

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIĞ GAZ VE GAZ HİDRAT BİRİKİMLERİ
ÜZERİNDE
SİSMİK AVO ANALİZİ

Murat ER

Ağustos, 2012

İZMİR

**SIĞ GAZ VE GAZ HİDRAT BİRİKİMLERİ
ÜZERİNDE
SİSