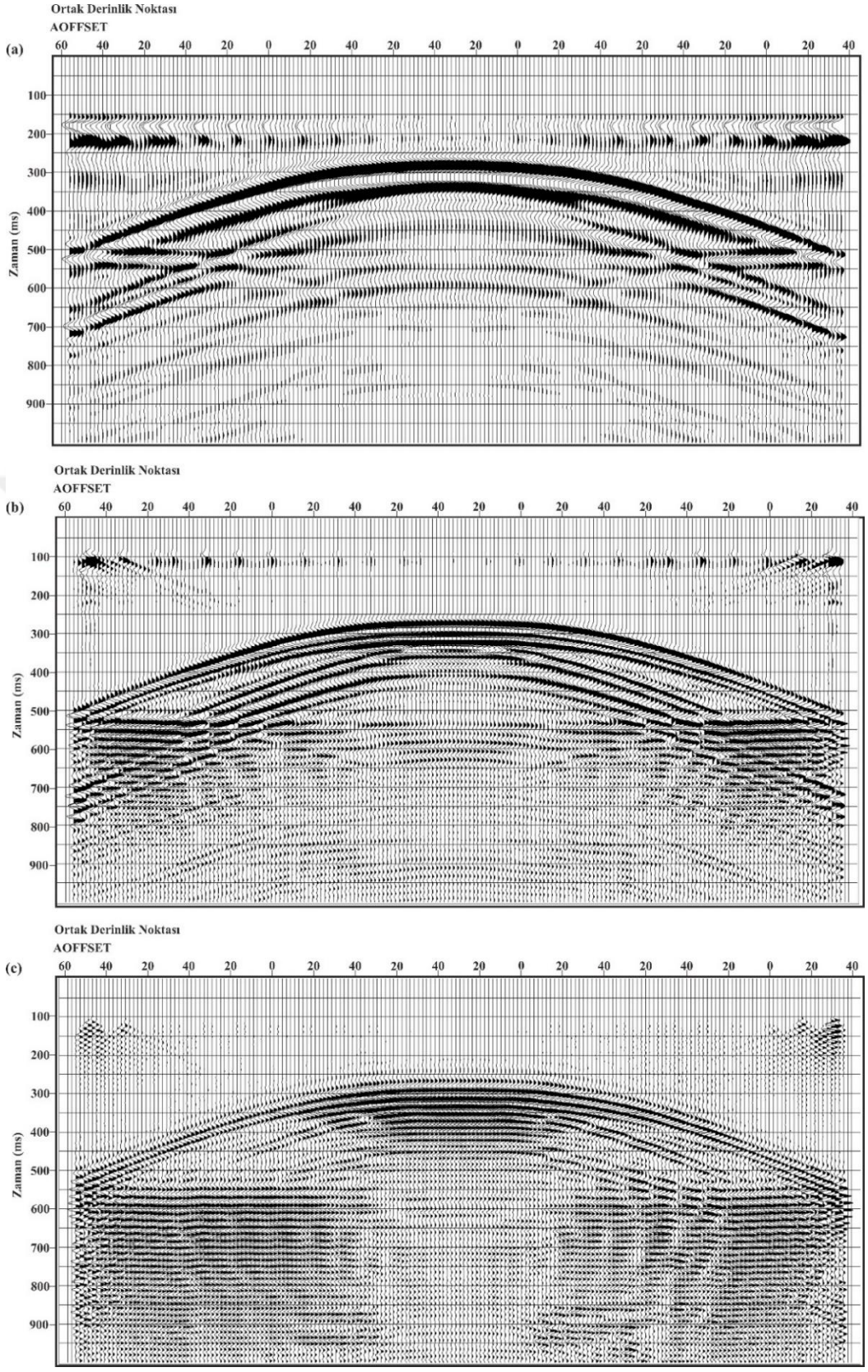
60 Hz'li OON gruplarındaki hız analizi sonuçlarında ise hız spektrumunun etkinliğinin azaldığı görülmektedir (Şekil 20c). Çünkü verinin içermiş olduğu gürültüden (saçılma ve kenar yansımaları) dolayı hız konturları kapanım sağlayamamıştır. Dolayısıyla, hız kestiriminin ayrımlılığı azalmış ve düşük kaliteli hız spektrumları elde edilmiştir.

Hız analizlerinden sonra seçilen Kök Ortalama Kare (KOK) hızları OON gruplarına uygulanıp NKZ düzeltilmiş OON grupları elde edilmiştir. Bu adımda, her bir OON'nin hız fonksiyonu birleştirilerek sonraki aşamada uygulanacak olan göç işlemi için hız alanı da elde edilmiştir. NKZ'den kaynaklı olan gerilme alanlarını veriden uzaklaştırmak için %30 oranında NKZ üstten kesme işlemi uygulanmıştır. f=15, 30 ve 60 Hz kaynak dalgacığı kullanılarak elde edilen 120. OON iz grupları Şekil 21’de gösterilmiştir. NKZ'den kaynaklı gerilmiş alanlar yığma öncesinde silinmiştir (Şekil 21a(iii), Şekil 21b(iii) ve Şekil 21c(iii)).

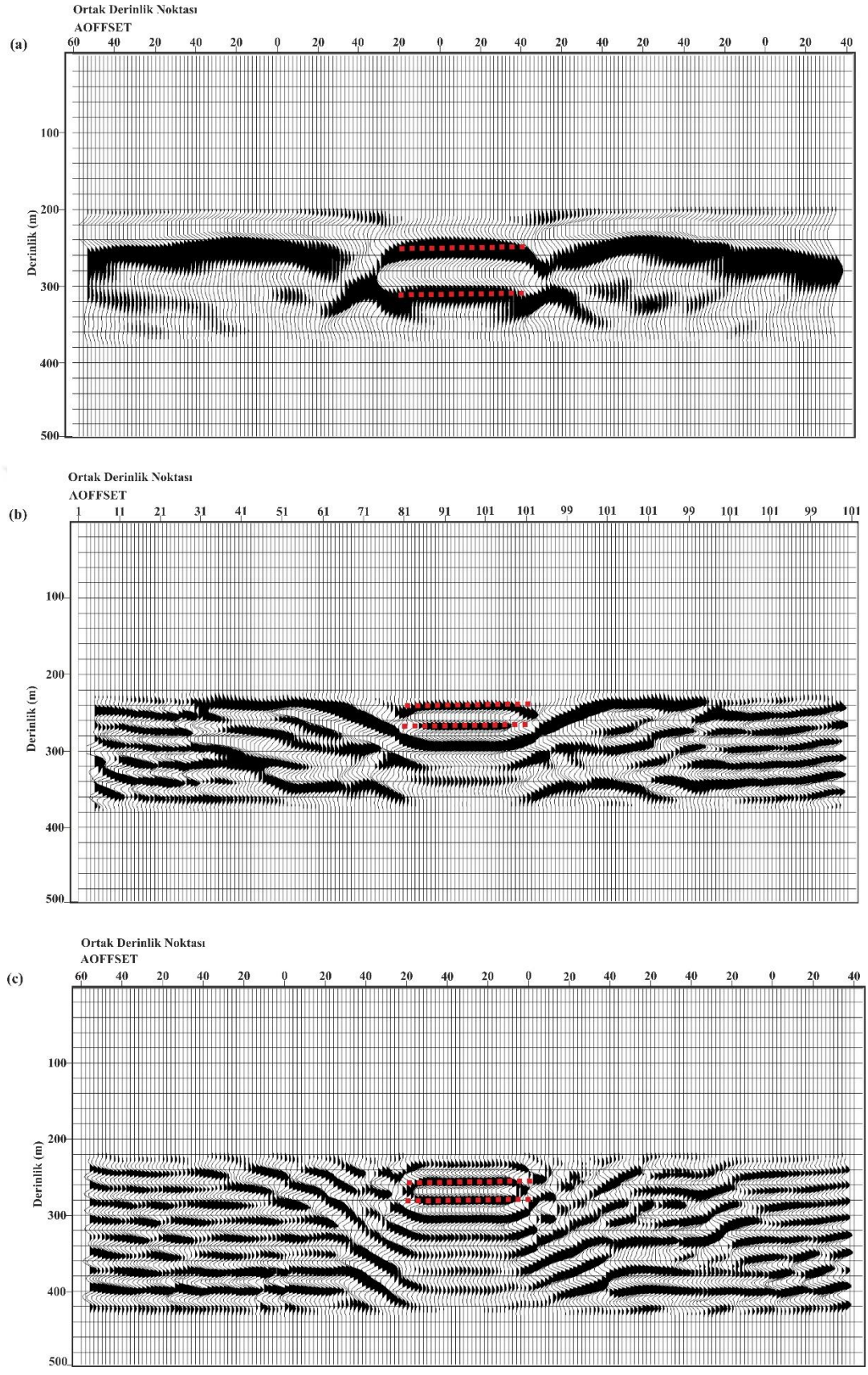


Şekil 21. a) f=15 Hz, b) f=30 Hz ve c) f=60 Hz için hesaplanan verilerinin sırasıyla (i) 120. OON izleri, (ii) hız spektrumu ve (iii) NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu

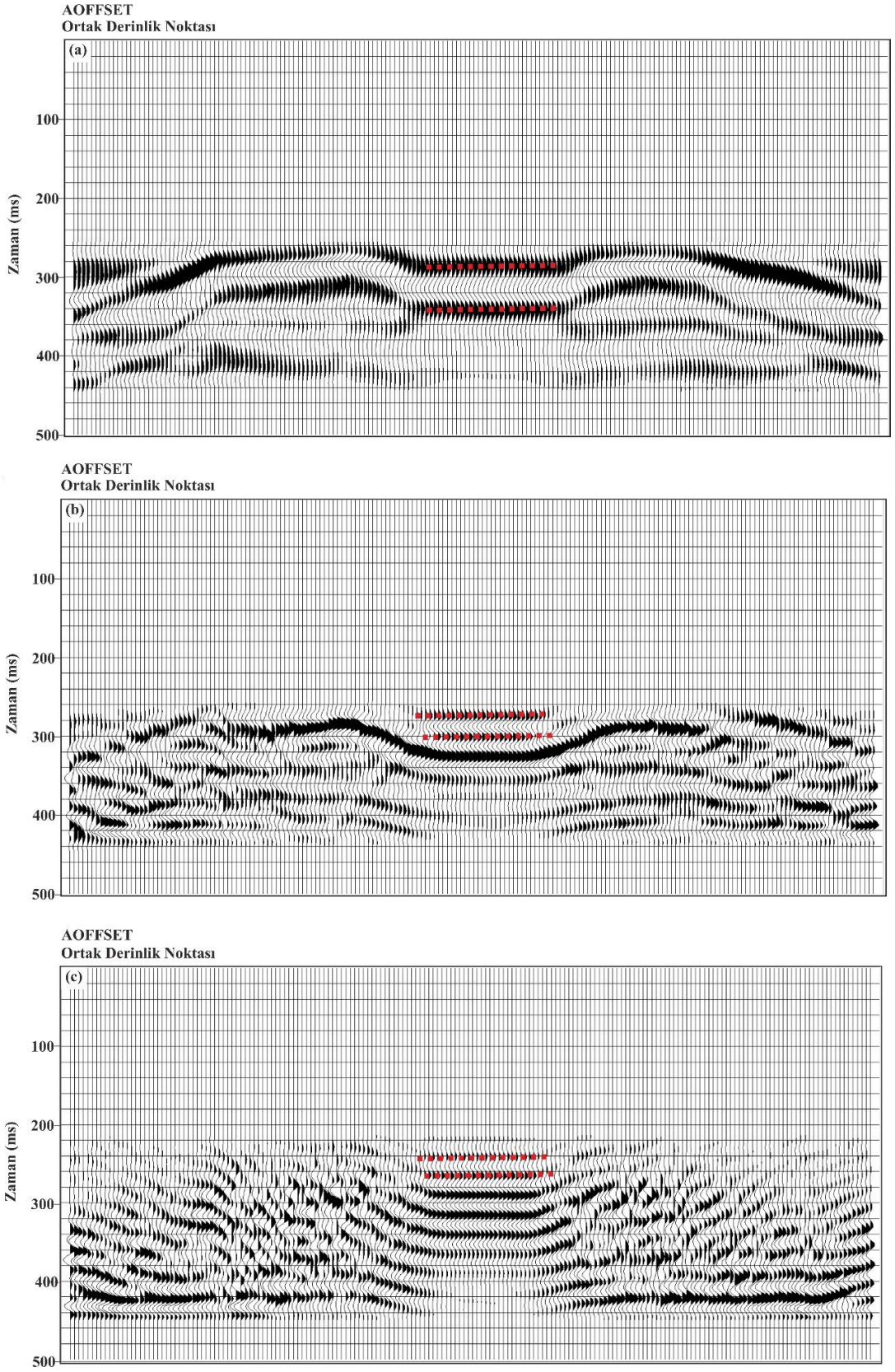
Yığma kesitleri elde edilmiştir (Şekil 22). Elde edilen yığma kesitlerine Kirchhoff zaman migrasyonu uygulanmıştır. Migrasyon kesitlerindeki ana yansıma seviyelerini kıyaslamak için kesitin zaman ekseni KOK hızları kullanılarak derinliğe dönüştürülmüştür (Şekil 23). Ardından, f=15, 30 ve 60 Hz kaynak dalgacıkları kullanılarak elde edilen atış verilerine yığma öncesi zaman göç yöntemi uygulanmıştır (Şekil 24).



Şekil 22. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f= 60 Hz'li atış grupları için elde edilen yığma kesitleri



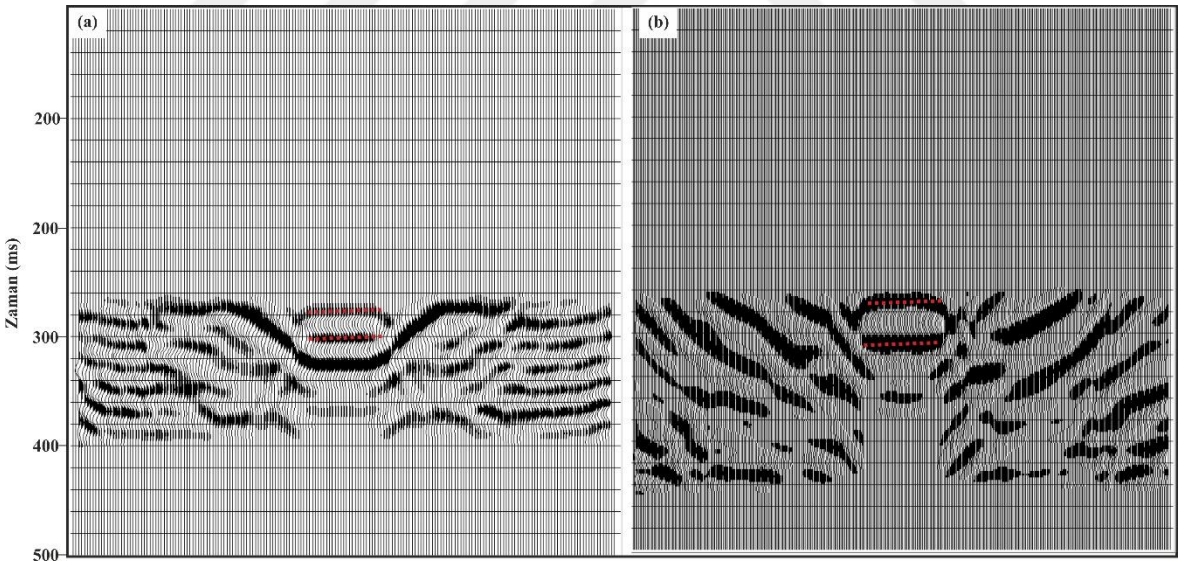
Şekil 23. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f= 60 Hz'li atış grupları için derinlik dönüştürülmüş Kirchhoff göç kesitleri



Şekil 24. (a) f=15 Hz, (b) f=30 Hz ve (c) f= 60 Hz'li atış grupları için yığma öncesi Kirchhoff zaman göç kesitleri

Sonuç olarak, minimum fazlı Ricker dalgacık frekans değeri 15 Hz kullanılarak elde edilen verilerin derinliğe dönüştürülmüş Kirchhoff göç kesitinin (Şekil 23a) ayrımlılığının, f=30 Hz olan verilerin göç kesitinin (Şekil 23b) ayrımlılığından daha az olduğu görülmektedir. f=60 Hz olan göç kesitinde (Şekil 23c) ise, kenar yansımaların ve saçılmaların (işlem gürültüleri-artifacts) olumsuz etkilerinin fazla olduğu açıkça gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, kaynak dalgacıklarının artan frekans içeriği ile düşey ve yanal ayrımlıklarının arttığı, aynı zamanda kenar yansımaları, grid dispersiyonu ve işlem gürültülerinin de artığı belirlenmiştir. Görüntü kalitesinin de zayıfladığı görülmektedir. Bu nedenle, modellemede kaynak dalgacığı frekans değeri için en uygun değer f=30 Hz olarak belirlenmiştir.

İkinci parametre testi olarak, kanal kapan modeli uzaysal grid boyutu dx=5 m olan aynı süreli ve aynı frekans değerine sahip f=30 Hz minimum fazlı Ricker dalgacığı kullanılarak 25 adet atış kaydı analiz etmiştir. Grid aralığı 10 m ve 5 m kullanılarak elde edilen atış verileri işlenerek elde edilen atış verilerinin yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 25a ve Şekil 25b).

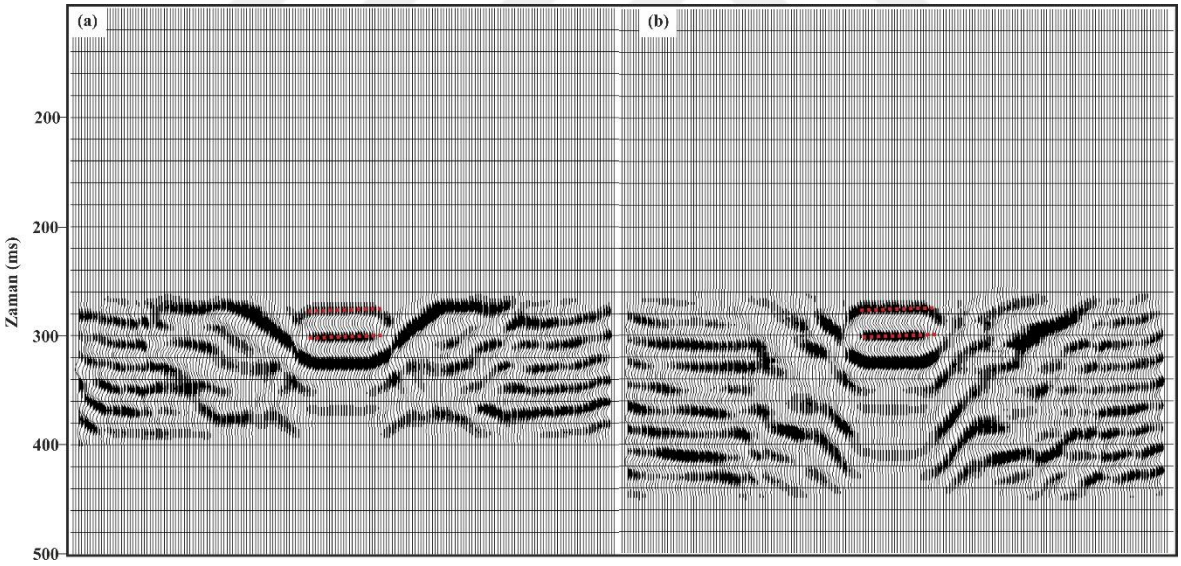


Şekil 25. (a) 10 m ve (b) 5 m grid aralıkları kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri

Şekil 24a ve Şekil 24b karşılaştırıldığında, 5 m grid boyutu kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitinde grid dispersiyonundan kaynaklanan yüksek frekanslı sinyaller oluşmuştur. Grid dispersiyonundan kaynaklanan yüksek frekanslı sinyaller kesme frekans değerleri [10 20 70 80] Hz olan bant geçişli süzgeç uygulanarak

kısmen süzgeçlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek frekanslı grid dispersiyonunun süzgeçlenmesi, yüksek frekans sinyalinin filtrelenmesine neden olacaktır. Dolayısıyla, küçük yapıları belirleme yeteneğini sınırladığı için istenmeyen bir durumdur (Cho vd., 2007). Bununla birlikte, 10 m grid aralığı ile elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir (Şekil 25a). Dolayısıyla, modelleme çalışmalarında 10 m grid aralığı uygun parametre değeri olarak belirlenmiştir.

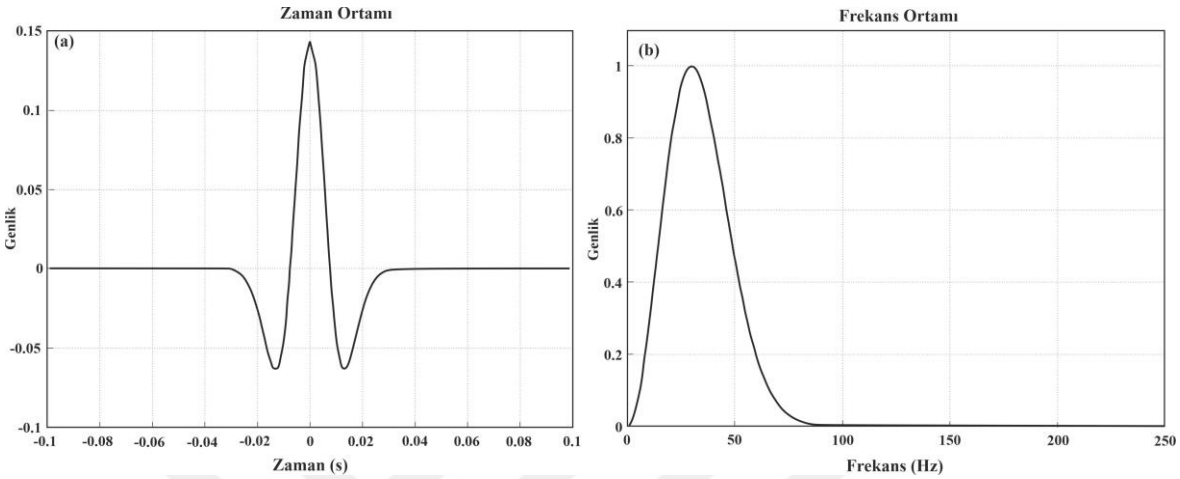
Üçüncü parametre testi olarak, kanal kapan modeli uzaysal grid boyutu dx=10 m olan aynı süreli ve aynı frekans değerine sahip f=30 Hz minimum fazlı Ricker dalgacığı kullanılarak 25 ve 46 adet atış kayıtları incelenmiştir. Atış aralığı 80 m olan 25 adet atış veri seti ile atış aralığı 40 m olan 46 adet atış veri setinin veri işlemi sonucunda elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 26a ve Şekil 26b). İki göç kesiti karşılaştırıldığında çok az bir farklılık gözlemlenmiştir. Fakat eğimli jeolojik yapılarda örneğin, normal fay kapanı modelinde atış sayısı arttıkça yani, atış aralığı azaldıkça saçılmaların ve istenmeyen olayların (artifacts) arttığı belirlenmiştir.



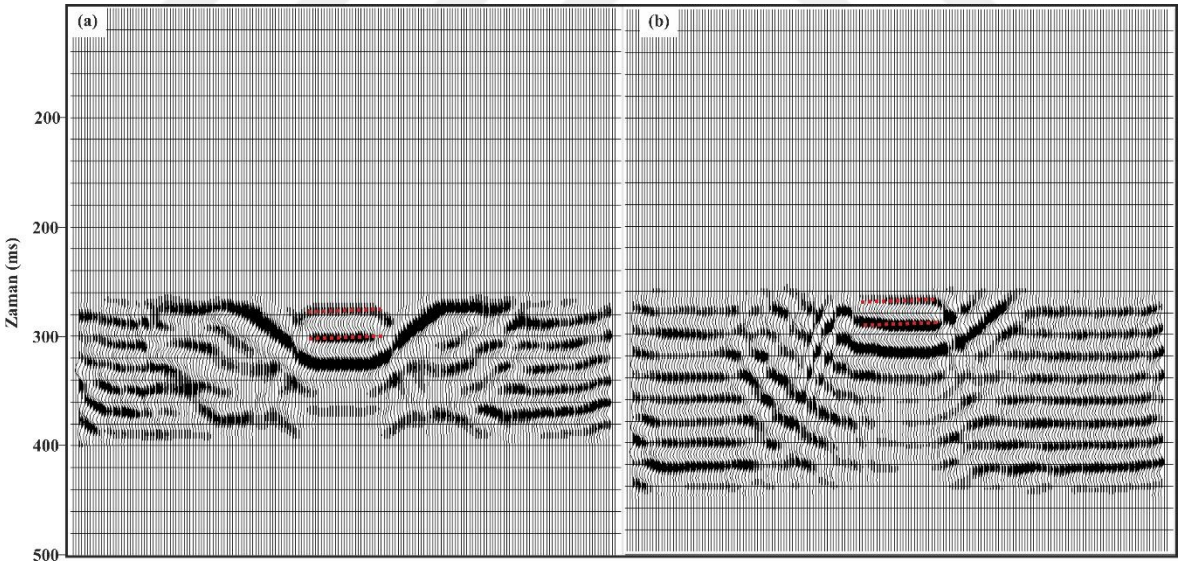
Şekil 26. (a) 80 m ve (b) 40 m atış aralıkları kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri

Dördüncü parametre testi olarak, kaynak frekansı f= 30 Hz sıfır fazlı Ricker dalgacığı kullanılmıştır. Zaman ve frekans ortamındaki görünümü Şekil 27a ve Şekil 27b'de verilmiştir. Uzaysal grid boyutu dx=10 m olan aynı süreli ve aynı frekans değerine sahip f=30 Hz minimum fazlı Ricker dalgacığı ile sıfır fazlı Ricker dalgacığının yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri incelenmiştir (Şekil 28a ve Şekil 28b). Göç kesitleri

karşılaştırıldığında sıfır fazlı Ricker dalgacığı kullanılarak elde edilen göç kesitinde sıfır fazlı dalgacıktaki ana yan salınımlardan kaynaklı olarak salınımlı (ringy) görünümün ve işlem gürültülerin (artifacts) daha fazla olduğu gözlenmiştir.



Şekil 27. 30 Hz Tepe frekansına göre sıfır fazlı dalgacığın (a) zaman ve (b) frekans ortamındaki görünümleri. Örnekleme zaman aralığı 2 ms kullanılmıştır



Şekil 28. (a) f=30 Hz minimum fazlı Ricker dalgacığı ve (b) f= 30 Hz sıfır fazlı Ricker dalgacığı kullanılarak elde edilen yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesitleri

Atış kayıtlarının kalitesini belirlemek amacıyla yapılan kanal kapan modeli test uygulamaları sonucunda atış verisi elde etmede kullanılacak en uygun kayıt parametre değerleri, kaynak dalgacık frekans değeri için, f=30 Hz olan minimum fazlı Ricker kaynak

dalgacığı, uzaysal grid boyutu için, dx=10 m ve modeldeki tabaka eğimine bağlı olarak atış aralıkları ise 25 atış (atış aralığı 80 m) ve 46 atış (atış aralığı 40 m) olarak belirlenmiştir.

2.6. Kapan Modellemesi: Yapay Sismik Atış Kesitlerinin Hesaplanması ve Veri İşlemi

Dünya'da ve ülkemizde hidrokarbon aramacılığı açısından önemli yere sahip olan kanal, antiklinal, normal fay kapanı, granit wash ve biyoherm kapanlarının sismik yansıma tepkilerinin incelenmesi için, yer modelleri üzerinde yapay atış verilerinin hesaplanması ve veri işlem uygulamaları önem taşımaktadır. Basit ve karmaşık kapan modellerine ait geometrik ve fiziksel özellikler (hız ve yoğunluk bilgileri) literatürden yararlanarak (Kearey ve Brooks, 1984; Mavko vd., 1998) belirlenmiştir.

Hidrokarbon içerme olasılığı yüksek olan kanal kapanlarına nehir havzaları ve derin deniz ortamları gibi farklı ortamlarda rastlanabilmektedir. Örneğin, Dünya'da İran'ın güneybatısındaki petrol sahalarında kanal yapıları belirlenmiştir (Mohebian vd., 2018). Ülkemizde ise, Batı Karadeniz'de yer alan moloz akmasının altında kanal yapısına rastlanmıştır (Sefünç, 2017).

Hidrokarbon potansiyeli yüksek olan antiklinal kapanları genellikle dağ kuşakları içinde veya yakınında bulunurlar. En iyi örnekleri İran'daki Zagros Kuşağı'nda bulunur. Bu kuşağın devamı da Güneydoğu Toroslar'da yer alır. İran'da petrol üreten birim Alt Miyosen yaşlı Asmari kireçtaşıdır. Bu kireçtaçları çok yaygın çatlak gözeneği içerir. Bu kapan kuşağı petrol açısından oldukça zengindir. İran'daki 16 kapanda 500 milyon varil vardır. Buna karşılık, Ülkemizde genel olarak kapan tiplerini büyük bir oranda antiklinaller oluşturmakta olup bunların önemli bir kısmı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır.

Önemli hacimlerde hidrokarbon içeren geleneksel olmayan granit wash kapanları Teksas Panhandle bölgesindeki Hemphill, Roberts ve Wheeler ilçeleri ve güneybatı Oklahama'daki Beckham, Custer, Roger Mills ve Washite ilçelerinde bulunmuştur. Bu bölge yaklaşık 160 mil ve 30 mil genişliğinde sıvı açısından zengin sıkı gazlı kum kapanları olabilmektedir. İlki genellikle Texas Panhandle Granite Wash, ikincisi ise Colony Granite Wash olarak bilinmektedir (Wei and Xu, 2016).

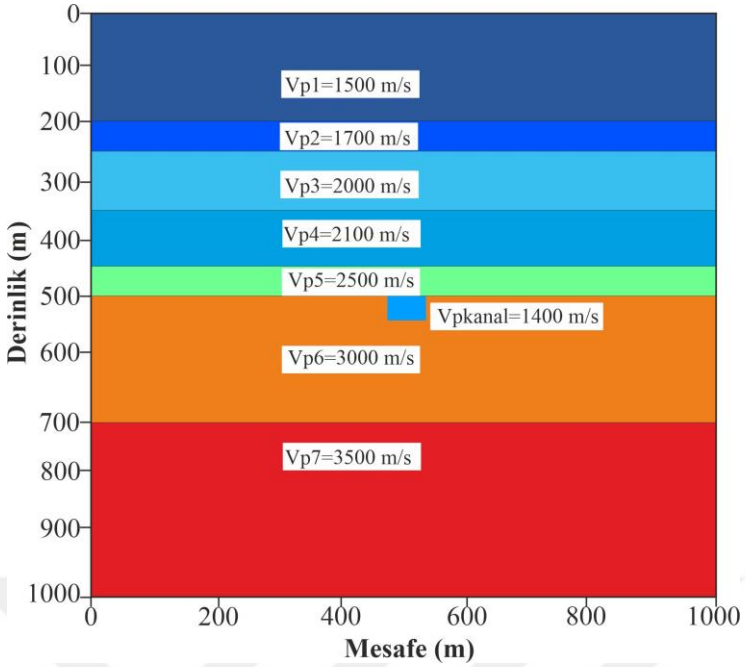
Normal faylar, yapısal yönden önemli olan graben ve horst yapılarını oluşturur. Graben, iki normal fay arasında aşağı doğru çökmüş dar ve çukur alanlar olarak tanımlanır.

Horst ise, iki normal fay arasında yükselen blok olarak tanımlanır. Ege Bölgesi'nin iç kesimlerinde gelişen büyük akarsu vadileri, bu vadiler arasında yer alan faylarla sınırlandırılmış yüksek sırtlar ile kıyılardaki koy-körfez ve aralarındaki yarımadalar, gerilme rejimi altında gelişen Horst-Graben Sistemi'nin bir ürünüdür (Çiftçi vd., 2011). Hidrokarbon açısından graben ve horst yapıları önemlidir. Graben alanlarının yeterli derinlikte tortul (sediman) içermesi halinde, bunlar hidrokarbonun oluşumunu sağlayan havzalar olarak tanımlanır. Horst ise, benzer şekilde iki normal fay arasında grabenlere nazaran yukarı çıkmış veya yükselmiş olan kesimlere denir. Aynı zamandan graben alanları içinde hidrokarbonların oluşması, graben içerisindeki horst blokları ve stratigrafik kapanların önemini artırmaktadır. Dünya'da, Batı Almanya Rhine Grabeni'nde, Kuzey Afrika'da yer alan horst-grabenlerde, Lübnan Deniz'inde ve Kızıldeniz'deki Gebel El Zeit Bölgesinde önemli hidrokarbon potansiyeli mevcuttur (Sefünç, 2017).

Biyoherm kapanları, jeolojik olarak yanal göç ve küçük boyutları ile karakterize edilmektedir (Qi vd., 2021). Türkiye'de ilk olarak Marmara Denizi'nde ''kıvrımlı deniz tabanı morfolojisine sahip tümsek şekilli'' biyoherm yapıları tanımlanmıştır (Aksu vd., 1999). Daha sonra yapılan yüksek çözünürlüklü sismik yansıma profillerinde Marmara Denizi'nin güneybatısındaki Çanakkale Boğazı'nda biyoherm yapıları belirlenmiş ve doğal gaz hidratları olduğu ifade edilmiştir (Aksu vd., 2018). Yu-guang ve Jin-ren (1981) Çin'de ilk olarak biyoherm yapılarında doğal gaz olduğunu önermişler, Sichuan Havza'sında 14 biyoherm yapısına sondaj yapmışlar ve başarılı bir şekilde doğal gazı bulmuşlardır. Marshall ve Davies (1987) Avustralya'nın Cooktown kasabasında yapılan yüksek çözünürlüklü sismik yansıma çalışmasında petrol ve doğal gaz içeren üç biyoherm yapısı belirlemişlerdir. Biyohermlerin üst kısmının sismik olarak yüksek genlik gösterdiğini (bright spot=parlak nokta) ifade etmişlerdir. Chen (2008) resiflerin jeolojisine ve sismik yansıma özelliklerine dayalı olarak biyoherm yapılarının sismik yansıma anomalilerini tanıma kriterleri geliştirmişlerdir. Çin'in Doğu Sichuan Havza'sında 182 biyoherm yapısı bulunduğunu, 36 biyoherm yapısında da yüksek oranda doğal gaz rezervuarına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Gözenek, boşluk ve çatlak içeren biyoherm karbonat kayaçları hazne kayalar olup, iyi kaynak kaya özelliklerine sahip derin çökel ortamlarda iyi derecede petrol ve doğal gaz rezervuarlarını oluşturmaktadırlar.

2.6.1. Karmaşık Kanal Kapan Modeli ve Veri İşlemi

Kanal yapıları, hidrokarbon araştırma açısından en iyi stratigrafik kapan/rezervuar yapıları olarak değerlendirilmektedir (El-Nikhely vd., 2022). Dünya'daki petrol ve gaz sahalarının çoğunluğunun kanal tipi yapılarla ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Mohebian vd., 2018). Kanal modelleri genellikle 100-900 m genişliğinde olup, daha az kıvrımlı yapılar olarak karakterize edilmektedir (Shuxin vd., 2017). Bu nedenle, kanal sistemleri, hidrokarbon bulundurma olasılığı yüksek olan kapanlar olarak değerlendirilir. Ayrıca, kanal yapıları uyumsuzluklarla kesilmekle birlikte, gözenekli ve geçirgen özellikte olduklarından, bu kanallar hidrokarbon ile dolabilir ve yüksek kaliteli rezervuarlar oluşturabilirler. Şekil 29'da görüldüğü üzere düzenli istiflenmiş tabakalı bir ortamdaki kanal kapanı içeren bir yer modeli incelenmiştir. Yer modelindeki kanal yapısı, 500 m derinlikte, 30 m kalınlığında, 50 m genişliğinde, hızı 1400 m/s olan petrol içeren gözenekli ve geçirgen kumtaşı olacak şekilde tasarlanmışır. Kanalın etrafındaki ortamın hızı 3000 m/s olan gözeneksiz ve geçirgen olmayan marn taşı ile çevrelenmiştir. Model, yukarıdan aşağıya doğru 0-200 m derinlik aralığında sismik P dalga hızı ortalama 1500 m/s olan alüvyon, 200-250 m derinlik aralığında hızı 1700 m/s olan kil, 250-350 m derinlik aralığında hızı 2000 m/s olan gözenekli kumtaşı, 350-450 m derinlik aralığında hızı 2100 m/s olan doygun şeyl, 450-500 m derinlik aralığında hızı 2500 m/s olan kireçtaşı ve en altta 700-1000 m derinlik aralığında hızı 3500 m/s olan dolomit olacak şekilde tasarlanmıştır. Modele ilişkin kullanılan hesaplama parametreleri Tablo 6'da verilmiştir.



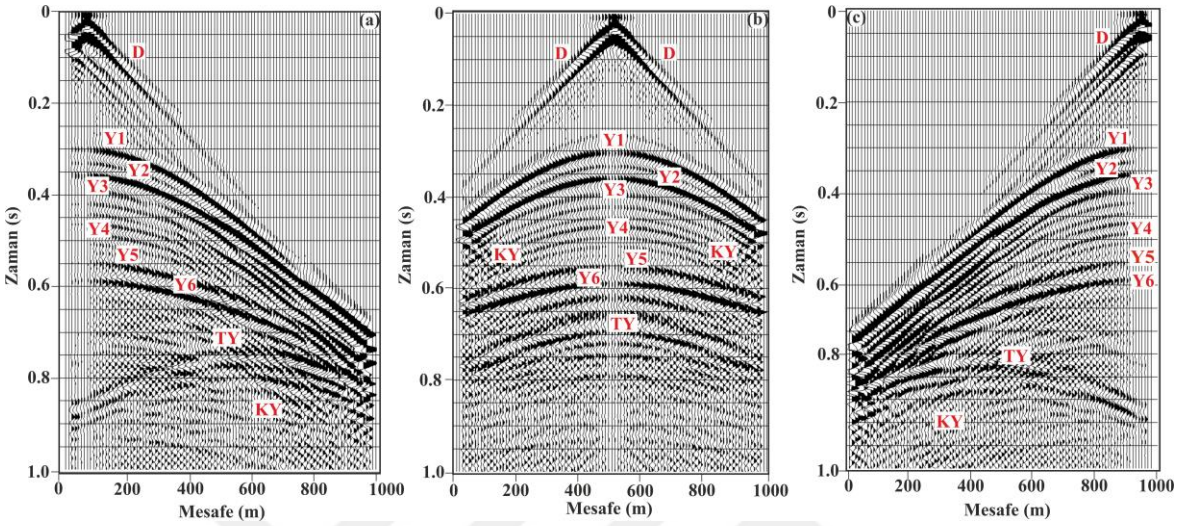
Şekil 29. Yatay tabakalı bir ortamda gelişen kanal yapısı modeli

Tablo 6. Yapay atış verisi hesaplama parametreleri

Tabakalı Kanal Yer Modeli	
Hat uzunluğu (m)	1000
Maks. derinlik (m)	1000
Jeofonlar arası uzaklık (m)	10
Atışlar arası uzaklık (m)	80
Atış sayısı	25
Alıcı sayısı	101
Maks. hız (m/s)	4000
Min. hız (m/s)	2000
Maks. uzaklık (m)	2000
Min. uzaklık (m)	100
Hesaplama zaman adımı (ms)	0.02
Örnekleme zamanı (ms)	4
Kayıt süresi (ms)	1000
Minimum Fazlı Ricker kaynak dalgacığı (Hz)	30

Tablo 6'daki parametrelere göre hesaplanan 25 adet atış kaydına ait örnekler (1., 12. ve 25. atış) Şekil 30'da gösterilmektedir. Atış kayıtları üzerinde ana yansımalar tanımlanmıştır. Bununla birlikte, kaynak noktasından başlayarak model sınırlarına kadar yayılan dalga, model kenarlarına ulaştığında oluşan kenar yansımaları (KY) görülmektedir. Bu kenar yansımaları, model için hesaplanan dalga alanı sonuçlarını olumsuz

etkilemektedir. Sentetik verinin işlenmesi için oluşturulan iş akışı Tablo 7'de verilmiştir. Birincil yansımalar kanalın köşelerinden kaynaklanan saçılmalardan ve soğurucu sınır koşullarına rağmen ortaya çıkan kenar yansımaların girişiminden etkilenmişlerdir.

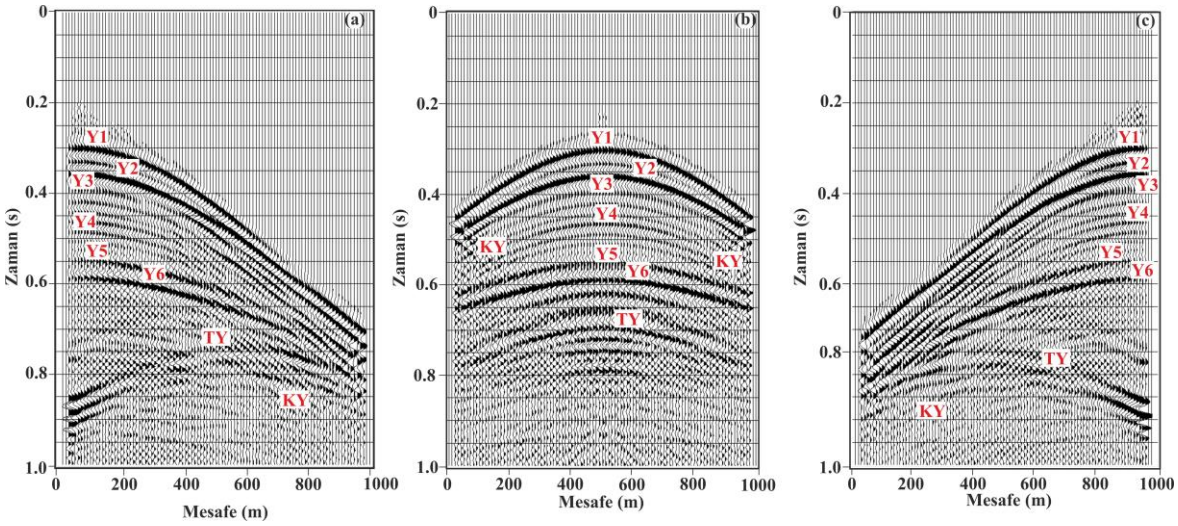


Şekil 30. Kanal modeli için hesaplanan (a) 1., (b) 12. ve (c) 25. atış kayıtları. D doğrudan gelen dalgaları, Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımalarını ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

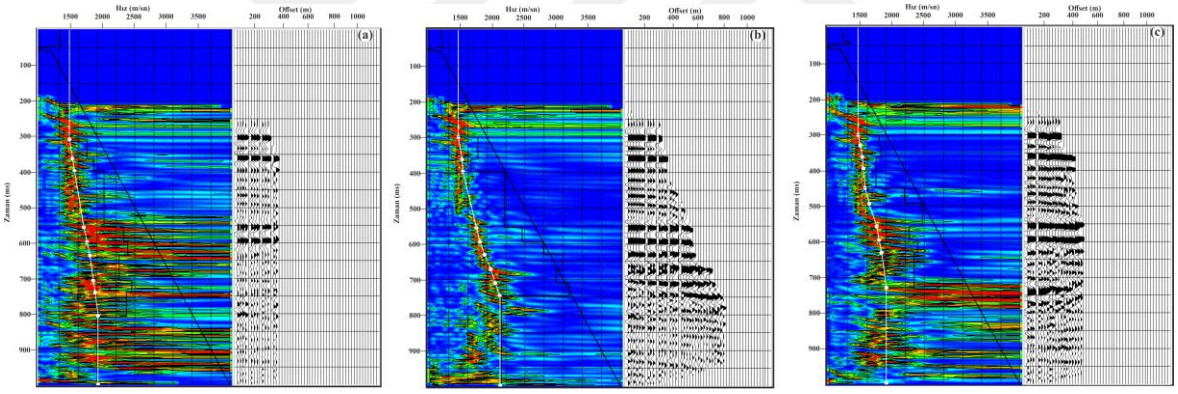
Tablo 7. Veri işlem iş akışında uygulanan işlemler

Uygulanan İşlem
Veri Yükleme
Geometri Tanımlama
Üstten Kesme
Ortak Orta Nokta (OON) Sıralama
Hız Analizi
Normal Kayma Zamanı (NKZ) Düzeltmesi
Yığma
Kirchhoff Zaman Göçü
Derinlik Dönüşümü
Görüntüleme- Otomatik Kazanç Kontrol (OKK) uygulanmıştır.

Bu iş akışına göre, ilk varış dalga alanları (doğrudan gelen dalgalar ve kırılma dalgaları) üstten kesme işlemi (top mute) ile silinmiştir (Şekil 31). Hız spektrumu hesaplaması her 20 OON'de bir yapılmıştır (Şekil 32).



Şekil 31. İlk varışlarının atılması için üstten kesme işlemlerinin uygulandığı (a) 1., (b) 12. ve (c) 25. atış grupları. Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir



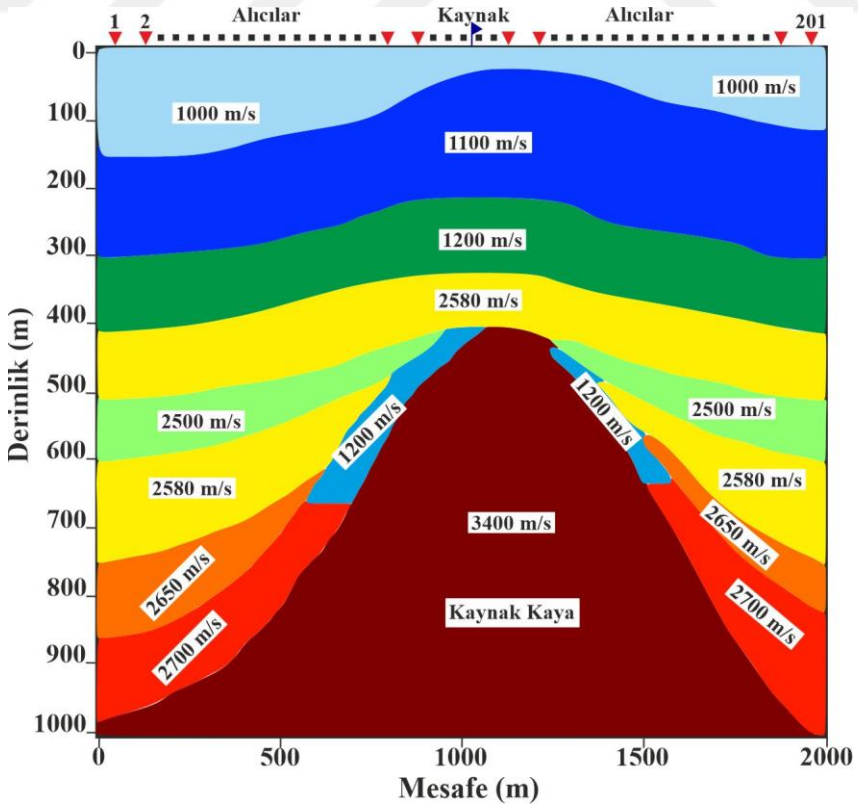
Şekil 32. (a) 40., (b) 80. ve (c) 120. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Herbiri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda)

2.6.2. Granit Wash Kapan Modeli ve Veri İşlemi

Petrolün keşfi ile stratigrafik bir kapan türü olan granit wash yapısı, petrol araştırma ve geliştirme çalışmalarının odak noktası olmuştur (Sproule, 1956). Granit wash kapanları, geleneksel orta-yüksek geçirgenlik kapanlarının aksine, düşük geçirgenlikli kapanlardır. Hyne (1984)'ün sınıflandırmasına göre, bu hidrokarbon kaynakları geleneksel olmayan stratigrafik sıkı gazlı-kum kapanları olarak bilinmektedir. Şekil 33'te verilen bu tür kapanlar, ayrışmış granit temel kayacı ile ilişkili kumtaşlarıdır (Dec vd., 1996). Bu tür

hidrokarbon kapan içeren yeraltı jeolojik yapıları oldukça karmaşıktır ve fazla benzer özellikliğe sahip olmayan birimlerin bulunmaması nedeniyle sismik araştırmalar ile tespit edilmesi zordur.

Çok katmanlı bir ortamdaki granit wash kapan modeli Şekil 33'te verilmiştir. Modelde, hızı 2700 m/s olan ve granit kayacını kaplayan birimin içine rezervuar olabilecek (gözenekli ve geçirgen kumtaşı, kireçtaşı, dolomit veya çatlaklı kaya olabilir) ve hızı 1200 m/s olan, granitin tepe noktasından itibaren her iki tarafına hidrokarbon taşıyacak (turkuaz mavi renkli) bir kapan modeli tasarlanmıştır. Buna ilaveten, bu kapan hızları 2650 m/s (650-850 m'ler arası kahverengi birim), 2500 m/s (500-600 m'ler arası açık yeşil renkli birim) ve 2580 m/s (400-500 m ve 600-750 m'ler arası sarı renkli birimler; geçirgen olmayan marn, şeyl, tuz veya mikritik kireçtaşı) olan kayaçlar ile örtülmüş ve hapsolmuştur. Diğer birimler yukarıya doğru antiklinal yapısı görünümlü olarak örtü kayacı (400-500 m'ler arası sarı renkli birim) ile uyumlu şekilde üst üste yığılarak yüzeye ulaşmıştır. Yüzey katmanının hızı 1000 m/s olup, kalınlığı sağ tarafta 125 m, ortada 50 m ve sol tarafta 150 m'dir. Ayrıca, hız-derinlik modelleri üzerinde kaynak jeofon dizilimleri gösterilmiştir.



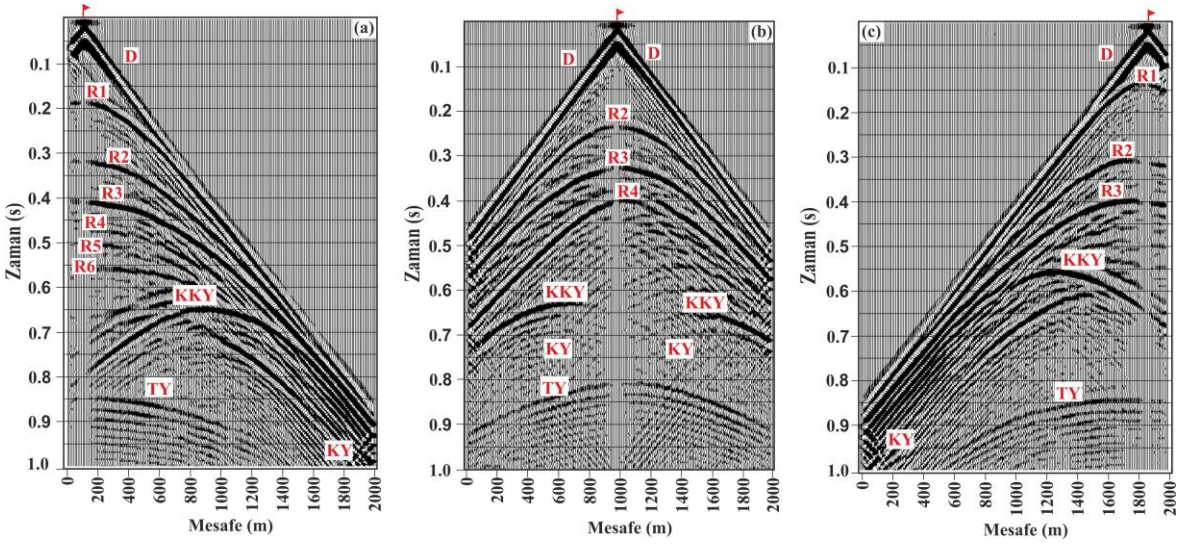
Şekil 33. Granit wash kapan modeli (Hyne, 1984).

Tablo 8'deki parametrelere göre hesaplanan 46 adet atış kaydına ait örnekler (1., 23. ve 45. atış) OKK (otomatik kazanç kontrolü) uygulanarak Şekil 34'te verilmiştir. Atış kayıtları üzerinde ana yansımalar belirlenebilmektedir. Ancak kapanın üstünden ve altından gelen yansımaların girişimi sebebiyle belirlenebilmeleri oldukça zordur. Bu durum kapan yapısının ince olması, kaynak dalgacığın düşük frekanslı olması ve sonlu fark şemasının grid aralığının geniş olması gibi faktörlere bağlanabilir. Bu çalışmanın amacı, karmaşık jeolojik ortamdaki verileri işleyerek kapan yapısını belirlemek olduğundan, modellemede daha fazla iyileştirme yapılmamıştır.

Tablo 8. Yapay atış kayıtlarını hesaplama için kullanılan parametreler

Granit Wash Yer Modeli	
Hat uzunluğu (m)	2000
Maks. derinlik (m)	1000
Jeofonlar arası uzaklık (m)	10
Atışlar arası uzaklık (m)	40
Atış sayısı	46
Alıcı sayısı	201
Maks. hız (m/s)	4000
Min. hız (m/s)	2000
Maks. uzaklık (m)	2000
Min. uzaklık(m)	100
Hesaplama zaman adımı (ms)	0.02
Örnekleme zamanı (ms)	4
Kayıt süresi (ms)	1000
Minimum Fazlı Ricker kaynak dalgacığı (Hz)	30

Tablo 9'da yansımaları düzenleyerek sıfır açılım sismik kesiti elde etmeyi ve yansıtıcı ara yüzeylerden birincil yansımaları güçlendirmeyi amaçlayan veri-işlem iş akışı verilmiştir. Birincil yansımalar hem saçılmalardan hem de soğurucu sınır koşuluna rağmen oluşan kenar yansımaların girişiminden fazlaca etkilenmişlerdir. Dolayısıyla, en uygun parametreler seçilerek veri-işlem aşamaları yapılmıştır.



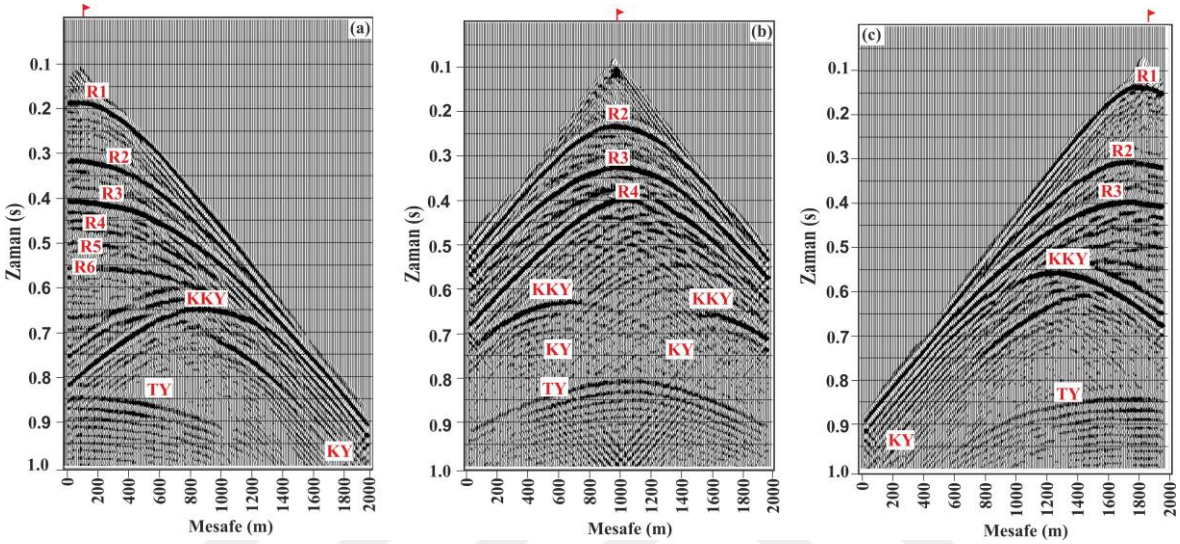
Şekil 34. Granit wash modeli için hesaplanan 1., 23 ve 45. geometrisi yüklenmiş ham atış grupları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D doğrudan gelen dalgaları, R yansıyan dalgaları, KKY kaynak kaya yansımaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

Tablo 9. Veri-İşlem iş akışı

Uygulanan İşlem
Veri Yükleme
Geometri Tanımlama
Üstten Kesme
Bant Geçişli Süzgeç (Ormsby süzgeci)
Ön Kestirim Dekonvolüsyon
Bant Geçişli Süzgeç (Ormsby süzgeci)
Ortak Orta Nokta (OON) Sıralama
Hız Analizi
Normal Kayma Zamanı (NKZ) Düzeltmesi
Yığma
Kirchhoff Zaman Göçü
Derinlik Dönüşümü
Görüntüleme-Otomatik Kazanç Kontrol (OKK) uygulanmıştır.

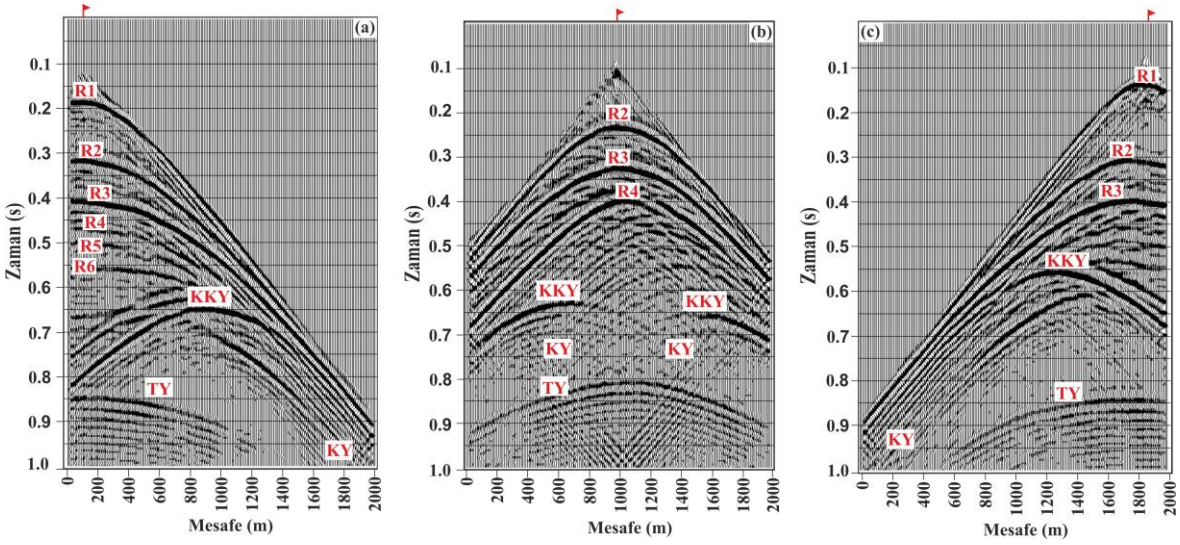
Üstten kesme işlemi ile doğrudan varışlar temizlenmeye çalışılmıştır (Şekil 35). Sığ yansımalarla ilk varışlar oldukça iç içe girişimli oldukları için ilk varış alanları bu tür

veriden silmek çok dikkat gerektirir, aksi durumda sığ yansımalara zarar verilebilir. Sığ yansımalar ve ilk varışlar iç içe girişimli olduğundan, bu tür verilerden ilk varış alanlarının silinmesi çok dikkatli yapılmalıdır; aksi halde sığ yansımalar zarar görebilir. Eğer bu ilk varışlar yeterince silinmez ise, özellikle hız analizinde sığ seviyelerdeki hız konturlarının odaklanmasını önlerler ve problem oluşturabilirler.

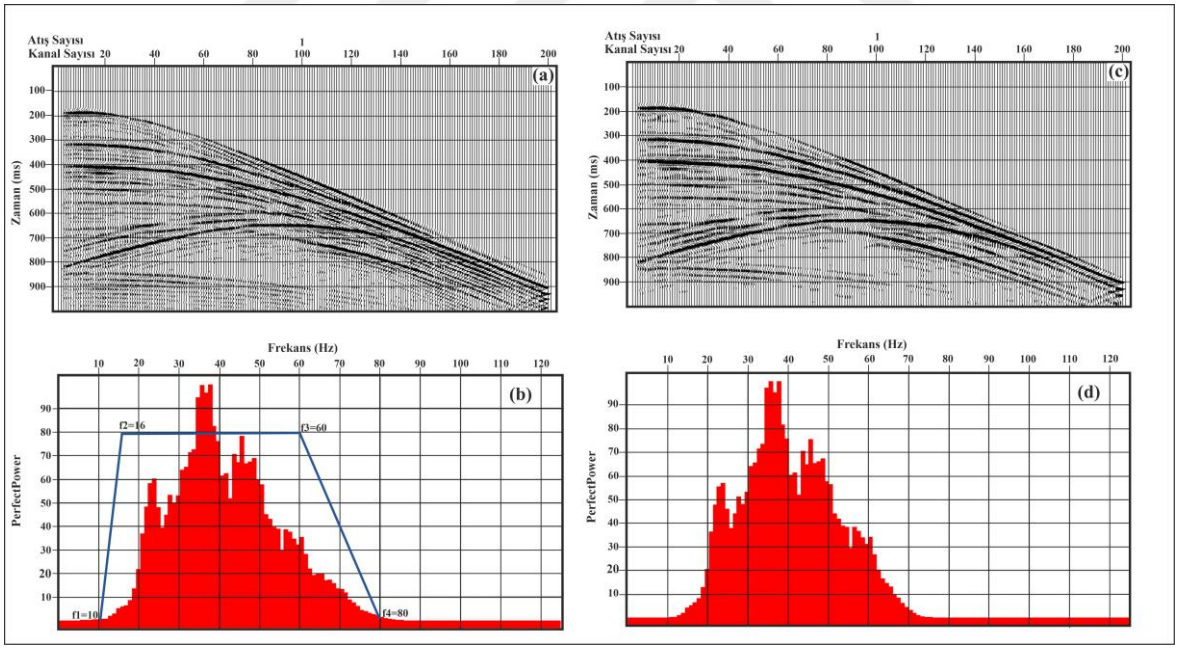


Şekil 35. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 23. ve (c) 45. atış kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı (atış noktası) göstermektedir. R yansıyan dalgaları, KKY kaynak kaya yansımaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

Model atış verileri, düşük frekanslı yüzey dalgaları ve yüksek frekanslı gürültü içermese bile, verinin modellemesinin sonucunda işlem gürültüleri (artifact) oluşabilir. Bu gürültülerin filtrelenmesi ve verinin kullanışlı spektral bandını korumak için kesme frekansları [10 16 60 80] Hz olan bant geçişli süzgeç uygulanmıştır (Şekil 36). Kesme frekansları verinin spektral içeriğinin incelenerek kullanışlı spektral bilgilerin hangi frekans aralığında olduğuna göre belirlenmiştir. Bunun için 1 nolu atış kaydının bant geçişli süzgeç öncesi (Şekil 37a ve Şekil 37b) ve sonrası (Şekil 37c ve Şekil 37d) karşılaştırılmıştır. Belirlenen süzgeç kesme frekansları (Şekil 37b'deki) Fourier ortalama genlik spektrumu üzerinde verilmiştir. Net olarak, süzgeç sonrası atış verisindeki (Şekil 37c) küçük genlikli yüksek frekanslı gürültüler azalmıştır. Buna bağlı olarak, verinin sinyal/gürültü oranının arttığı ve yansıma olaylarının güçlendiği görülmüştür (Şekil 37b).



Şekil 36. Granit wash modelinin ilk varışlarının atılması için üstten kesme işlemi ve sonrasında bant geçişli süzgeç işlemlerinin uygulandığı (a) 1., (b) 23. ve (c) 45. atış grupları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KKY kenar yansımaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

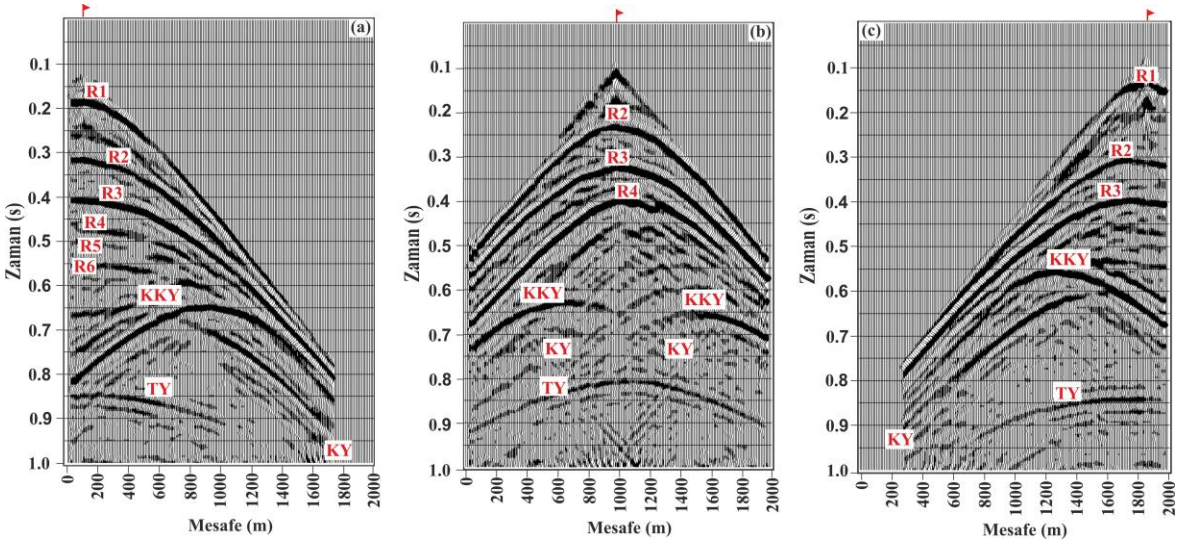


Şekil 37. Granite wash modellemesinden 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu

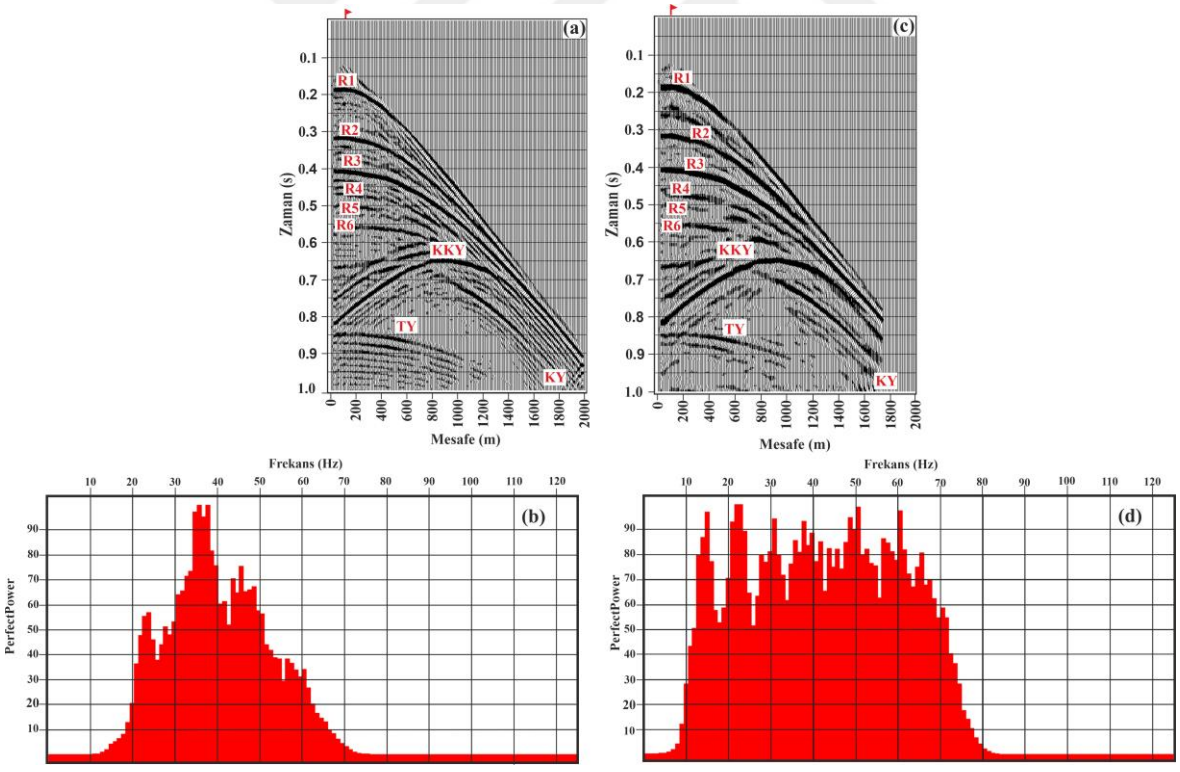
Atış kayıtlarının filtrelenmesinin ardından, birinci kestirim uzunluğu 6 ms ve operatör uzunluğu 80 ms olan ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanarak tekrarlı yansımalar

sönümlenmiştir (Şekil 38). Ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanmış ve uygulanmamış 1. atış kaydı ve genlik spektrumları Şekil 39'da verilmiştir. Ön kestirim dekonvolüsyonun sonrasında özellikle verinin kullanışlı bandı dışındaki yüksek frekans bölgesindeki gürültü genlikleri artmaktadır. Dekonvolüsyon sonrası verilere [8, 10, 70, 90] Hz kesme frekanslarında bant geçişli süzgeç uygulanmıştır (Şekil 40a ve Şekil 40b). Bu sayede, dekonvolüsyon uygulaması (Şekil 40c ve Şekil 40d) ile tekrarlılar azaltılarak düşey ayrımlılık artırılmıştır. Böylelikle, bant geçişli süzgeç ile yüksek frekans bölgesinde güçlenen ve bozucu etki yapan gürültüler zayıflatılmıştır. Ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanmış (sağda) ve uygulanmamış (solda) hız spekturumları ise Şekil 41'de verilmiştir. Hız spektrumu hesaplaması her 20 OON'de bir yapılmıştır. Dekonvolüsyon sonrası özellikle derine doğru yansımalar belirginleşmiş ve genlikleri güçlenmiştir. Böylece karşılık gelen hız spekturumu genlikleri de güçlenmiştir. Dolayısıyla hız kestirimi de daha güvenle yapılmıştır.

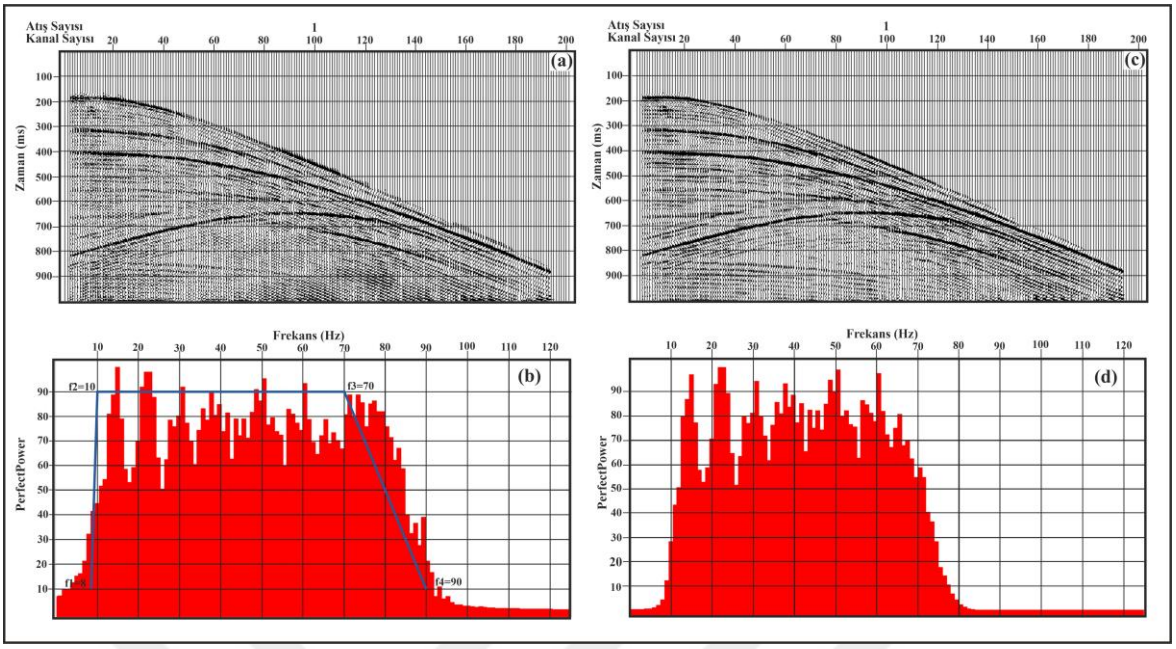
Dekonvolüsyon sonrası OON kesitine bakıldığında (Şekil 41b) 300-600 ms aralığında birçok yansıma olayının dekonvolüsyon öncesine (Şekil 41a) göre ayrımlı olduğu görülmüştür. Yansıma olaylarının varlığı özellikle 800-1000 ms aralığında dikkat çekmektedir. Ayrıca, bu durum hız spektrumunda da izlenebilmektedir. Hız işaretlemesi (Şekil 41a ve Şekil 41b'de beyaz çizgi) 550 ms'ye kadar her iki spektrum üzerinde benzerlik göstermiştir. Buna karşın, dekonvolüsyon sonrasında ise 550 ms'den sonraki hız spektrumunda konturlar daha yüksek hızlara doğru ötelenmiştir. Dolayısıyla, ön kestirim dekonvolüsyon hem hız alanının daha doğru belirlenmesini hemde yığma kalitesinin artmasını sağlamıştır. Böylece, dekonvolüsyon işlemi ile hız kestirimleri iyileştirilmiştir. KOK hızları OON gruplarına uygulanarak NKZ düzeltilmiş OON grupları elde edilmiştir. Bu veri işlem adımında, her bir OON'nin hız fonksiyonu birleştirilerek sonraki adımda yapılacak migrasyon işlemi için hız alanı da oluşturulmuştur.



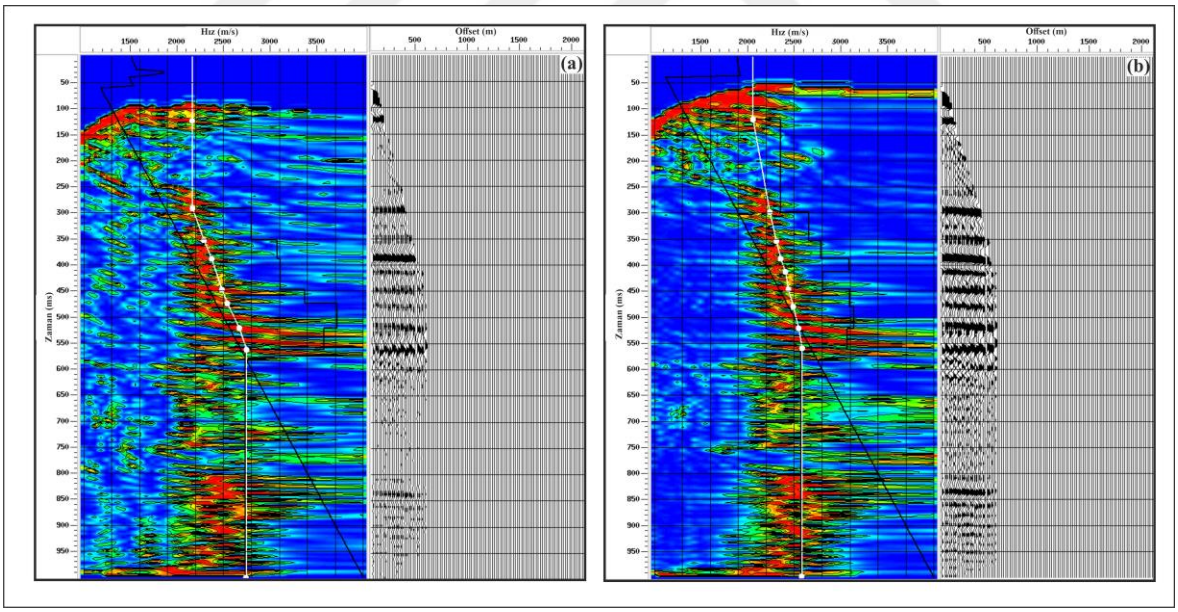
Şekil 38. Ön veri işlem aşamalarından geçirilen (a) 1., (b) 23. ve (c) 45. yapay atış grupları için ön kestirim dekonvolüsyon sonuçları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KKY kaynak kaya yansıması, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir



Şekil 39. Granite wash modellemesinden 1. atış kaydına ait (a, b) ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortama genlik spektrumları, (c, d) ön kestirim dekonvolüsyonu uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortama genlik spektrumları



Şekil 40. Granite wash modellemesinden 1. atış kaydına ait ön kestirim dekonvolüsyonu sonrası bant geçişli süzgeç uygulanmamış (a, b) ve uygulanmış (c, d) atış kayıtları ve Fourier ortama genlik spektrumları

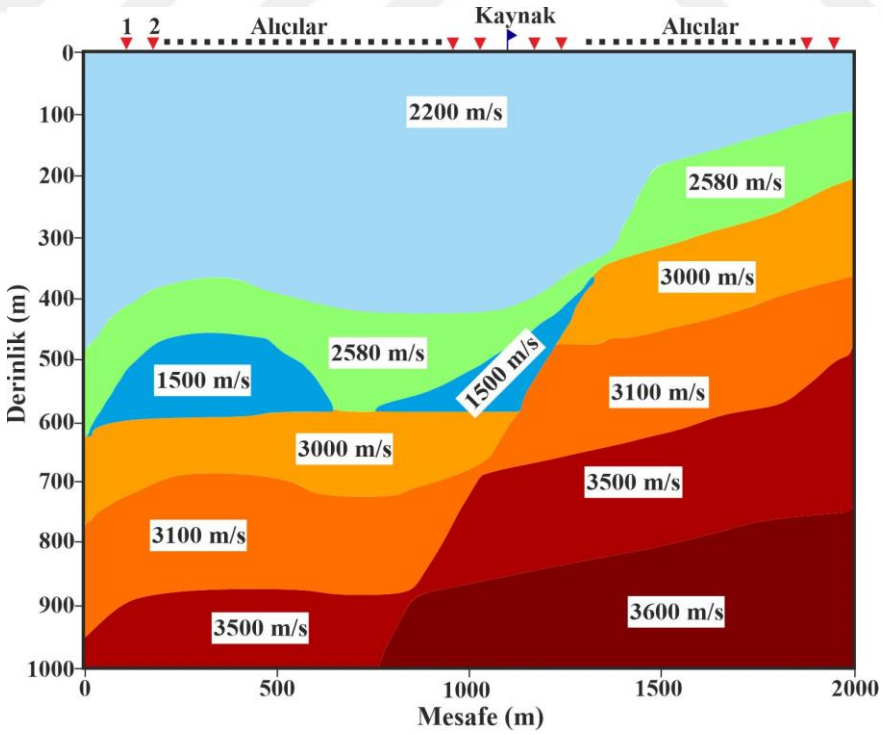


Şekil 41. 340. OON grubu üzerinde hız spektrumu uygulaması. Ön kestirim dekonvolüsyonu (a) uygulanmamış (b) uygulanmış hız spektrumu görüntüleri. Beyaz sürekli çizgi, işaretlenen KOK hızlarını göstermektedir

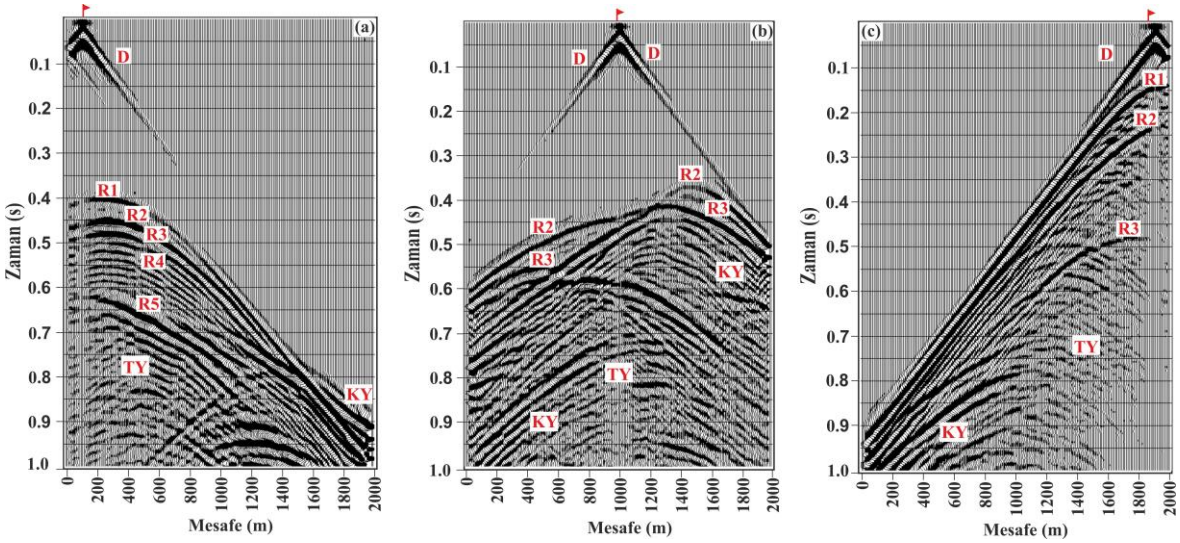
2.6.3. Normal Fay Kapanı Modeli ve Veri İşlemi

Normal fay tipi kapanlar, yapısal kapanlardır. İki fayın veya birçok fayın kesişmesi sonucunda meydana gelirler. Normal fay kapanı, fay bloklarının petrolün göç etmesini önleyecek şekilde hareket ettiğinde oluşurlar. Örneğin, fayın bir tarafındaki sızdırmaz ve geçirimsiz bir oluşum, diğer taraftaki bir petrol yatağı oluşumuna ters yönde hareket edebilir. Böylece geçirimsiz tabaka petrolün akışını önler ve faya karşı bir petrol havuzu oluşur (Biddle ve Wielchowsky, 1994).

Şekil 42'de normal fay kapanı derinlik hız modeli verilmiştir. Bu modelde kapan yapıları içine petrol yerleştirilmiştir (1500 m/s- turkuaz mavi renkli). Petrol kapanının üzeri örtü kayacı (2580 m/s-açık yeşil renkli) ile örtülmüştür. Hız-derinlik modeli üzerinde kaynak alıcı dizilimleri gösterilmiştir. Sık aralıklarla yapılan atışlar daha fazla katlanma sağlamaktadır. Ancak aynı zamanda süreksizlik zonlarına yakın alanlardaki sık aralıklı atışlar saçılma yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. Dolayısıyla veri kalitesinin bozulduğu gözlemlenmiştir. Şekil 42'de verilen normal fay kapanı modeli için elde edilmiş 25 adet atış kaydından örnekler Şekil 43'te gösterilmiştir.



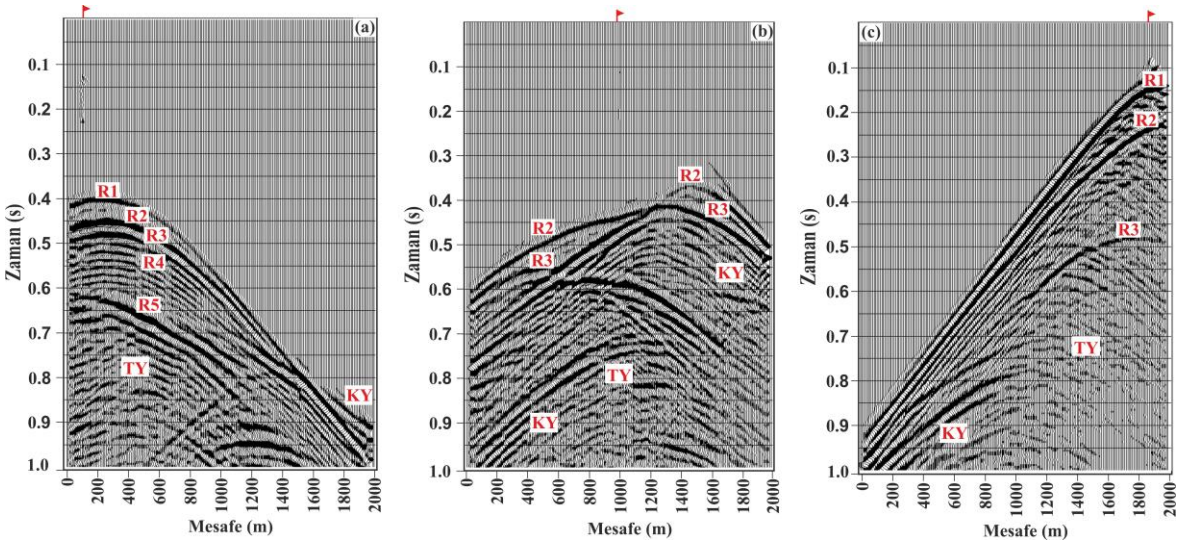
Şekil 42. Normal fay kapan modeli (Hyne, 1984).



Şekil 43. Normal fay kapanı modeli için hesaplanan (a)1., (b) 13. ve (c) 25. geometrisi yüklenmiş ham atış grupları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D doğrudan gelen dalgaları, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

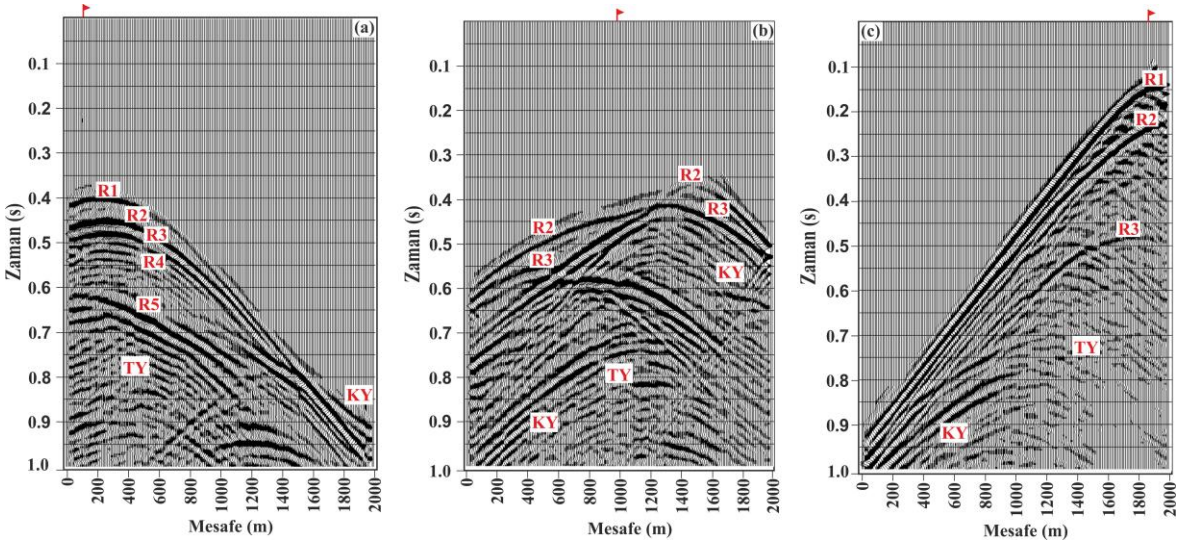
ProMax yazılımı ile atış kayıtlarının işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Atış kayıtların içermiş olduğu gürültüleri bastırmak ve iyi kalitede sismik kesit elde etmek için Tablo 5'te verilen veri-işlem iş akışı kullanılmıştır. Birincil yansımalar hem saçılmalardan hem de soğurucu sınır koşuluna rağmen oluşan kenar yansımaların girişiminden oldukça etkilenmişlerdir. Bu nedenle, en uygun parametreler seçilerek veri-işlem aşamaları uygulanmıştır.

İlk önce, Şekil 44'te üstten kesme işlemi ile direkt varışlar atılmaya çalışılmıştır (Şekil 44). Fayın üst blok tarafındaki atışlarda (Şekil 44'te 25. atış) yansıtıcılar yüzeye yakın olduğu için direkt varışlar yansımalar ile çok fazla girişimlidirler. Bu nedenle atış kayıtlarındaki özellikle 100 ms'den sonraki direkt varışlar tam olarak silinememişlerdir.

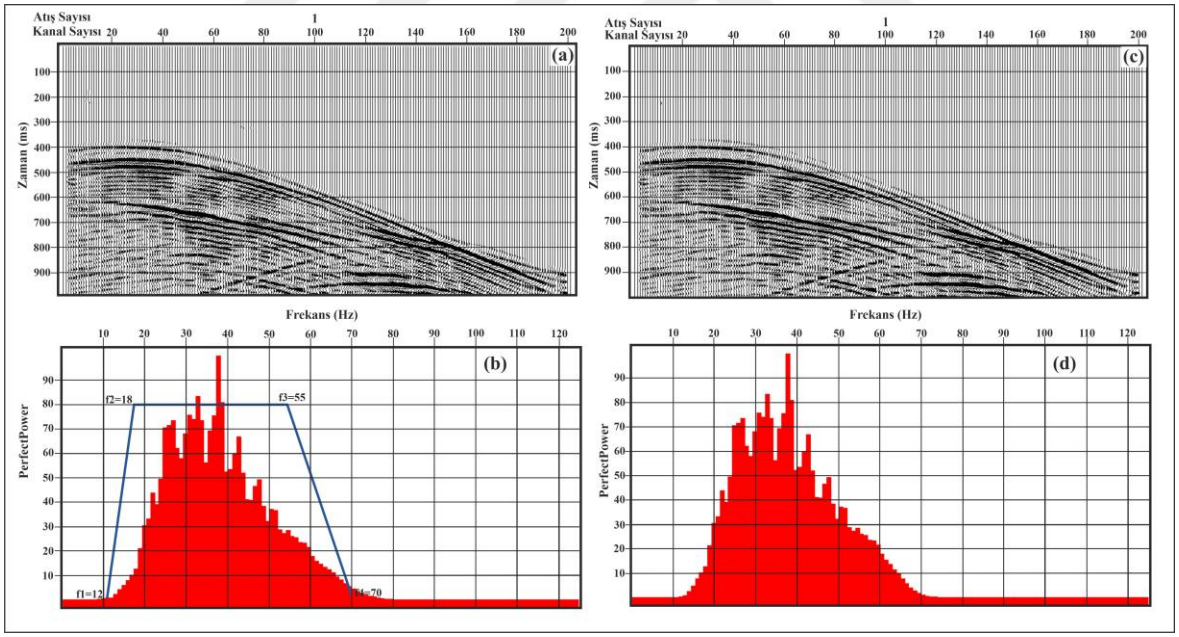


Şekil 44. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 13. ve (c) 25. atış kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları göstermektedir

Daha sonraki veri işlem adımında, köşe frekans değerleri [12 18 55 70] Hz olan bant geçişli süzgeç uygulanarak düşük ve yüksek frekanslı gürültü enerjileri atılmıştır (Şekil 45). Şekil 46'da 1. atış verisinin süzgeç öncesi ve sonrası karşılaştırmasını incelemek için zaman ve spektral ortamı sonuçları verilmiştir. Şekil 46'daki giriş verisinin Fourier ortalama genlik spektrumuna (Şekil 46b) göre verinin kullanışlı spektral bandı 18-55 Hz arasında yoğunlaşmıştır. Bu nedenle, verinin bu kısmı korunacak şekilde filtre kesme frekansları [12 18 55 70] Hz olarak belirlenmiştir. Şekil 46c'de bant geçişli filtre sonucunun zaman kesiti ve Şekil 46d'de ise Fourier ortalama genlik spektrumu sunulmuştur. Zaman kesitleri ve spektral sonuçlar karşılaştırıldığında önemli bir farklılık görülmemektedir. Ancak bilhassa bandın dışındaki yüksek frekanslı küçük genlikli titreşimciklerin (bkz. 500-600 ms arası) zayıfladığı görülmektedir.

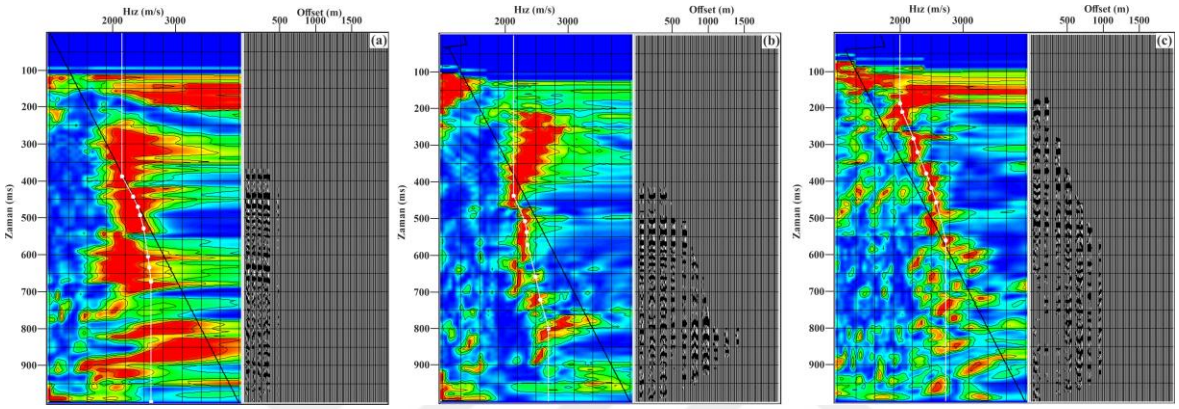


Şekil 45. Normal fay kapanı modelinin yapay verilerinden direkt varışlarının atılması için üstten kesme işlemi ve izleyen aşamada bant geçişli süzgeç işlemlerinin uygulandığı (a)1., (b) 13. ve (c) 25. atış grupları. Kırmızı bayrak sembolü sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir



Şekil 46. Normal fay kapanı modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu

Bir sonraki veri işlem adımında, sismik verileri atış ortamından ortak derinlik noktası (ODN) ortamına geçirmek için ayıklama işlemi uygulanmıştır. Bu durumda "ortak nokta" dan yansıdığı varsayılan izlerin meydana getirdiği iz aileleri için ODN yerine OON ifadesi kullanılmıştır. Böylece, OON iz grupları oluşturularak bu gruplara hız analizi uygulanmıştır. Şekil 47'de normal fay kapanı modelinin 50., 150. ve 300. OON iz grupları sunulmuştur.

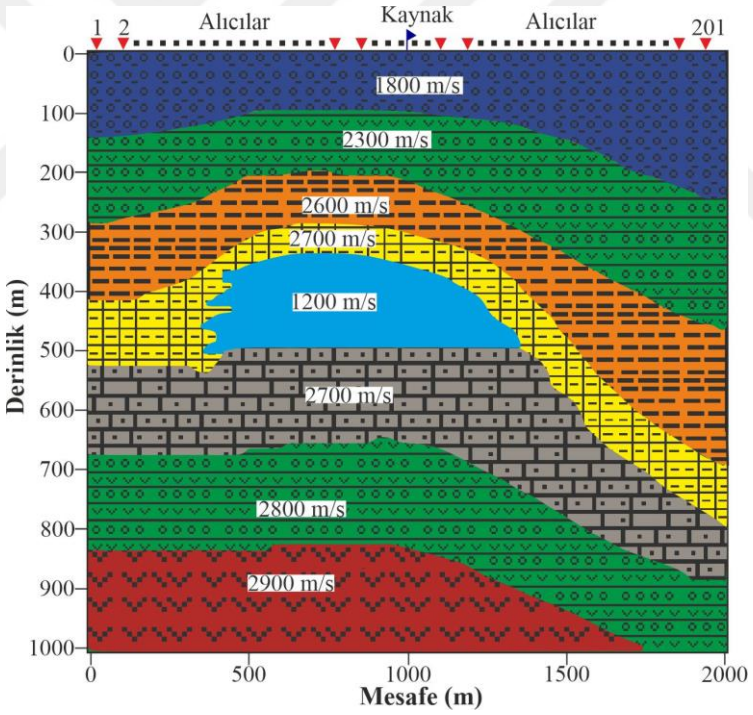


Şekil 47. (a) 50., (b) 150. ve (c) 300. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Her biri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda)

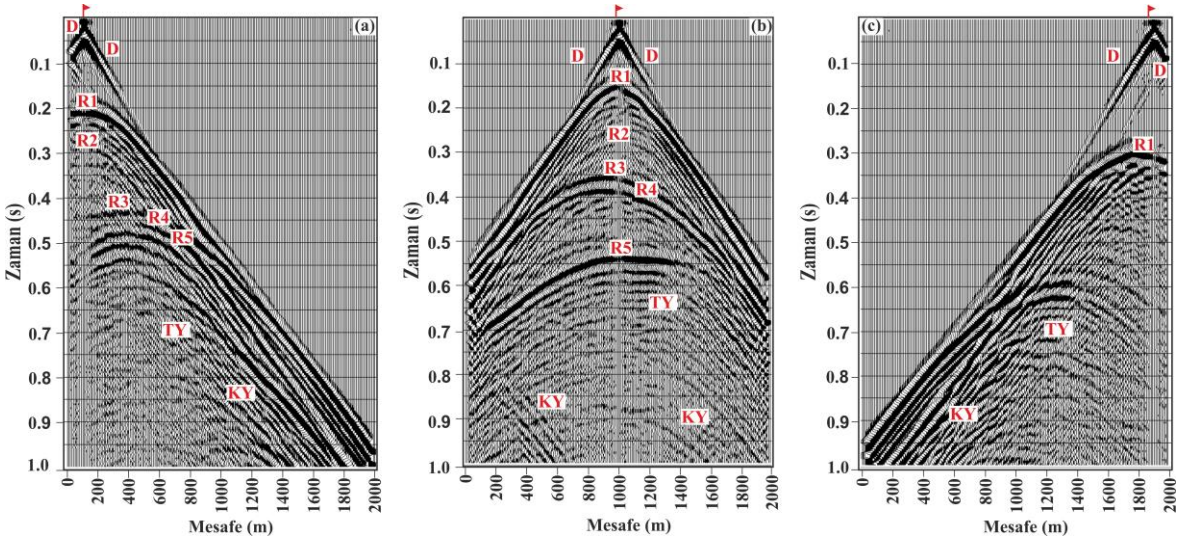
2.6.4. Biyoherm Modeli ve Veri İşlemi

Bir stratigrafik kapan türü olan biyoherm kapan modeli mercanlar, derisi dikenliler, yumuşakçalar gibi çeşitli deniz organizmalarının iskeletlerinden oluşan (Cuming ve Shrock, 1928) ve farklı litolojinin bir stratigrafik serisi içerisinde uyumsuz bir şekilde sıralanan tümsek ve mercek şekilli biyolojik yapılar olarak tanımlanmaktadır (Riding, 2002). Hyne (1984) sınıflandırmasına göre geleneksel olmayan stratigrafik kapan olarak bilinen biyohermler antiklinal tipi yapısal olmayan kapanlar olarak kabul edilmektedir (Sosnin vd., 2021). Hidrokarbon aramalarında stratigrafik kapanların önemli bir bölümünü biyohermler oluşturmakta olup, petrol ve doğal gaz rezervuar oluşumu için büyük potansiyele sahiptirler. Dolayısıyla, biyohermler hidrokarbon keşifleri için önemli hedefler haline gelmiştir. Biyohermler sismik kesitlerde aralıklı iç yansımalar, karmaşık ve düşük genlikli yansımalar (chaotic or blank reflections), tümsek yansımalar ve belirgin genlik anomalileri ile karakterize edilmektedirler (Sattler vd., 2004; Yu vd., 2005).

Bir biyoherm kapan modeli Şekil 48'de gösterilmektedir. Bu modelde, 380-510 m derinlik aralığında sismik P-dalga hızı ortalama 1200 m/s olan doğal gaz içeren bir rezervuar yerleştirilmiştir ve üzeri yukarıdan aşağıya doğru hızı 2300 m/s olan gözenekli suya doygun kumtaşı (110-430 m'ler arası yeşil renkli birim), hızı 2600 m/s olan (250-690 m'ler arası turuncu birim) marn ve hızı 2700 m/s olan doygun şeyl (350-800 m'ler arası sarı renkli birim) örtü kayaçları ile kapatılmıştır. Yüzey tabakasının hızı 1800 m/s olup, kalınlığı sağ tarafta 225 m, ortada 110 m ve sol tarafta 150 m'dir. Diğer birimler ise, aşağıya doğru hızı 2700 m/s olan kumlu kireçtaşı (510-860 m'ler arası gri renkli birim), hızı 2800 m/s olan gözenekli suya doygun kumtaşı (690-1000 m'ler arası yeşil renkli birim) ve hızı 2900 m/s olan bazalt (840-1000 m'ler arası koyu kırmızı) olacak şekilde istiflenerek yığılmıştır. Bu model için hesaplanan 25 adet atış kaydından örnekler Şekil 49'da sunulmuştur.



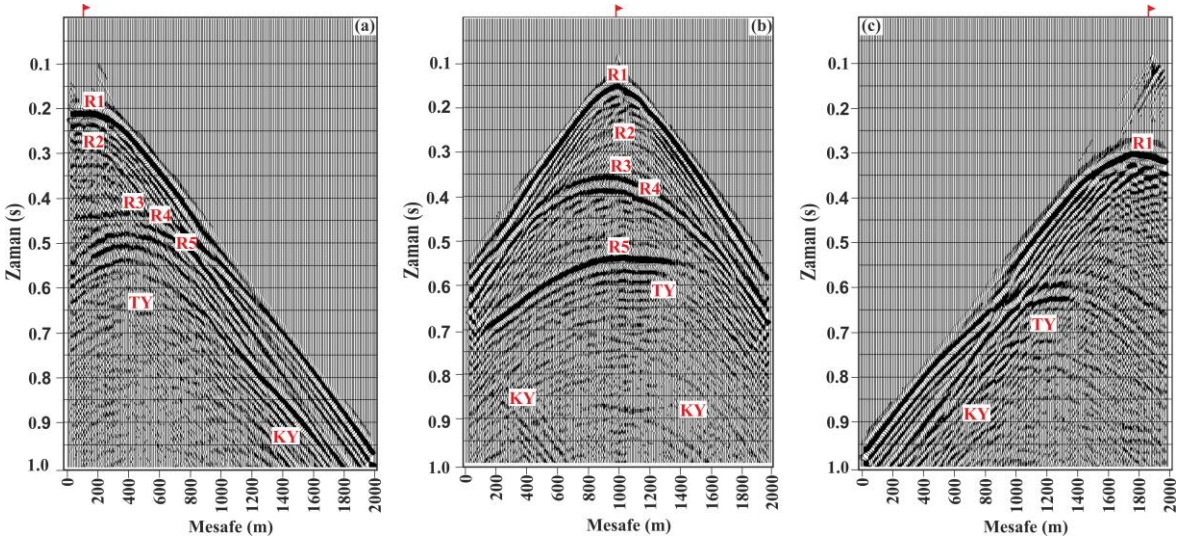
Şekil 48. Biyoherm kapan modeli (Hyne, 1984)



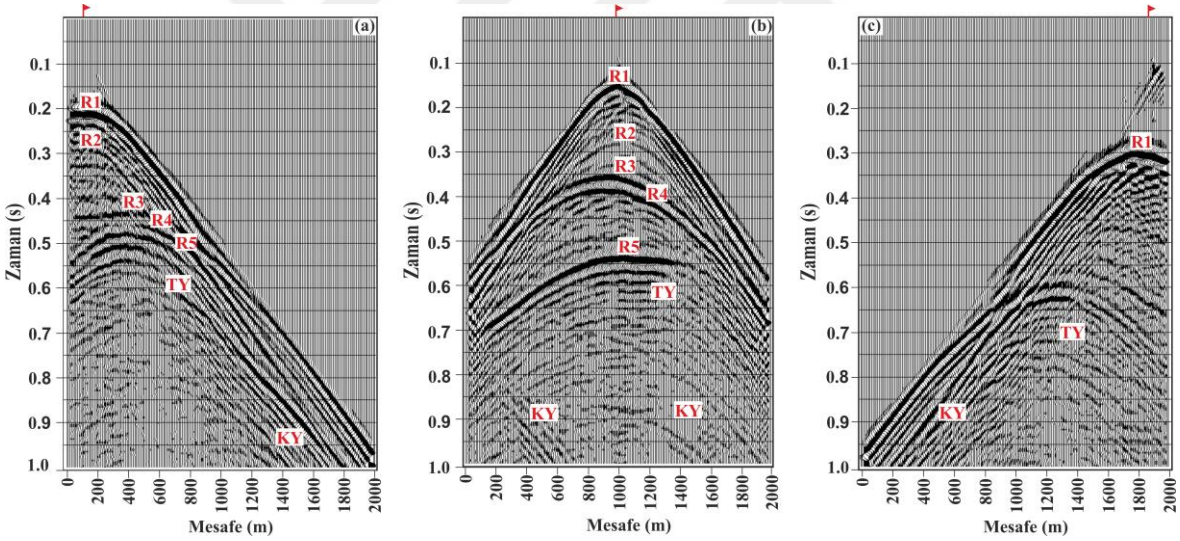
Şekil 49. Biyoherm modeli için hesaplanan atış kayıtları. (a) 1. atış (100 m), (b) 13. atış (1000 m) ve (c) 25. atış (1900 m) kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D doğrudan gelen dalgaları, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

Bu verilerin işlenmesi için oluşturulan iş akışı Tablo 5'te verilmiştir. Yapay sismik yansıma verilerindeki atış gruplarının içermiş olduğu doğrudan varışlar, kenar yansımaları, doğrusal istenmeyen olaylar ve saçılmalardan arındırılarak ve birincil yansımalar güçlendirilerek yığma sonrası ve öncesi Kirchhoff zaman göç kesitleri elde edilmiştir.

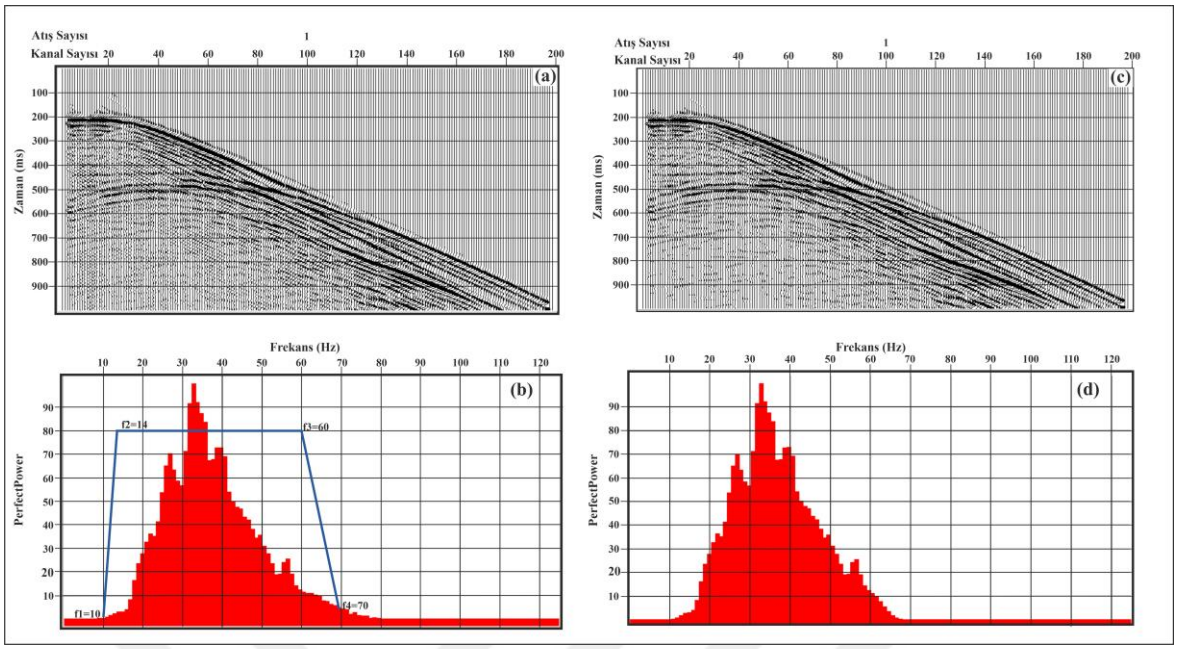
İlk adım olarak, üstten kesme işlemi ile direkt varışlar atılmaya çalışılmıştır (Şekil 50). Sonraki adımda, düşük ve yüksek frekanslı işlem gürültülerinin filtrelenmesi için kesme frekans değerleri [10 14 60 70] Hz olan bant geçişli süzgeç uygulanmıştır (Şekil 51). Şekil 52'de 1. atış verisinin süzgeç öncesi ve sonrasını karşılaştırmak için zaman ve spektral ortamı sonuçları verilmiştir. Şekil 52a'daki giriş verisinin Fourier ortalama genlik spektrumuna (Şekil 52b) göre verinin kullanışlı spektral bandı 14-60 Hz arasındadır. Buna nedenle, verinin bu kısmı korunacak şekilde süzgeç kesme frekansları belirlenmiştir. Şekil 52c'de süzgeç sonucunun zaman kesiti, Şekil 52d'de ise Fourier ortalama genlik spektrumu sunulmuştur.



Şekil 50. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 13. ve (c) 25. atış kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

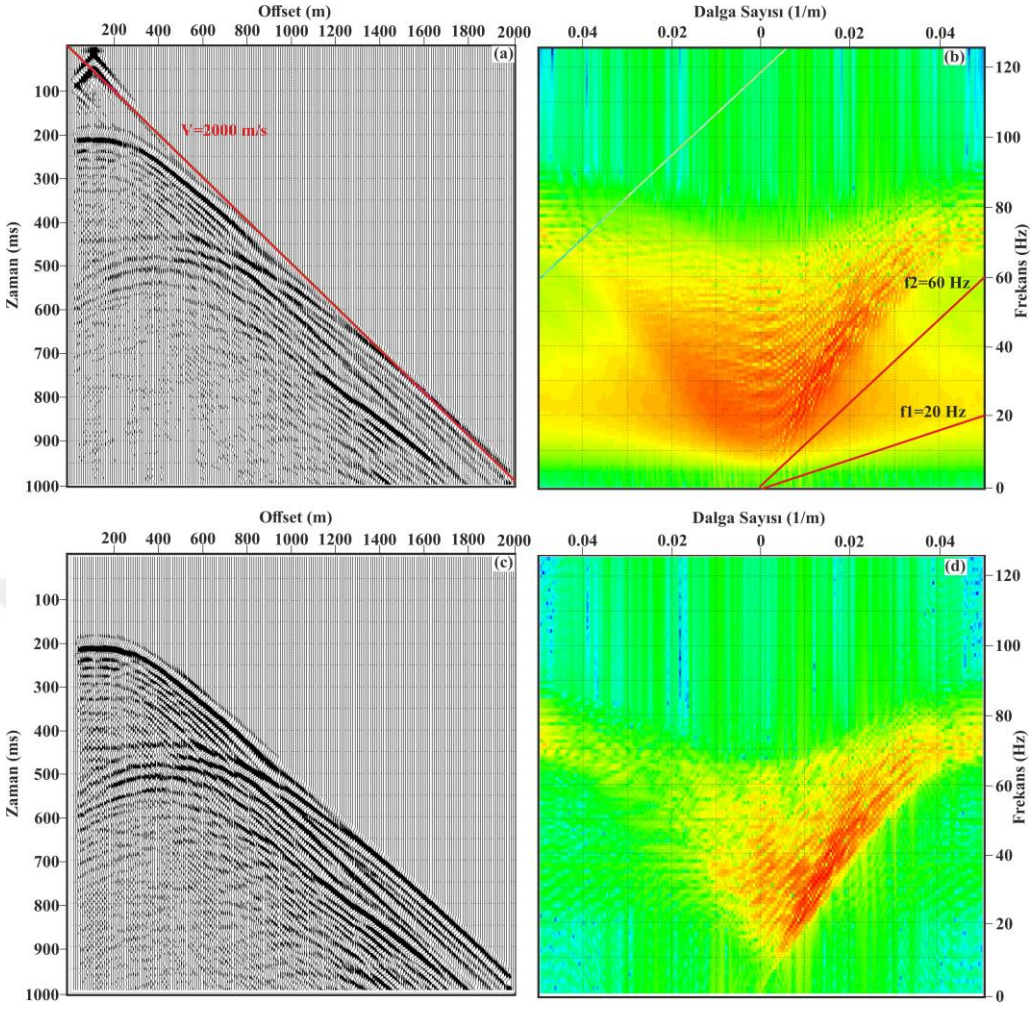


Şekil 51. Şekil 50'daki atış kayıtlarının bant geçişli süzgeç uygulanmış sonuçları



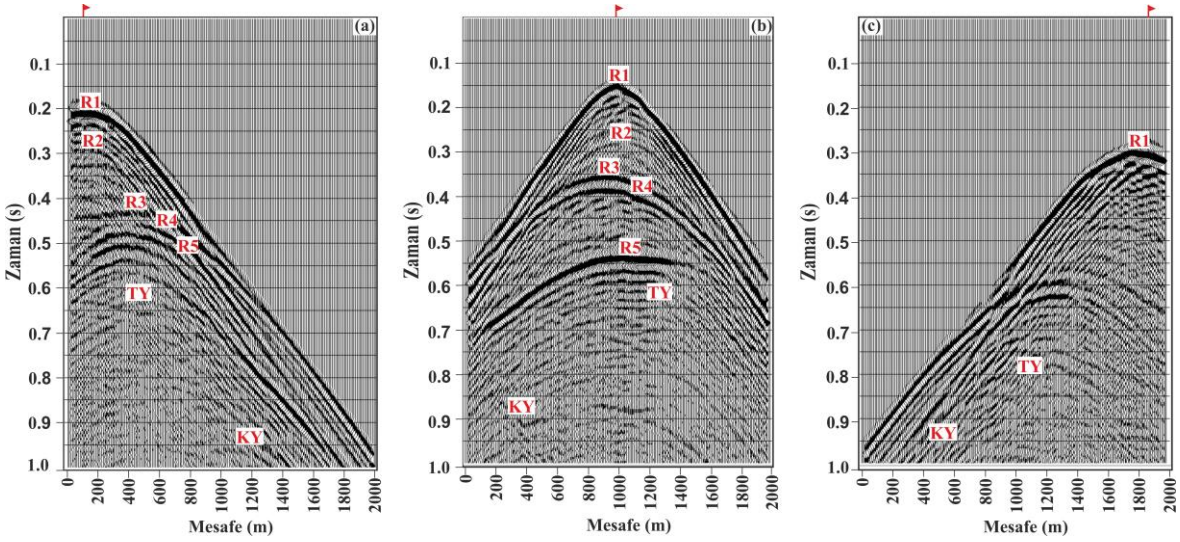
Şekil 52. Biyoherm modellemesinden elde edilen 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu

Her ne kadar üstten kesme işlemi ile doğrusal varışlar (doğrudan ve kırılma varışları) zayıflatılmaya çalışılmış ise de Şekil 50'den de görüldüğü üzere halen daha kalıntı doğrusal varışlar izlenebilmektedir. Bu kara verilerinde sıklıkla karşılaşılan bir sorundur, çünkü yüzeye yakın tabakaların yansımaları ile doğrusal varışlar çoğunlukla girişimli olarak kaydedilirler. Dolayısıyla, bu kalıntı olayların süzgeçlenmesi için, frekans-dalga sayısı ortamında uyum süzgeci uygulanmıştır (Şekil 54). Bununla birlikte, model kenarlarından kaynaklanan kenar yansımaları da uyum süzgeci ile en aza indirgenmiştir. Süzgecin tasarımında hız değeri 2000 m/s ve frekans aralığı ise 20-60 Hz olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 53'te gösterilmektedir.

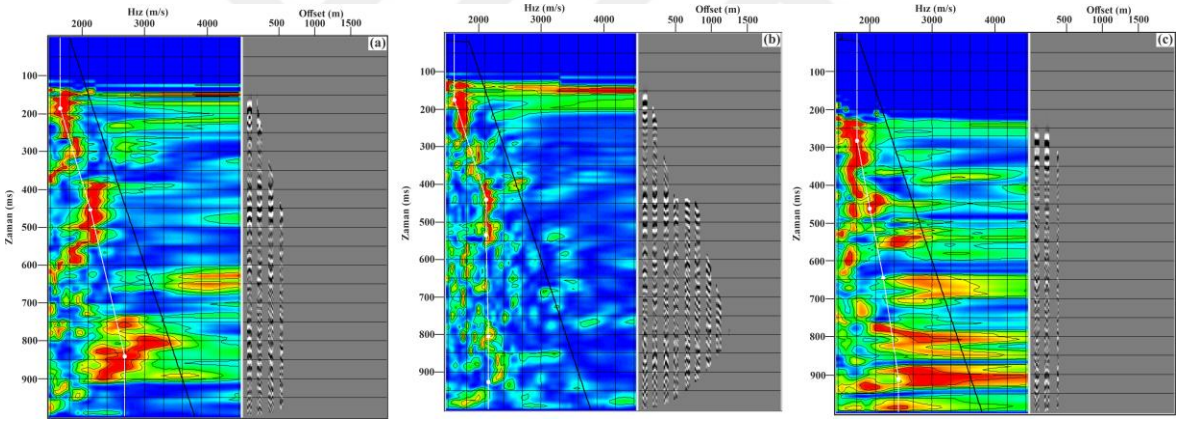


Şekil 53. Uyum süzgecinden (a, b) önce ve (c, d) sonraki zaman ve spektral ortam görüntüleri

Süzgeçleme işlemlerinden sonra, OON iz grupları oluşturularak hız analizi işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 55). İş akışında her 10 OON grubu için yapılan hız analizinden seçilen hız fonksiyonları ile normal kayma zamanı düzeltmesi gerçekleştirilmiştir.

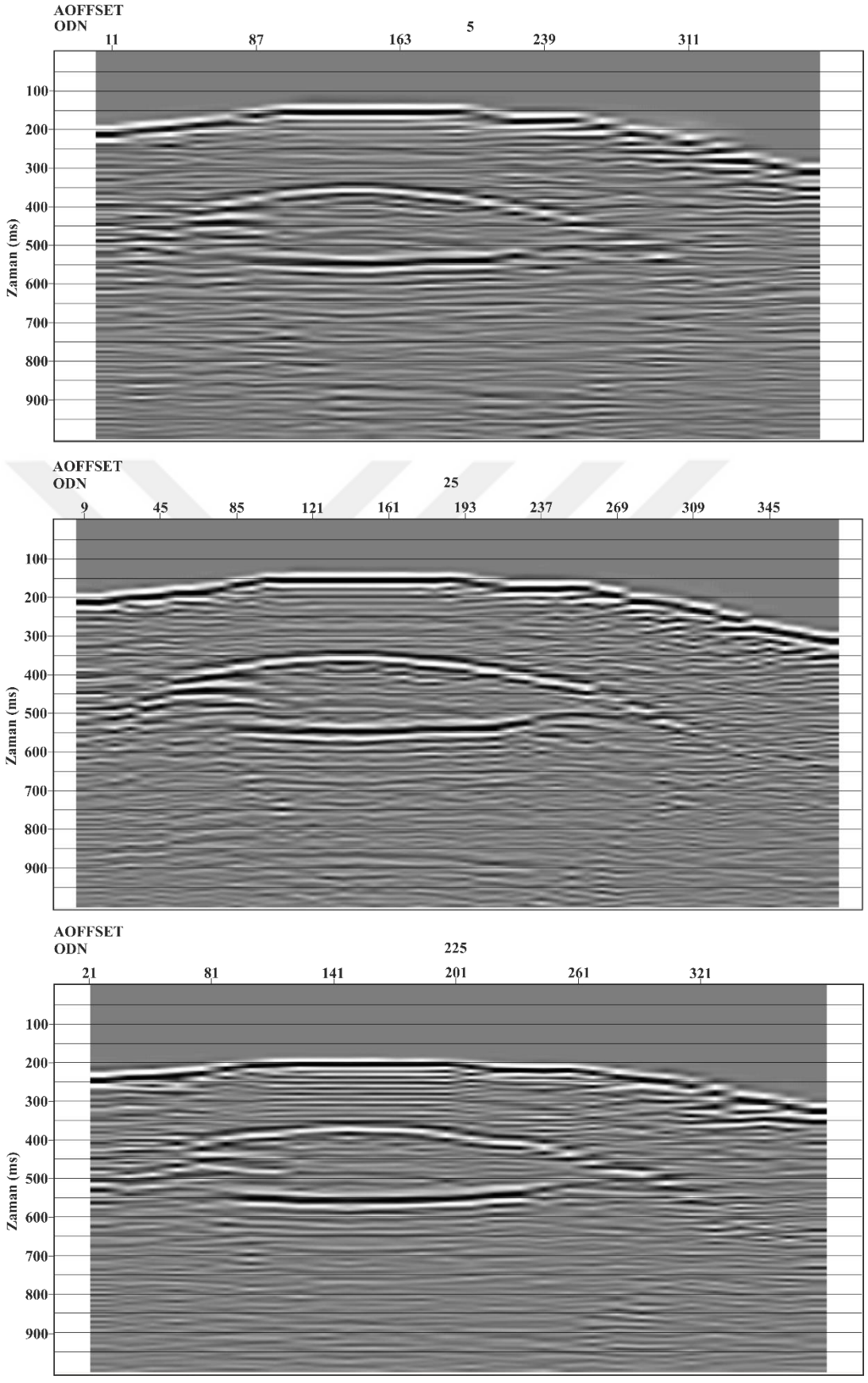


Şekil 54. Şekil 52'deki atış kayıtlarının uyum süzgeç uygulanmış sonuçları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, R yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir



Şekil 55. (a) 20., (b) 260. ve (c) 350. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Her biri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda)

Yığma öncesi Kirchhoff zaman göç kesiti elde edebilmek için OON grupları kullanılarak yakın ofsetten (5 m) uzak ofsete (1905 m) kadar 190 adet ofset kesiti [(uzak ofset-yakın ofset)/alıcı aralığı] hazırlanmıştır. Şekil 56'da 5, 25 ve 225 m için kesitler görülmektedir. Yığma öncesi zaman göçü işleminde brüt yığma verisi oluşturulmuştur. Sismik veride ilk hız analizi yapıldıktan sonra yığma öncesi Kirchhoff zaman göç işlemi sonrasında yansıma hiperbollerinin daha ideal olması beklenmektedir. Bu nedenle, ikinci hız analizi yapılmıştır. Ardından her bir ofset kesiti için göç işlemi uygulanmıştır. Yığma öncesi göç işlemi tüm izleri kullandığı için uzun süren bir veri işlem yöntemidir.



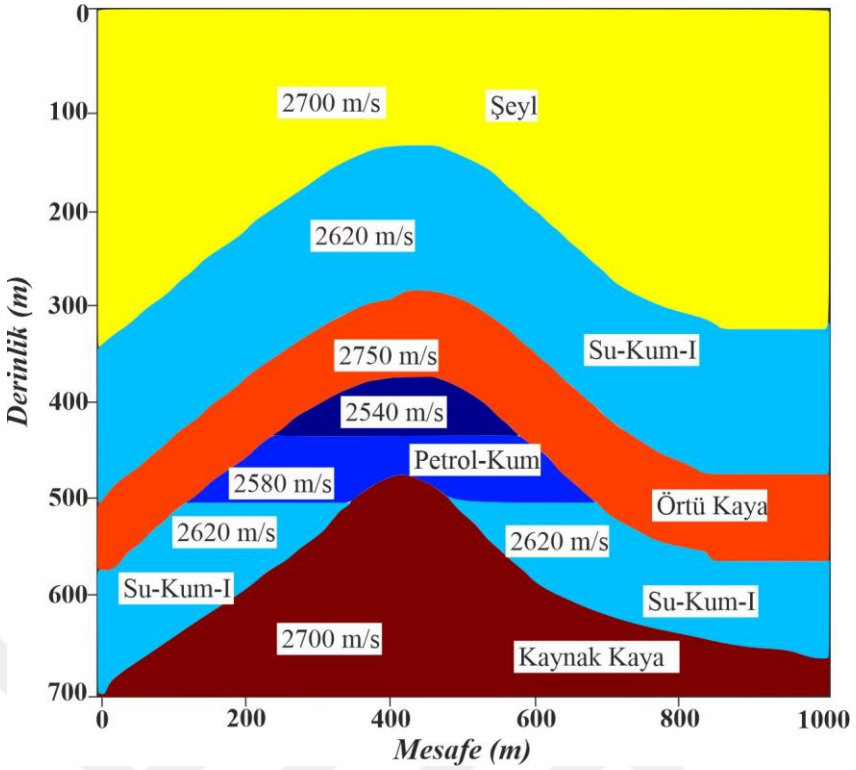
Şekil 56. Aoffset 105 m, 1005 m ve 2485 m için kesitler

2.6.5. Antiklinal Modeli ve Veri İşlemi

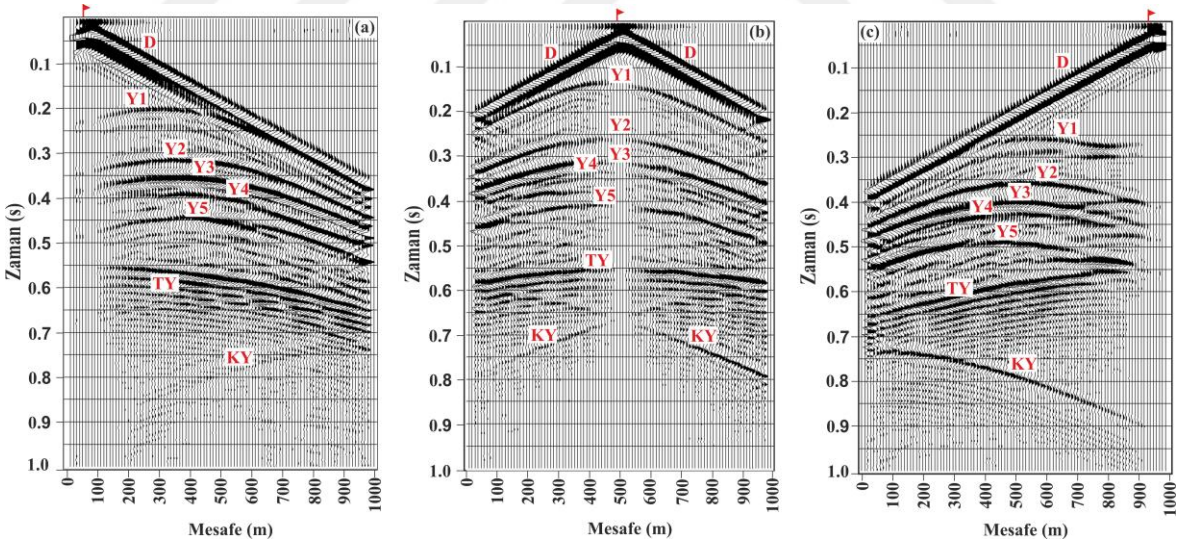
Bir yapısal kapan türü olan antiklinal kapan modeli, kemer benzeri şekle sahip olup, merkezinde en yaşlı kayalara sahip bir kıvrım türüdür. Genellikle bindirme faylarının üzerinde gelişirler. Bu nedenle, iç kabuk içindeki herhangi bir küçük sıkışma üst kaya tabakası üzerinde büyük etkilere neden olur (Earle, 2015).

Antiklinaller, bilinen ilk petrol kapanı örneklerinden biridir. Dünya'daki petrolün yaklaşık %80'i antiklinal kapanlarında bulunmaktadır. Antiklinal kapanı içerisinde petrolün, düşük yoğunluk özelliği sayesinde kumtaşı veya gözenekli kireçtaşları gibi rezervuar kayada birikip depolanana kadar kaynak kayasında yüzer bir şekilde yüzeye doğru göç etmesine neden olur. Petrol, su ve doğal gaz ile birlikte, geçirimsiz bir tabaka veya fay zonu gibi geçirimsiz bir tabakadan oluşan bir örtü kaya tarafından tutulur (Riva, 2015).

Kısmen sıvıya doygun gözenekli bir ortamdaki antiklinal kapan modeli Şekil 57'de görülmektedir. Modelde, 432-506 m derinlik aralığında sismik P dalga hızı ortalama 2580 m/s olan petrollü kum, petrollü kumun hemen üzerinde ise 377-432 m derinlik aralığında hızı 2540 m/s olan gazlı kum yerleştirilmiştir. Üzeri yukarıdan aşağıya doğru 0-342 m'ler arası hızı 2700 m/s olan şeyl, 134-503 m'ler arası hızı 2620 m/s olan su-kum ve 289-578 m'ler arası hızı 2750 m/s olan örtü kaya ile kapatılmıştır. Bununla birlikte, modelin 478-700 m'ler arası hızı 2700 m/s (dolomit veya çatlaklı kaya, kireçtaşı, geçirgen ve gözenekli kumtaşı) olan kaynak kaya ve kaynak kayanın her iki tarafında (sol tarafında 508-700 m'ler arası ve sağ tarafında 508-670 m'ler arası) hızı 2620 m/s olan su-kum olacak şekilde tasarlanmıştır. Antiklinal modelindeki akışkanların fiziksel özellikleri temsili öğesel hacim (Representative Elemantary Volume-REV) model özelliklerine dayanmaktadır (Quintal, 2012; Kuteynikova vd., 2014). Bu model için hesaplanan 25 adet atış kaydından örnekler Şekil 58'de sunulmuştur.



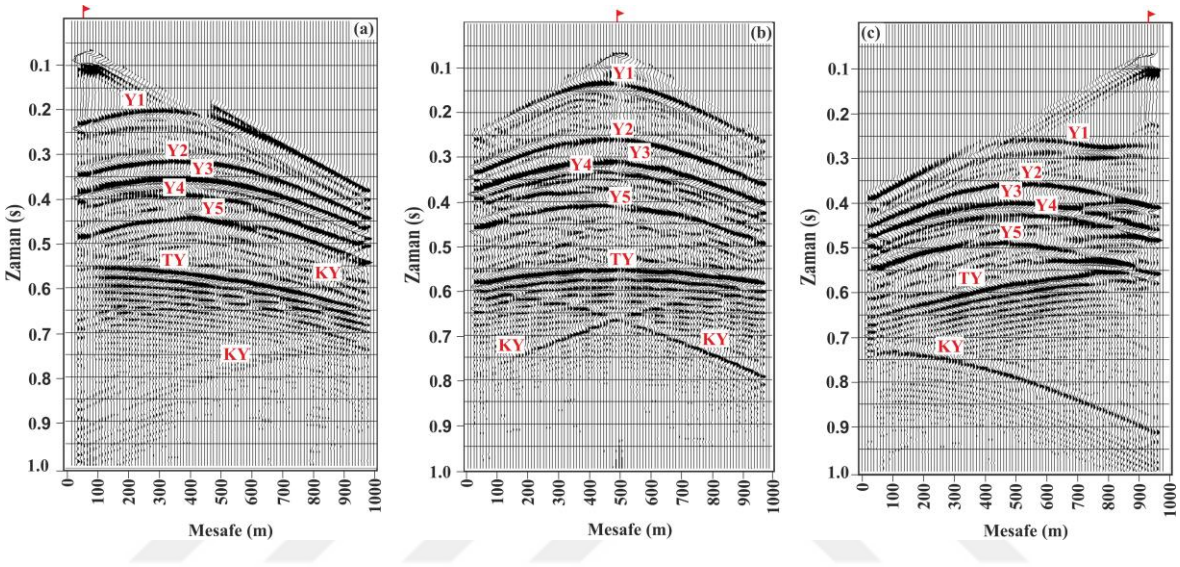
Şekil 57. Antiklinal kapan modeli (Sudarmaji (2016)'dan düzenlenmiştir)



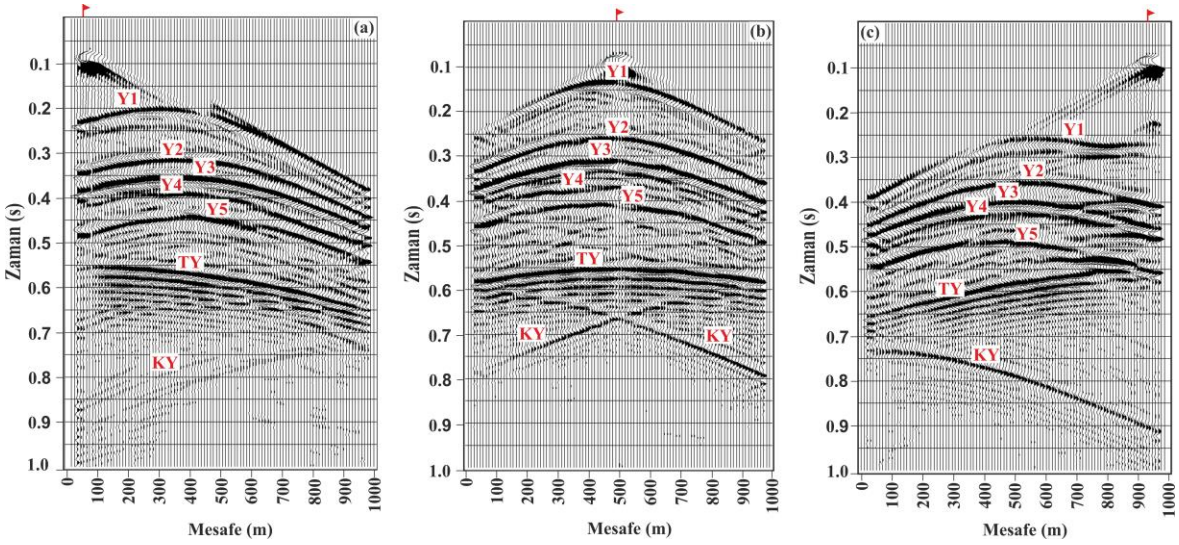
Şekil 58. Antiklinal modeli için hesaplanan atış kayıtları. (a) 1. atış (60 m), (b) 13. atış (500 m) ve (c) 25. atış (960 m) kayıtları. Kırmızı bayrak sismik kaynağı, D doğrudan gelen dalgaları, Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

Bu verilerin işlenmesi için oluşturulan iş akışı Tablo 7'de verilmiştir. Direkt varışlar üstten kesme veri işlem adımı ile atılmaya çalışılmıştır (Şekil 59). Köşe kesme frekansları

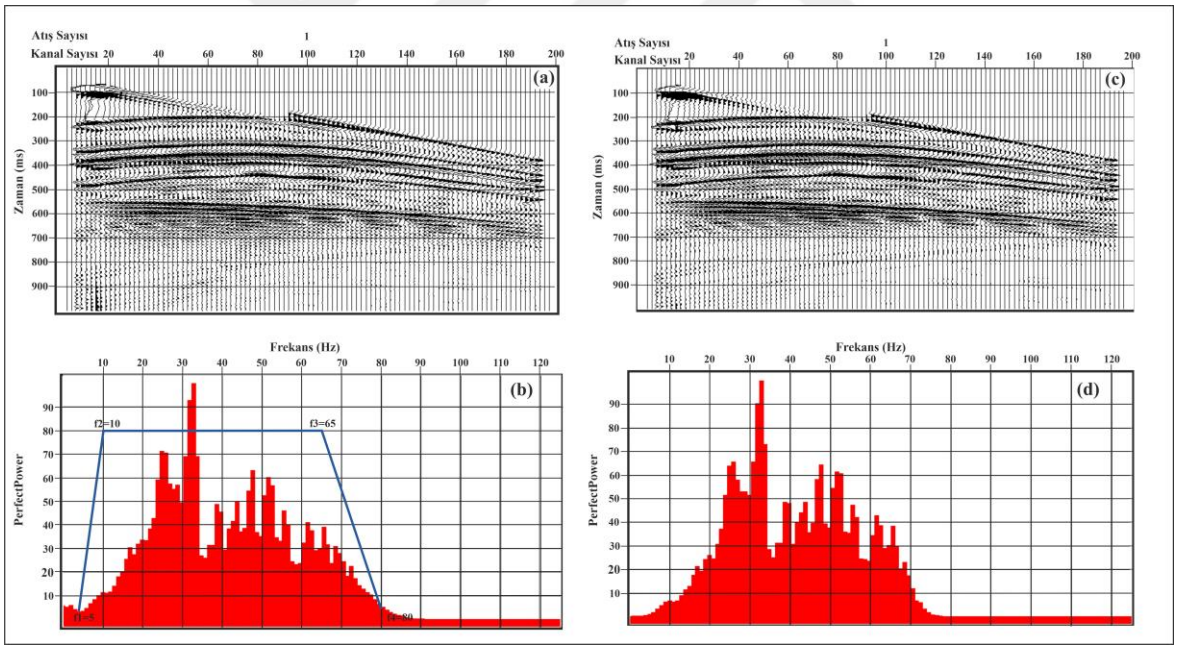
[5 10 65 80] Hz olan bant geçişli süzgeç uygulanarak düşük ve yüksek frekanslı işlem gürültüleri süzgeçlenmiştir (Şekil 60). Şekil 61'de 1. atış verisinin süzgeç öncesi ve sonrasını karşılaştırmak için zaman ve spektral ortamı sonuçları verilmiştir. Şekil 61a'daki giriş verisinin Fourier ortalama genlik spektrumuna (Şekil 61b) göre verinin kullanışlı spektral bandı 10-65 Hz arasındadır. Şekil 61c'de süzgeç sonucunun zaman kesiti ve Şekil 61d'da ise Fourier ortalama genlik spektrumu sunulmuştur.



Şekil 59. Üstten kesme işlemleri yapılmış olan (a) 1., (b) 13. ve (c) 25. atış kayıtları. Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir

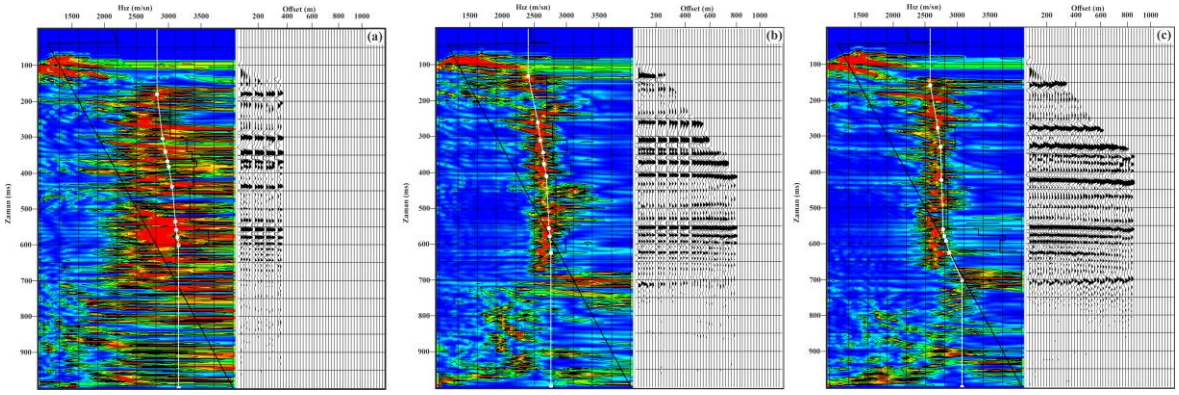


Şekil 60. Şekil 57'deki atış kayıtlarının bant geçişli süzgeç uygulanmış sonuçları. Y yansıyan dalgaları, KY sınır şartlarından kaynaklı kenar yansımaları ve TY ise tekrarlı yansımaları temsil etmektedir



Şekil 61. 1. atış kaydına ait (a, b) bant geçişli süzgeç uygulanmamış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spektrumu, (c, d) bant geçişli süzgeç uygulanmış atış kaydı ve Fourier ortalama genlik spekturumu

Süzgeçleme işlemlerinden sonra, OON iz grupları oluşturularak hız analizi işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 62). İş akışında her 10 OON grubu için yapılan hız analizinden seçilen hız fonksiyonları ile normal kayma zamanı düzeltmesi gerçekleştirilmiştir.

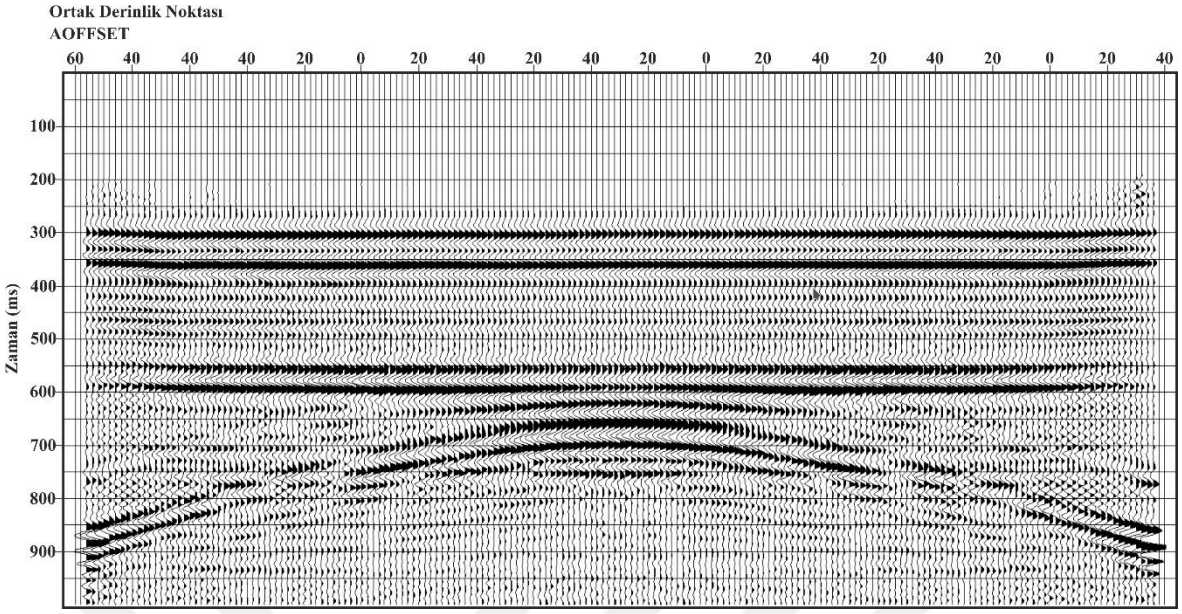


Şekil 62. (a) 40., (b) 80. ve (c) 120. OON grubu üzerindeki hız analizi uygulaması. Her biri için hız spektrumu (solda), NKZ düzeltmesi uygulanmış OON grubu (sağda)

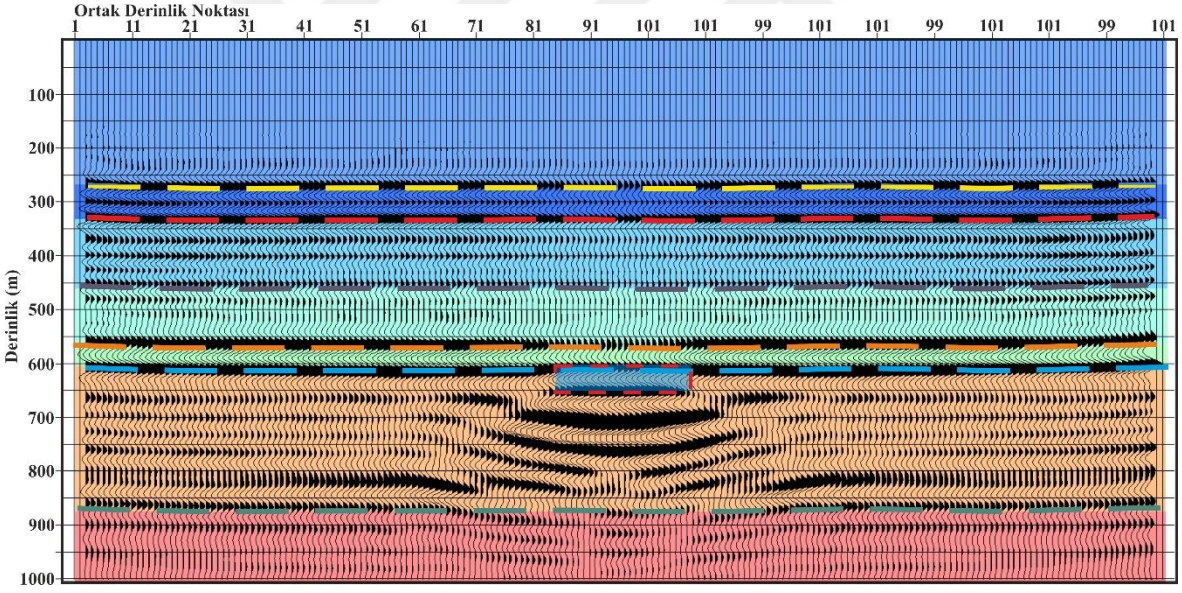
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karmaşık jeolojik ortamlardaki hidrokarbon kapanlarının sismik yansıma kesitlerinin yorumlanması, sismik araştırmalarda önemli bir sorun teşkil etmektedir. Çünkü yansımalar, özellikle jeolojik yapıların yakınında karmaşık davranışlar sergilemektedir. Bu nedenle, bu karmaşık davranışı anlamak için yalnızca birincil P dalgalarını içeren sıfır ofset ışın izleme ile hesaplanan petrol ve doğal gaz içeren beş farklı karakteristik kapan modellerinin yapay sismik kesitleri incelenmiştir. Çünkü bu yapay kesitlerin yansıma genliklerindeki değişimler ve yansıma zamanı geometrilerindeki karmaşıklıklar önemli yorumlama değerine sahiptir.

Kanal Kapan Modeli için hız analizi ile belirlenen KOK hızları OON gruplarına uygulanarak NKZ düzeltilmiş OON grupları yığılmış ve Şekil 63'teki yığma kesiti elde edilmiştir. Bununla birlikte, verideki NKZ'nin sebep olduğu gerilme alanlarını uzaklaştırmak için OON gruplarına yığma öncesi %60 oranında NKZ üstten kesme işlemi uygulanmıştır. Üsten kesme işlemi sığ ve uzak ofsetlerde enerji kaybına neden olmasına rağmen gerilme problemini gidermek için gereklidir. Diğer yandan yığma kesiti üzerinde açıkça görülen, kanal yapısının kenarlarından kaynaklanan saçılmalar ise yığma kesitinin kalitesini düşürmektedir. Bu saçılmaları indirgemek için, Şekil 63'teki yığma kesitine, her 10 OON'de bir elde edilen KOK hız foksiyonlarının birleştirilmesi ile oluşturulan hız alanı kullanılarak Kirchhoff zaman göçü uygulanmıştır ve aynı hız bilgisi kullanılarak zaman ekseni derinliğe dönüştürülmüş kesit Şekil 64'te sunulmuştur. Bu kesit üzerindeki kesikli çizgiler yansıma seviyelerini göstermektedir.



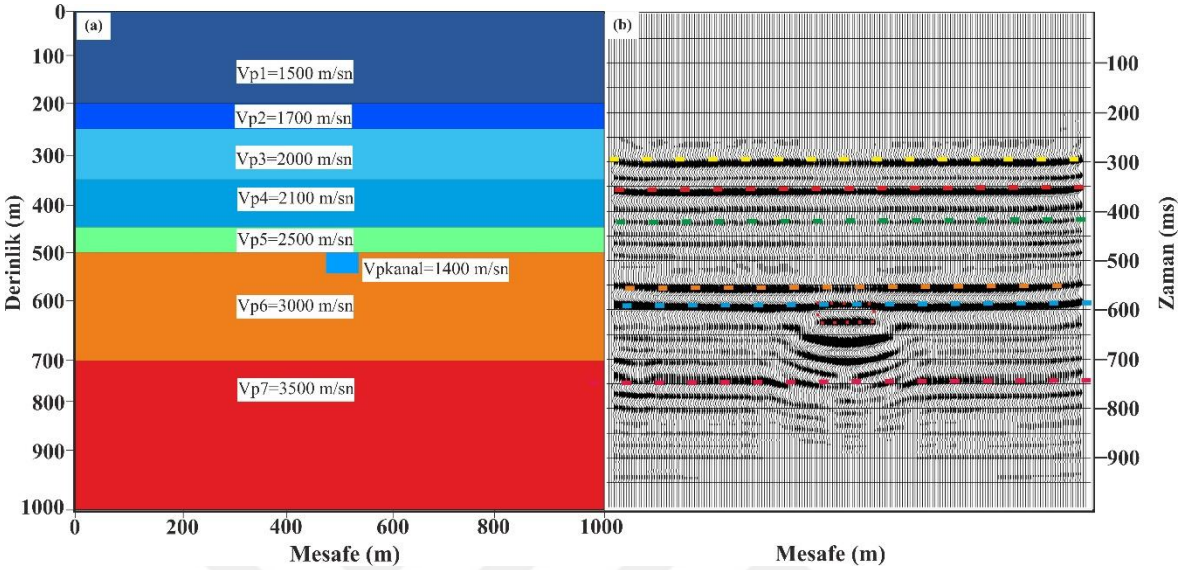
Şekil 63. Kanal kapan modeli için yığma kesit



Şekil 64. Kanal kapan modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman migrasyon kesiti

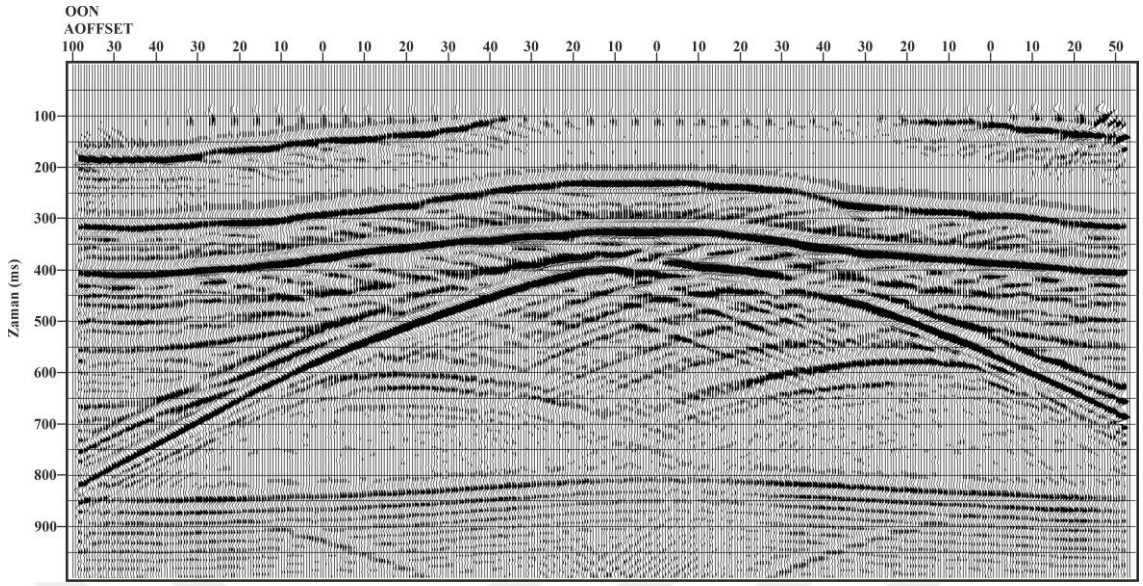
Kanal kapan derinlik hız modeli Şekil 65a ile Şekil 65b'deki yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırıldığında, genel olarak iyi bir benzerlikte olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, açık olarak Şekil 65b'deki göç kesitinde, yansıtıcılar sürekli olup tabaka arayüzeylerinin ve kanal yapısının konumu tam olarak

belirlenebilmiştir. Kapan yapısının sivri köşelerinden kaynaklanan saçılmalar yığma sonrası Kirchhoff zaman göç işlemi ile iyi derecede giderilmiştir.



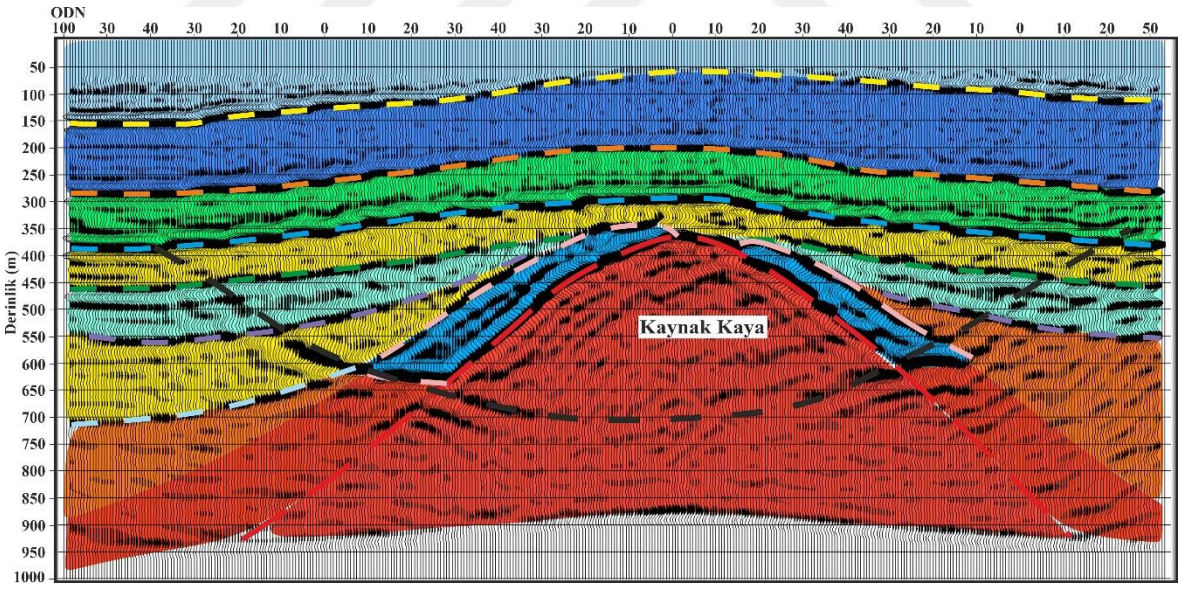
Şekil 65. (a) Kanal kapan derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması

Granit Wash Modeli için verideki NKZ'den kaynaklı olan gerilme alanlarını uzaklaştırmak için %60 oranında NKZ üstten kesme işlemi uygulanmış ve yığma kesiti elde edilmiştir (Şekil 66). Şekil 66'daki yığma kesitine, her bir 10 OON'de elde edilen KOK hız foksiyonlarının birleştirilmesi ile oluşturulan hız alanı kullanılarak Kirchhoff zaman göçü uygulanmıştır ve aynı hız bilgisi kullanılarak zaman ekseni derinliğe dönüştürülmüş kesit Şekil 67'de sunulmuştur. Bu kesit üzerindeki kesikli çizgiler yansıma seviyelerini ifade etmektedir.



Şekil 66. Granit Wash modeli için yığma kesit

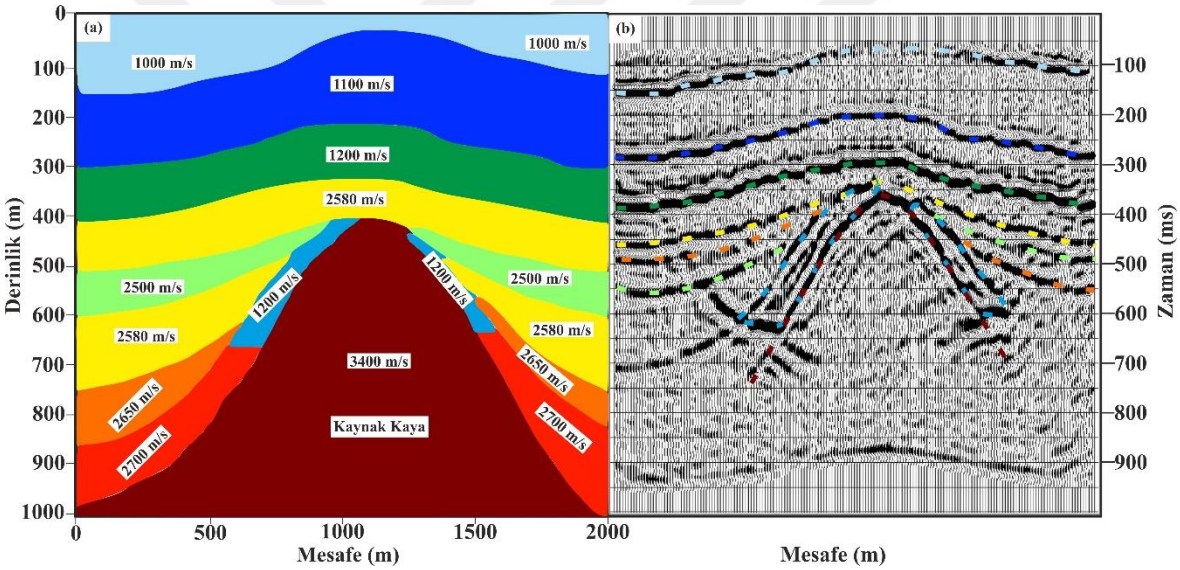
Migrasyon kesiti üzerinde yansıma seviyeleri belirlenerek kesikli çizgilerle gösterilmiştir (Şekil 67).



Şekil 67. Granit Wash modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti

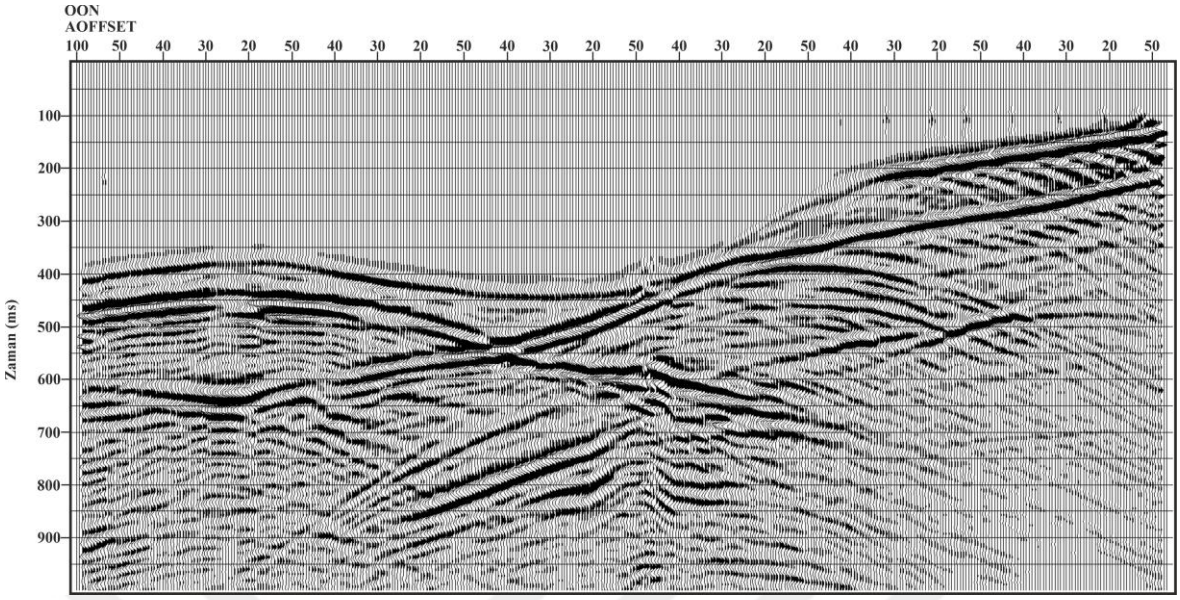
Şekil 68a'daki Granit wash kapan derinlik hız modeli ile Şekil 68b'deki yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırıldığında, genel olarak iyi bir benzerlikte olduğu görülmektedir. Ayrıca, üst yansıtıcılar 150-400 m derinlik arasında devamlı olup,

450 m ile 1000 m derinlikteki granit wash yapısı ve 450-650 m derinliğindeki granit wash yapısının sol ve sağ yanındaki kapan yapılarının yerleri tanımlanabilmiştir. Dolayısıyla hidrokarbon kapanı içeren başlangıç jeolojik yer modeli ile yorumlanmış kesit çok iyi bir benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, granitin tepe noktasına doğru birimlerin incelmesi bu bölgelerde düşey ve yanal ayrımlılık problemine neden olmaktadır. Öte yandan, kesitin alt kısmındaki dışbükey hiperbolik şekilli olay (siyah kesikli çizgi), kesitin yorumlamasında olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır. Bu durum migrasyon sürecinde kullanılan hızlarla ilgili olup aşırı göç hatası (yüksek hız durumu) olarak değerlendirilmektedir. Ancak kapan yapısının sınırlarının geometrik olarak belirlenebilmesi, kullanılan veri işlem parametrelerinin uygunluğunu ve uygulamalarının başarısını göstermiştir.



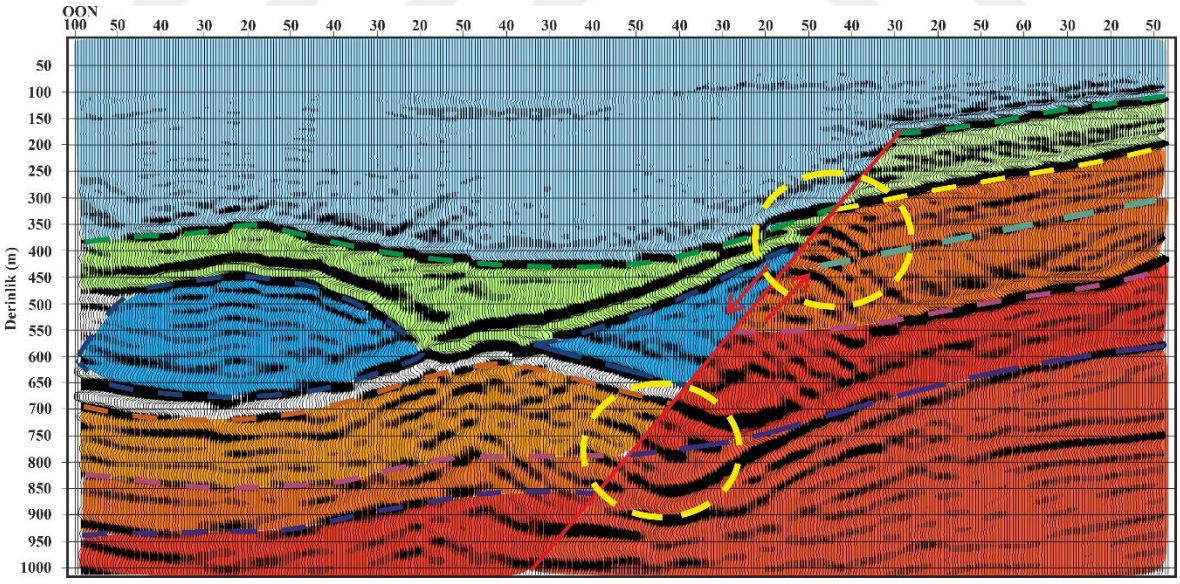
Şekil 68. (a) Granite wash derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması

Şekil (69)'da verilen normal fay kapanı modelinin yığma verisine, yığma sonrası Kirchhoff zaman göç yöntemi uygulanmıştır. Ardından göç kesitindeki ana yansıma seviyelerini kıyaslamak için kesitin zaman ekseni derinliğe dönüştürülmüştür (Şekil 70). Görüntüleme amaçları için, veri kayıt süresinin dörtte biri (1/4) kadar seçilen pencere uzunluğu ile OKK (otomatik kazanç kontrolü) uygulanmıştır.



Şekil 69. Normal fay kapanı modeli için yığma kesit

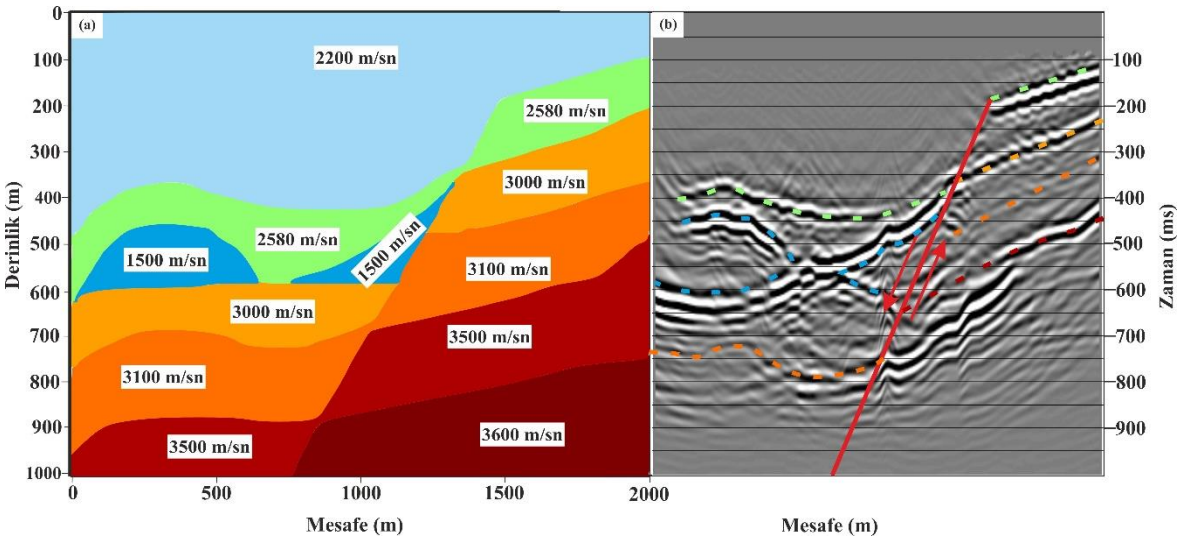
Doğru hız bilgisi ve uygun teknikle göç işlemi uygulandığında kesitteki eğimli yansımalar gerçek konumlarına taşınmaktadır ve saçınma enerjisi yok edilmektedir. Göç kesiti üzerindeki yansıma sınırları belirlenerek kesikli çizgilerle gösterilmiştir (Şekil 70).



Şekil 70. Normal fay kapanı modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti

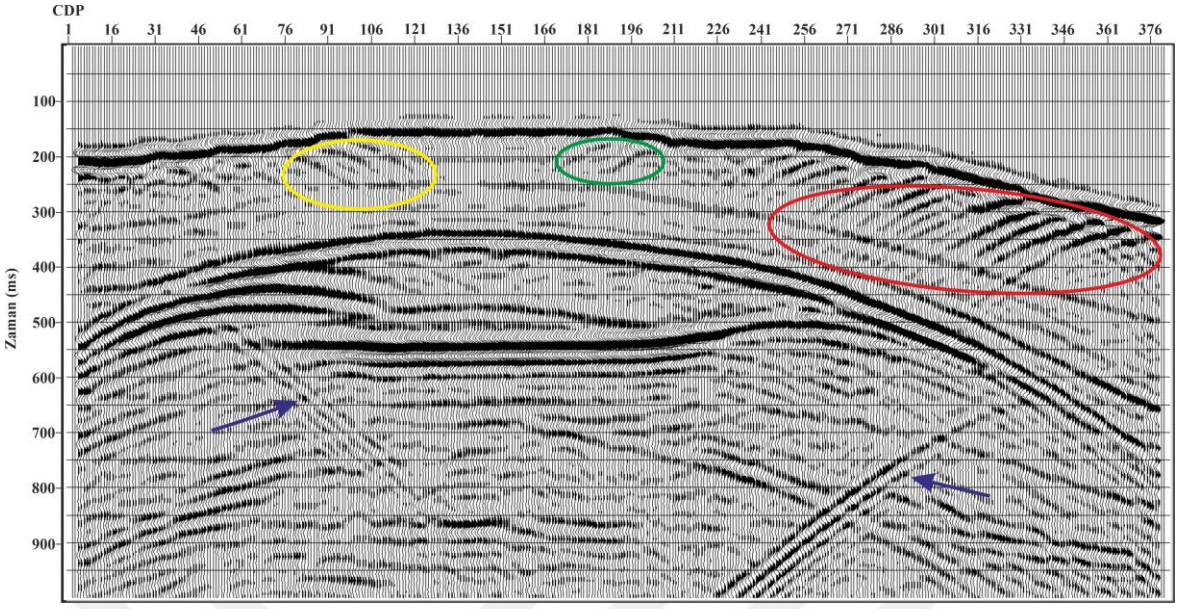
Normal fay kapanı derinlik hız modeli Şekil 71a ile Şekil 71b'deki yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırıldığında, göç kesiti ile başlangıç yer modelinin

benzer olduğu görülmektedir. Tabaka sınırları ve kapan yapıları belirlenebilmiştir. Bununla birlikte, normal fay kapanı modeli daha fazla saçılma oluşturması ile ilişkili olarak fay yüzeyi boyunca göç etkileri gözlemlenmiştir. Ayrıca, fay nedeniyle yansımaların süreklilikleri kesintiye uğramıştır. Özellikle fayın alt bloğundaki kapanların altındaki yansımaların genlikleri zayıflamıştır. Üst bloktan gelen yansıma devamlılığı önemli derecede kesintiye uğramıştır. Yansıtıcı derinliği arttıkça bu etkinin arttığı da tespit edilmiştir.

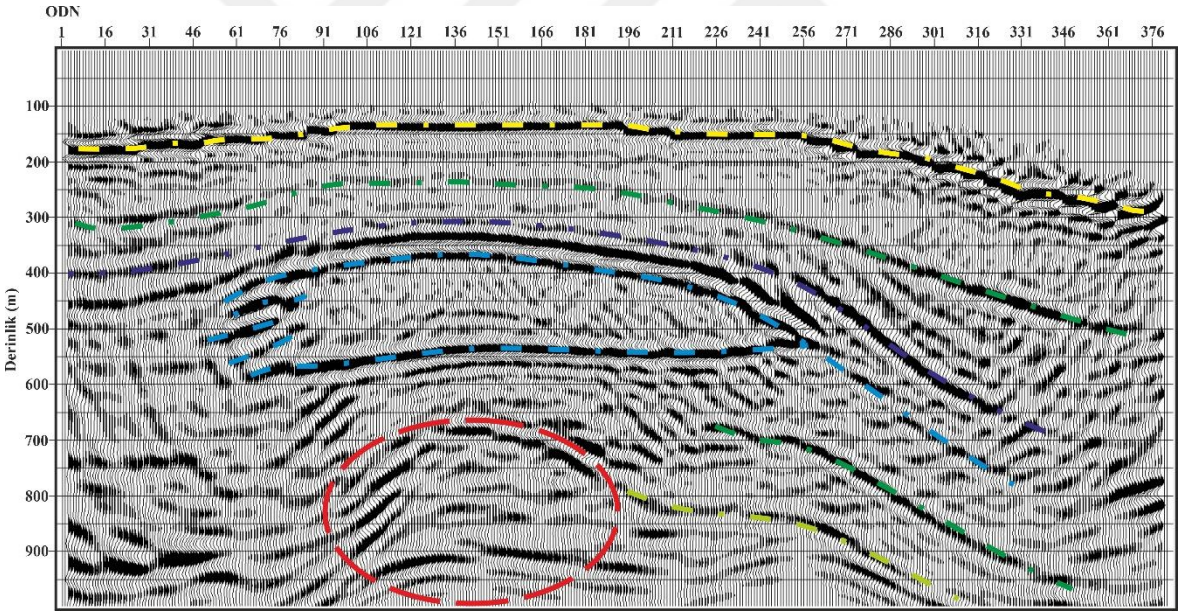


Şekil 71. (a) Normal fay kapanı derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması

Biyoherm modeli için, veriden Normal Kayma Zamanı'ndan (NKZ) kaynaklı olan gerilme alanlarını uzaklaştırmak için %60 oranında NKZ üstten kesme işlemi uygulanmış ve yığma kesiti elde edilmiştir (Şekil 72). Ardından yığma verisine yığma sonrası Kirchhoff zaman göçü uygulanmıştır. Yığma sonrası Kirchhoff zaman göç yöntemi uygulandıktan sonra f-k eğim süzgeci uygulanarak, Şekil 72 üzerinde gösterilen saçılmalar (mor renkli oklar ve sarı, yeşil, kırmızı renkli elipsler) ortadan kaldırılmıştır (Şekil 73). Ardından ana yansıma seviyelerini karşılaştırmak için göç kesitin zaman ekseni KOK hızları kullanılarak derinliğe dönüştürülmüştür (Şekil 73). Görüntüleme amaçları için, veri kayıt süresinin dörtte biri (1/4) kadar seçilen pencere uzunluğu ile OKK (otomatik kazanç kontrolü) uygulanmıştır.

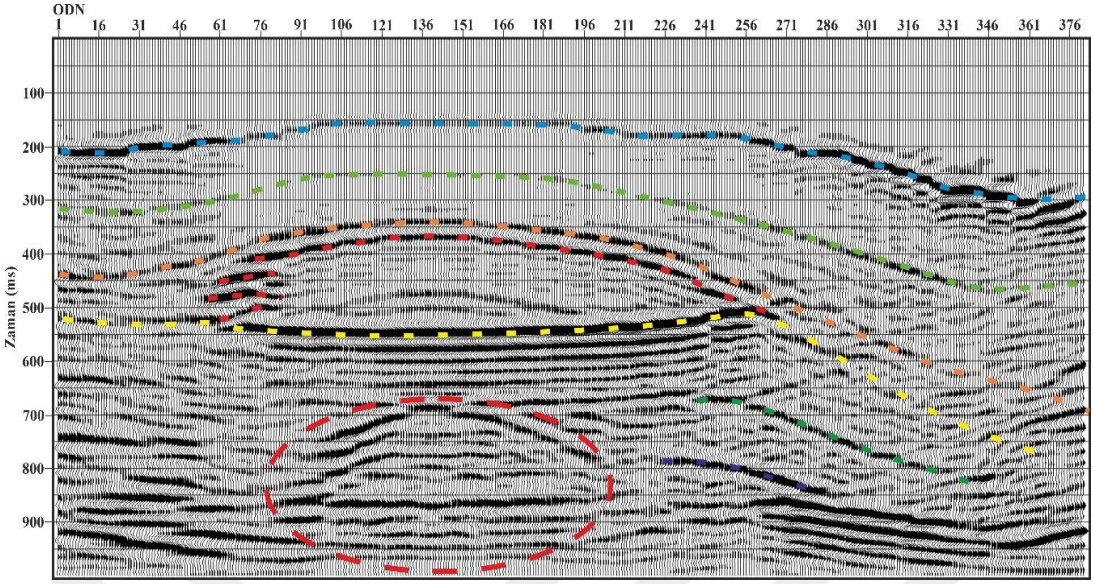


Şekil 72. Biyoherm modeli için yığma kesit



Şekil 73. Biyoherm kapan modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti

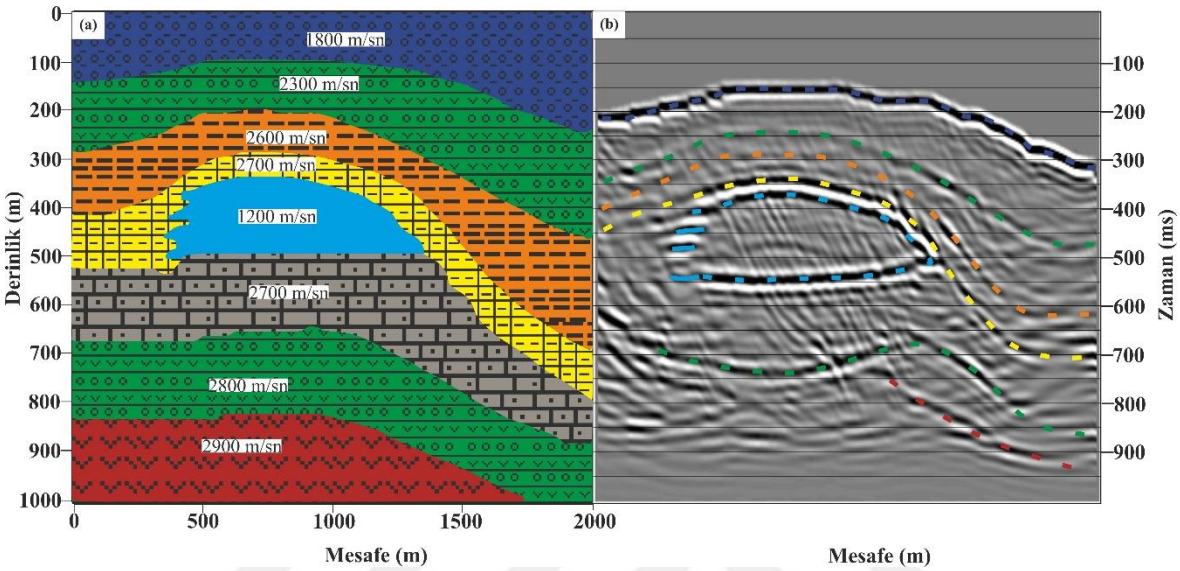
Bununla birlikte, karmaşık jeolojik yapıya sahip olan biyoherm kapan modeline, yığma öncesi Kirchhoff zaman göç yöntemi uygulanmış ve yığma öncesi Kirchhoff zaman göç kesiti elde edilmiştir (Şekil 74).



Şekil 74. Biyoherm kapan modeli için yığma öncesi Kirchhoff zaman göçü uygulanmış göç kesiti

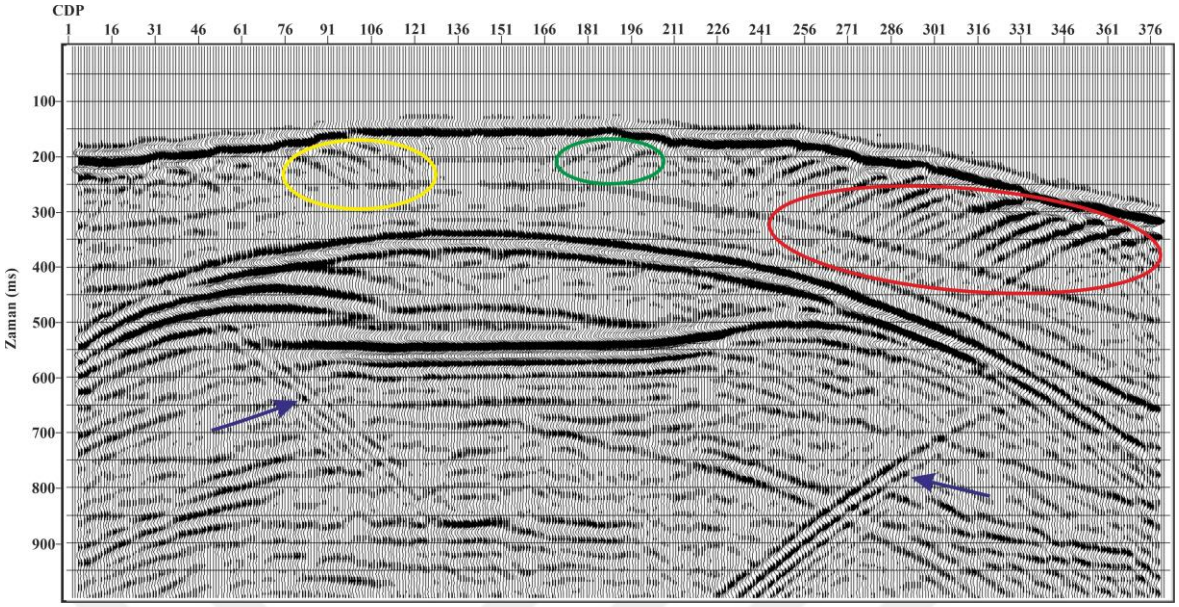
Şekil 75a'daki biyoherm kapanı derinlik-hız modeli ile Şekil 75b'deki yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırıldığında, genel olarak iyi bir benzerlikte olduğu görülmektedir. Başlangıç biyoherm modelindeki kapan yapısının ve tabakalı yapının yaklaşık olarak gerçek uzaysal konumları, Şekil 73'teki yığma sonrası derinliğe dönüştürülmüş ve Şekil 74'teki yığma öncesi Kirchhoff zaman göç kesitleri üzerinde belirlenebilmiştir. Derinlik dönüşümü yapılmış göç kesitinde 175 m, 290 m ve 410 m derinliklerindeki tabakaların yansıtıcı ara yüzeyleri sürekli bir şekilde görüntülenmiştir. Ayrıca 410 m ve 550 m'ler arasındaki mercek biçimli biyoherm yapısı da net bir şekilde tanımlanmıştır. Yığma öncesi Kirchhoff zaman göç kesitinde de 200, 310, 450, 510 ve 610 ms'lerdeki yanal yöndeki yansımalar tabaka ara yüzeylerini temsil etmektedir. Bununla birlikte, biyoherm ve biyohermi çevreleyen tortulların sismik hızları arasındaki farklılık nedeniyle, biyoherm mercek etkisi yaparak, kendisinin altında simetrik görüntüsünün (kırmızı kesikli çizgili elips içi) oluşmasına neden olmuştur (Şekil 73 ve Şekil 74). Ayrıca, biyoherm ve etrafındaki kayaçların sismik hızlarının farklılıkları nedeniyle, biyoherm kenarlarındaki yansıma karakteri değişmekte ve bu bölgelerde meydana gelen yansımalarla, sismik kesitteki biyoherm sınırları kolay bir şekilde saptanabilmiştir. Gaz birikimi içermesi nedeniyle biyoherm kapanının sınırlarında yüksek genlikli yansıma gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, gaz içeren tortullar ile çevresindeki ortam arasında bulunan büyük hız farkıdır. Ayrıca, gaz birikimin altındaki yansımalarda ise bozulmalar

(difüzyon) meydana gelmiştir. Gaz birikimin olduğu bölgede yansımalarda soğurulma ve bozulma ortaya çıkmıştır (Şekil 73 ve Şekil 74). Biyoherm kapanı altında 750 ms'de alt yüzeyde (koyu yeşil kesikli çizgi) hız sarkması (velocity sag, velocity push-down) meydana gelmiştir (Şekil 75b).

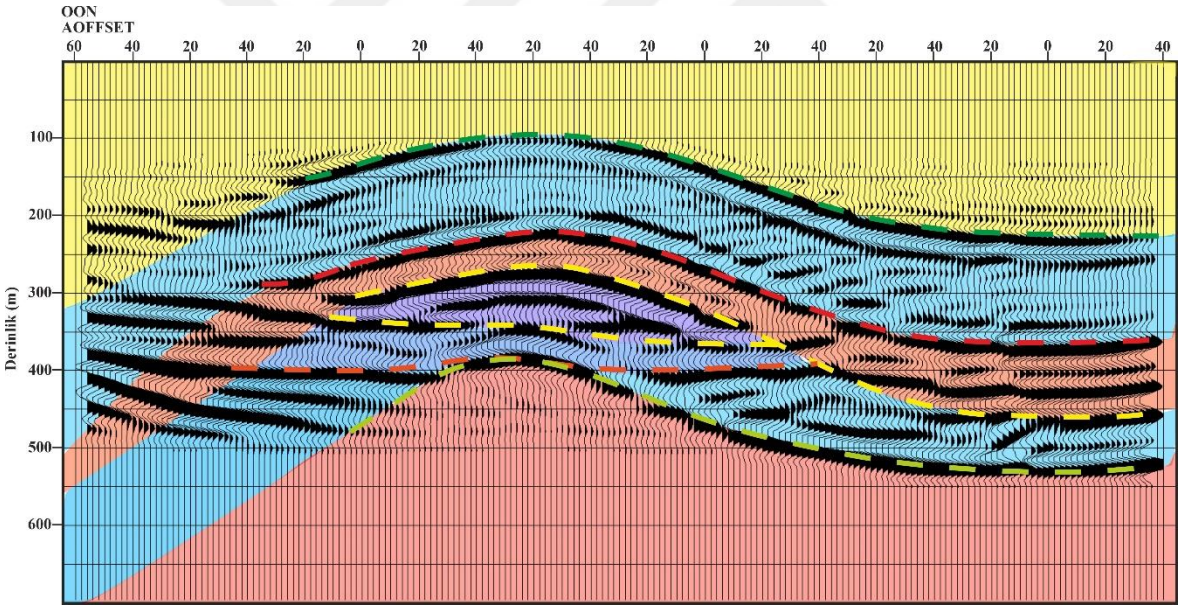


Şekil 75. (a) Biyoherm kapanı derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması

Antiklinal modeli için, veriden NKZ'den kaynaklı olan gerilme alanlarını uzaklaştırmak için %60 oranında NKZ üstten kesme işlemi yapılmıştır. Şekil 76'da yığma kesiti elde edilmiştir. Yığma verisine yığma sonrası Kirchhoff zaman göç yöntemi uygulanmıştır. Ardından ana yansıma seviyelerini kıyaslamak için göç kesitin zaman ekseni KOK hızları kullanılarak derinliğe dönüştürülmüştür (Şekil 77). Görüntüleme amaçları için, veri kayıt süresinin dörtte biri (1/4) kadar seçilen pencere uzunluğu ile OKK (otomatik kazanç kontrolü) uygulanmıştır.



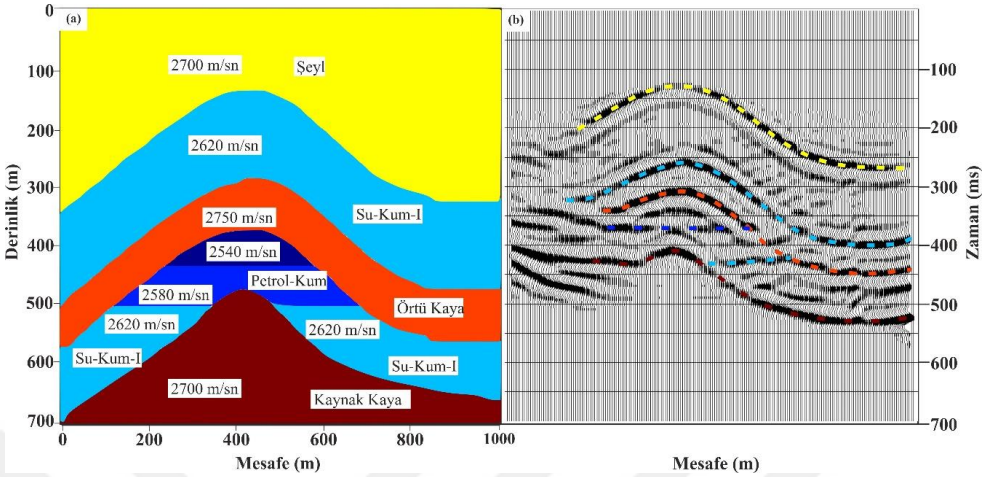
Şekil 76. Antiklinal modeli için yığma kesit



Şekil 77. Antiklinal modeli için derinlik dönüşümü yapılmış yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti

Şekil 78a'daki antiklinal kapan derinlik hız modeli ile Şekil 78b'deki yığma sonrası Kirchhoff zaman göçü kesiti karşılaştırıldığında, yansımaların yansıtıcı arayüzeylerle iyi bir şekilde ilişkilendirilebileceği görülmektedir. Yansıma sürekliliğinin göç kesitinin büyük çoğunluğunda kesintiye uğramadan sağlandığı gözlemlenmiştir. 300-350 ms aralığındaki gazlı-kum kapanı ve 350-380 ms aralığındaki petrollü-kum kapanı

belirlenebilmiştir. Kapan yapılarının tabaka kalınlıkları ince olmasına rağmen düşey ayrımlılık iyi bir şekilde sağlanmıştır.



Şekil 78. (a) Antiklinal kapanı derinlik hız modeli ile (b) yığma sonrası Kirchhoff zaman göç kesiti karşılaştırması

4. SONUÇLAR

Karmaşık jeolojik ortamlarda gelişen hidrokarbon kapanlarının atış ortamındaki sismik yansıma tepkileri, tam dalga alanı çözümünü sağlayan SFY ile hesaplanmıştır. En doğru ve güvenilir atış verilerini elde etmek için kaynak dalgacık frekans değeri ve fazı, grid aralığı ve atış aralığı değerleri için testler yapılmıştır. Elde edilen atış verilerini işlemek için, en uygun veri işlem akışlarını ve parametrelerini belirlemek üzere çalışılmıştır.

Modelleme çalışmalarına göre doğru ve güvenilir atış kayıt parametre değerleri, i) minimum fazlı Ricker kaynak dalgacık frekans değeri için f=30 Hz kullanılarak elde edilen atış verilerinde, kapan yapıları ve tabaka ara yüzeylerinin düşey ve yanal ayrımlılıkları iyi derece ayrımlanmış olup, istenmeyen işlem gürültüleri (doğrusal olaylar ve kenar yansımaları) ise makul seviyede oluşmuştur. ii) grid dispersiyonunu önlemek için en uygun uzaysal grid boyutu 10 m olarak belirlenmiştir. iii) kanal yapısı ve granit wash yapısındaki daha ince ve kısa uzanımlı yapıların, mercek biçimli biyoherm yapılarının araştırılmasında daha fazla yansıma kaydı elde etmek için daha sık aralıklı atışlar yapılmıştır. Buna karşılık, kıvrımlı yapıya sahip olan antiklinal yapılarının ve saçılma oluşturma potansiyeli yüksek olan faylarla ilişkili kapanların belirlenmesinde ise, süreksizliklerden kaynaklı saçılmayı azaltılmak için daha az sayıda atış yapılmıştır. Bu şekildeki veri elde etmenin, veri işlem uygulamalarının başarısını artıracağı ve göç kesitlerinin görüntü kalitesinin iyileştirilmesinde de daha faydalı olacağı belirlenmiştir.

Atış verilerinin veri işlem uygulamaları sonucuda hidrokarbon rezervuar içeren modellerde, yüksek hızlı tabakadan düşük hızlı petrol ve doğal gaz içeren tabakaya geçildiğinde hız değişikliğinden dolayı rezervuar sınırlarında yüksek yansıma genliği ve rezervuar içerisinde ise düşük genlik değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, hidrokarbon içeren kapanların altındaki tabakalardan alınan yansımalarda bozulmalar meydana geldiği belirlenmiştir.

Hidrokarbon taşıyan beş kapan modelinin veri işlem uygulamaları ile başlangıç derinlik-hız modelindeki yansıtıcı ara yüzeylerinin, tabakalı yapının ve kapan yapılarının hemen hemen gerçek uzaysal konumları elde edilen göç kesitleri üzerinde belirlenebilmiştir. Dolayısıyla, karmaşık yer altı jeolojik modeller için atış ortamı yapay sismik verilerin hesaplaması ve işlenmesi yorumlama sürecine katkı sağladığı

anlaşılmaktadır. Özellikle, bu modelleme yaklaşımı, yorumlayıcının yer altı jeolojik modelinin tahminlerini yaptığı ve elde edilen yapay sismik verileri arazide kaydedilen sismik verilerle karşılaştırdığında son derece önemli olacaktır. Böylece, özellikle hidrokarbon arama amaçlı bir arazi çalışması öncesi, yığma sonrası (sıfır uzaklık) yerine yığma öncesi atış verisi modellemesinin, veri işlem aşamalarının geliştirilmesinde, sismik kesit yorumlarının gerçek jeolojik yapı ile olan tutarlılığını artıracağı ve böylece yapılan yorumun da test edilmesine olumlu katkılar sağlayacağı anlaşılmıştır. Bu tez çalışmasının farklı türdeki hidrokarbon kapanlarından elde edilen gerçek arazi verisi ile yapılacak olan karşılaştırmalı bir modelleme çalışmasına hem parametre seçimi hemde veri işlem yaklaşımları açısından önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

Ahmadi, O., Juhlin, C., Malehmir, A. ve Munck, M., 2013. High-Resolution 2D Seismic Imaging and Forward Modeling of a Polymetallic Sulfide Deposit at Garpenberg, Central Sweden Seismic Imaging at Garpenberg, Geophysics, 78, 6, B339-B350.

Ahmadi, O., Koyi, H., Juhlin, C. ve Gessner, K., 2016. Seismic Signatures of Complex Geological Structures in the Cue-Weld Range Area, Murchison Domain, Yilgarn Craton, Western Australia, Tectonophysics, 689, 56-66.

Akkaya, İ., 2011. Melez (Hibrid) Yöntemle Elastik Dalga Denkleminin İki-Boyutta Modellenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Aksu, A. E., Hiscott, R. N. ve Yaşar, D., 1999. Oscillating Quaternary Water Levels of the Marmara Sea and Vigorous Outflow into the Aegean Sea from the Marmara Sea–Black Sea Drainage Corridor, Marine Geology, 153, 1-4, 275-302.

Aksu, A. E., Hiscott, R. N., Kostylev, V. E. ve Yaltırak, C., 2018. Organized Patches of Bioherm Growth Where the Strait of Dardanelles Enters the Marmara Sea, Turkey, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 490, 325-346.

Alford, R. M., Kelly, K. R. ve Boore, D. M., 1974. Accuracy of Finite-Difference Modeling of the Acoustic Wave Equation, Geophysics, 39, 6, 834-842.

Alterman, Z. ve Karal, F. C., 1968. Propagation of Elastic Waves in Layered Media by Finite Difference Methods, Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1, 367-398.

Aydın, A., 1997. Gravite Verilerinin Normalize Edilmiş Tamgradyan, Varyasyon ve İstatistik Yöntemleri ile Hidrokarbon Açısından Değerlendirilmesi, Model Çalışmalar ve Hasankale-Horasan (Erzurum) Havzasına Uygulanması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Biddle, K.T. ve Wielchowsky C.C., 1994. The Petroleum System from Source Trap, American Association of Petroleum Geologists, 60, 217-234.

Bohlen, T., 2002. Parallel 3-D Viscoelastic Finite Difference Seismic Modelling, Computers & Geosciences, 28, 8, 887-899.

Boğazkesen, Ş. ve Karslı, H., 2022. Modeling of the Complex Hydrocarbon Traps by the Shot Domain Acoustic Finite Difference Method and Data-Processing, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 168, 168, 93-109.

Boore, D. M., 1970. Finite Difference Solutions to the Equations of Elastic Wave-Propagation, with Application to Love Waves over Dipping İnterfaces, PHD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Bording, R. P. ve Lines, L. R., 1997. Seismic Modeling and Imaging with the Complete Wave Equation, Society of Exploration Geophysicists, https://doi.org/10.1190/1.9781560801870.

Burschil, T., Beilecke, T. ve Krawczyk, C. M., 2015. Finite-Difference Modelling to Evaluate Seismic P-Wave and Shear-Wave Field Data, Solid Earth, 6, 1, 33-47.

Carcione, J. M., Herman, G. C. ve Ten K., 2002. Seismic Modeling, Geophysics, 67, 4, 1304-1325.

Cerjan, C., Kosloff, D., Kosloff, R. ve Reshef, M., 1985. A Nonreflecting Boundary Condition for Discrete Acoustic and Elastic Wave Equations, Geophysics, 50, 4, 705-708.

Chen Z., 2008. Changxing Formation Biohermal Gas Pools and Natural Gas Exploration, Sichuan Basin, China, Petroleum Exploration And Development, 35, 2, 148-163.

Cho, D., Hogan C. ve Margrave G. F., 2007. Acoustic Finite Difference Parameter Analysis and Modelling in Matlab, Annual Research Report of the Crewes Research Project, 19.

Clayton, R. ve Engquist, B., 1977. Absorbing Boundary Conditions for Acoustic and Elastic Wave Equations, Bulletin of the Seismological Society of America, 67, 6, 1529-1540.

Cleveland, C. J. ve Morris, C. G., 2013. Handbook of Energy: Diagrams, Charts, and Tables, Vol. 1, Newnes.

Cohen, G., https://www.hebrewenergy.com/hydrocarbon-formation-formation-of-hydrocarbon/ 12 Aralık 2022

Cumings, E. R. ve Shrock, R. R., 1928. Niagaran Coral Reefs of Indiana and Adjacent States and Their Stratigraphic Relations, Bulletin of the Geological Society of America, 39, 2, 579-620.

Çifçi, G., Pamukçu, O., Çoruh, C., Çopur, S. ve Sözbilir, H., 2011. Shallow and Deep Structure of a Supradetachment Basin Based on Geological, Conventional Deep Seismic Reflection Sections and Gravity Data in the Büyük Menderes Graben, Western Anatolia, Surveys in Geophysics, 32, 271-290.

Dondurur, D., 2018. Deniz Sismiğinde Veri İşlem, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, No. 11, Korza Basım, Ankara, 294 s.

Dow, W. G., 1972. Application of Oil Correlation and Source-Rock Data to Exploration in Williston Basin. AAPG Bulletin, 56, 3, 615-615.

Dow, W. G., 1974. Application of Oil Correlation and Source-Rock Data to Exploration in Williston Basin. AAPG Bulletin, 58, 7, 1253-1262.

Earle, S., 2015. Physical Geology, Second Edition, BCcampus Victoria, Canada, ISBN: 978-1-989623-70-1, 732 s.

El-Nikhely, A., El-Gendy, N. H., Bakr, A. M., Zawra, M. S., Ondrak, R. ve Barakat, M. K., 2022. Decoding of Seismic Data for Complex Stratigraphic Traps Revealing by Seismic Attributes Analogy in Yidma/Alamein Concession Area Western Desert, Egypt, Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 12, 12, 3325-3338.

Emerman, S. H., Schmidt, W. ve Stephen, R. A., 1982. An Implicit Finite-Difference Formulation of the Elastic Wave Equation, Geophysics, 47, 11, 1521-1526.

Francese, R. G., Hajnal, Z. ve Prugger, A., 2002. High-Resolution Images of Shallow Aquifers-A Challenge in Near-Surface Seismology, Geophysics, 67, 1, 177-187.

Frankel, A. ve Vidale, J., 1992. A Three-Dimensional Simulation of Seismic Waves in the Santa Clara Valley, California, From a Loma Prieta Aftershock, Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 5, 2045-2074.

Geiger, H. D. ve Daley, P. F., 2003. Finite Difference Modelling of the Full Acoustic Wave Equation in Matlab, Acoustic Finite Difference Modeling, CREWES Research Report, 15, 1-9.

Higdon, R. L.,1991. Absorbing Boundary Conditions for Elastic Waves, Geophysics, 56, 2, 231-241.

Holberg, O.,1987. Computational Aspects of the Choice of Operator and Sampling Interval For Numerical Differentiation in Large-Scale Simulation of Wave Phenomena, Geophysical Prospecting, 35, 6, 629-655.

Hyne, N. J., 1984. Oil and Gas Field Classifier, Second Edition, PennWell Publishing Company.

Yang, J., Liu, T., Tang, G. ve Hu, T., 2009. Modeling Seismic Wave Propagation within Complex Structures, Applied Geophysics, 6, 1, 30.

Kearey, P., Brooks, M. ve Hill, I., 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, Blackwell Scientific Publications, No. 3, pp 281.

Kelly, K. R., Ward, R. W., Treitel, S. ve Alford, R. M., 1976. Synthetic Seismograms: A Finite Difference Approach, Geophysics, 41,1, 2-27.

Krebes, E. S. ve Lee, L. H. T., 1994. Inhomogeneous Plane Waves and Cylindrical Waves in Anisotropic Anelastic Media, Journal of Geophysical Research, 99, 23, 899-919.

Kuteynikova, M., Tisato, N., Janicke, R. ve Quintal, B., 2014. Numerical Modeling and Laboratory Measurements of Seismic Attenuation in Partially Saturated Rock, Geophysics, 79, 2, L13-L20.

Levander, A. R., 1988. Fourth-Order Finite-Difference P-SV Seismograms, Geophysics, 53, 11, 1425-1436.

Levander, A. R., 1989. Finite Difference Forward Modeling in Seismology, Geophysics, 40, 410-431.

Li, Z., Qiao, Z. ve Tang, T., 2017. Numerical Solution of Differential Equations: Introduction to Finite Difference and Finite Element Methods, Cambridge University Press.

Liao, Q. ve McMechan, G. A., 1996. Multifrequency Viscoacoustic Modelling and Inversion, Geophysics, 61, 5, 1371-1378.

Lines, L. R., Slawinski, R. ve Bording, R. P., 1999. A Recipe for Stability of Finite-Difference Wave equation Computations, Geophysics, 64, 3, 967-969.

Liu, Y., Sen, M. K. ve Jackson, K., 2009. Advanced Finite-Difference Methods for Seismic Modeling, Geohorizons, 14, 2, 5-16.

Madariaga, R., 1974. Seismic Radiation From Dynamic Frictional Faulting Models, (abstract), 56, 1147.

Madariaga, R., 1976. Dynamics of an Expanding Circular Fault, Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 3, 639-666.

Magoon, L. B. ve Dow, W. G., 1994. The Petroleum System: Chapter 1: Part I. Introduction.

Manning P. M. ve Margrave G. F., 1998. Elastic Wave Finite Difference Modelling as a Practical Exploration Tool, Crewes Research Report 10, 18-1.

Marfurt K. J., 1984. Accuracy of Finite-Difference and Finite Element Modeling of the Scalar and Elastic Wave Equations, Geophysics, 49, 5, 533-549.

Margrave G. F., 2000. New Seismic Modelling Facilities in Matlab, Crewes Research Report 12, 1-45.

Margrave G. F., 2003. Numerical Methods of Exploration Seismology with Algorithms in Matlab, Department of Geology and Geophysics, The University of Calgary.

Marshall, J. F. ve Davies, P. J., 1988. Halimeda Bioherms of the Northern Great Barrier Reef, Coral Reefs, 6, 139-148.

Mavko, G., Mukerji, T. ve Dvorkin, J., 1998. The Rock Physics Handbook, Standford Rock Physics Laboratory.

Moczo, P., Kristek, J. ve Halada, L., 2004. The Finite Difference Method for Seismologists, An Introduction, 161.

Moczo, P., Robertsson, O. J. A. ve Eisner, L., 2007. The Finite Difference Time-Domain Method for Modeling of Seismic Wave Propagation, Advances in Geophysics 48, 421-516.

Mohebian, R., Riahi, M. A. ve Yousefi, O., 2018. Detection of Channel by Seismic Texture Analysis Using Grey Level Co-Occurrence Matrix Based Attributes, Journal of Geophysics and Engineering, 15, 5, 1953-1962.

Mufti, I. R., 1985. Seismic Modeling in the Implicit Mode, Geophysicsal Prospecting, 33, 5, 619-656.

Nejati, M. ve Hashemi, H., 2012. Migrated Exploding Reflectors in Evaluation of Finite Difference Solution for Inhomogeneous Seismic Models, Engineering, 4, 950-957.

Oprsal I. ve Zahradnik J., 1999. Elastic Finite Difference Method for Irregular Grids, Geophysics, 64, 1, 240-250.

Quintal, B., 2012. Frequency Dependent Attenuation as a Potential Indicator of Oil Saturation, Journal of Applied Geophysics, 82, 119-128.

Qi, R., Xiayan T., Changhai X., Lianjin Z., Tianjun H., Shumin L., Kongyun D. ve Baiyu P., 2021. Fine Description of Ramp-Type Small Bioherms and Breakthrough of "Two Bioherms in One Well" in High-Yield Gas Wells: A Case Study of the Changxing Formation Small Bioherm Group in the Eastern Sichuan Basin, Natural Gas Industry-B, 8, 4, 384-392.

Phadke, S. ve Bhardwaj, D., 1998. Parallel Implementation of Seismic Modelling Algorithms on PARAM Openframe, Neural, Parallel and Scientific Computation, 6, 469-478.

Phadke, S., Bhardwaj, D. ve Yerneni, S., 2000. Marine Synthetic Seismograms Using Elastic Wave Equation, Expanded Abstracts, Society of Exploration Geophysicists.

Railsback, L. B., http://railsback.org/PGSG/PGSGmain.html, 15 Aralık 2022.

Reynolds, A. C., 1978. Boundary Conditions for the Numerical Solution of Propagation Problems, Geophysics, 43, 6, 1099-1110.

Riding, R., 2002. Structure and Composition of Organic Reefs and Carbonate Mud Mounds: Concepts And Categories, Earth Science Reviews, 58, 1-2, 163-231.

Riva, J. P., 2015. Accumulation in Reservoir Beds, Encyclopaedia Britannica.

Robertsson, J. O., Blanch, J. O. ve Symes, W. W., 1994. Viscoelastic Finite-Difference Modeling, Geophysics, 59, 9, 1444-1456.

Robertsson, J. O., Levander, A. ve Holliger, K., 1996. A Hybrid Wave Propagation Simulation Technique or Ocean Acoustic Problems, Journal Geophysical Research: Solid Earth, 101, B5, 11225-11241.

Sattler, U., Zampetti, V., Schlager, W. ve Immenhauser, A., 2004. Late Leaching Under Deep Burial Conditions: A Case Study from the Miocene Zhujiang Carbonate Reservoir, South China Sea, Marine And Petroleum Geology, 21, 8, 977-992.

Sefünç, A., 2017. Petrol Aramacılığında Sismik Yoruma Giriş, Petrol Jeofizikçileri Derneği Eğitim Yayınları, No.1, 374 s.

Shuxin, P., Huaqing, L., Carlos, Z., Caiyan, L., Sujuan, L., Qingshi, Z. ve Zhongfeng, B., 2017. Sublacustrine Hyperpycnal Channel-Fan System in a Large Depression Basin: A Case Study of Nen 1 Member, Cretaceous Nenjiang Formation in the Songliao Basin, NE China, Petroleum Exploration and Development, 44, 6, 911-922.

Smil, V., 2008. Oil, Oneworld Publications, Oxford, England, 217 s.

Sproule, J. C., 1956. Granite Wash of Northern Alberta, Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 4, 9, 197-203.

Sosnin, N. E., Filipyeva, S. S., Makarova, S. V., Korepanova, L. Y. ve Vilyuzheva, I. A., 2021. Expected Development of Non-Anticlinal Hydrocarbon Traps in the Upper Devonian-Tournaisian Carbonate Deposits Within the Northern Regions of the Volga-Ural Oil and Gas Province, Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 21, 4, 156-162.

Sudarmaji, A., Sismanto S., Waluyo U. ve Soedijono B., 2016. Numerical Modeling of 2D Seismic Wave Propagation in Fluid Saturated Porous Media Using Graphics Processing Unit (GPU): Study Case of Realistic Simple Structural Hydrocarbon Trap, In AIP Conference Proceedings, 1755, 1.

Talukdar, K. ve Behere, L., 2018. Sub-Basalt Imaging of Hydrocarbon-Bearing Mesozoic Sediments Using Ray-Trace Inversion of First-Arrival Seismic Data and Elastic Finite-Difference Full-Wave Modeling Along Sinor-Valod Profile of Deccan Syneclise, India, Pure and Applied Geophysics, 175, 2931-2954.

Tissot, B. P. ve Welte, D. H., 1984. From Kerogen to Petroleum, In Petroleum Formation and Occurrence (pp. 160-198), Springer, Berlin, Heidelberg.

Veeken P. C. H. ve Moerkerhen B. V., 2013. Seismic Stratigraphy and Depositional Facies Models, EAGE Publications, Academic Press, The Netherlands.

Vemuri, V. R. ve Karplus W. J., 1981. Digital Computer Treatment of Partial Differential Equations, Numerical Methods in Engineering, 18, 88-92.

Versteeg, R. ve Grau, G., 1991. The Marmousi Experience, Proc. Workshop Practical Aspects of Seismic Data Inversion, Europen Association of Exploration Geophysicist, Zeist, 194 s.

Virieux, J., 1984. SH Wave Propagation in Heterogeneous Media: Velocity-Stress Finite Difference Method, Geophysics, 49, 11, 1933-1942.

Virieux, J., 1986. P-SV Wave Propagation in Heterogeneous Media: Velocity-Stress Finite-Difference Method, Geophysics, 51,4, 889-901.

Wei, Y. ve Xu, J., 2016. Granite Wash-a Liquid-Rich Tight Gas Sand Play, New Future Energy Services.

Yerneni, S., Bhardwaj, D., Chakraborty, S., ve Phadke, S., 2002. Finite Difference Forward Modeling for Complex Geological Models, In SEG Technical Program Expanded Abstracts, Society of Exploration Geophysicists, 1987-1990.

Yilmaz, Ö., 2001. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data, Society of Exploration Geophysicists.

Youzwishen, C. F. ve Margrave, G. F., 1999. Finite Difference Modelling of Acoustic Waves in Matlab, CREWES Research Report 11.

Yu, H. L., Xue, L. Q. ve Yang, F. Z., 2005. Reef Trap and Petroliferous Features of Kais Formation in Island Area, Salawati Basin, Indonesia, China Petroleum Exploration, 19, 3, 409-415.

Yu-guang Y. ve Jin-ren C., 1981. Exploration Practice of Biohermal Gas Pools for Changxing Formation in Jian Nan Gas Field, Petroleum Exploration and Development, 10, 2, 27-33.

Zaitian, M., 1989. Seismic Imaging Technology: The Finite Difference Migration, China Petroleum Industry Press.

URL-1, http://www. tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=97. 25 Nisan 2022.

ÖZGEÇMİŞ

Şerife BOĞAZKESEN, ilk ve orta öğrenimini derece ile tamamladıktan sonra Sivas Kongre Lisesinden (Yabancı Dil Ağırlıklı, YDA) 2003 yılında mezun oldu. 2008 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden 4 adet onur belgesi ile bölüm 1.si olarak mezun oldu. 2011 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek onur belgesi ile yüksek lisans diplomasını aldı. 2012 yılında Gazi Üniversitesi'nde İngilizce dil eğitimini tamamladı. Şerife BOĞAZKESEN, iyi düzeyde ingilizce bilmektedir. 2011 yılından itibaren Atatürk Üniversitesi Oltu Yer Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde akabinde 2013 yılından itibaren Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde akabinde 2020 yılından itibaren Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik A.B.D.'nda araştırma görevlisi olarak görev yaptı/yapmaktadır. 2 adedi TÜBİTAK olmak üzere bugüne kadar 6 adet bilimsel araştırma projesinin ekibinde yer aldı ve hali hazırda aktif olarak görev almaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yayınlanan 1 uluslararası, 1 ulusal hakemli dergilerde olmak üzere 2 makale ve 3 uluslararası bildirinin ortak yazarıdır. Tez çalışması kapsamında yapılan yayın bilgisi aşağıda sunulmuştur.

Dergilerde Yayınlanan Yayınlar

Boğazkesen Ş. ve Karslı H., 2022, Karmaşık Jeolojik Ortamlarda Gelişen Hidrokarbon Kapan Türlerinin Patlayan Yansıtıcı Yöntemi ile Modellenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 21, 1, 53-60, https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1001260.

Boğazkesen Ş. ve Karslı H., 2022, Modeling of the complex hydrocarbon traps by the shot domain acoustic finite difference method and data-processing, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 168, 93-109, https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.985502.

Hakemli Kongre / Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

Boğazkesen Ş., Güney R. ve Karslı H., 2022, Biyoherm Tipi Hidrokarbon Kapanının Sonlu Farklar Yöntemi ile Modellemesi: Sorunlar ve Çözümler, Sivas International Conference on Scientific and Innovation Research, Sivas, Türkiye, 13-15 Ekim 2022, 414-430.

Boğazkesen Ş. ve Karslı H., 2021, Sonlu Farklar Yöntemi ile Bazalt Altı Hidrokarbon Taşıyan Yapıların Modellemesi ve Görüntülenmesi: Sentetik Çalışma. 6th

International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Kocaeli, Türkiye, 13-15 Ekim 2021, 1, 481-491.

Boğazkesen Ş. ve Karslı H., 2019, Karmaşık Jeolojik Ortamlardaki Hidrokarbon Kapanlarının Akustik Sonlu Farklar Yöntemi ile Modellenmesi: Antiklinal Örneği, 6. Uluslararası Deprem Sempozyumu Kocaeli 2019, Kocaeli, Türkiye, 25 - 27 Eylül 2019, 787-793.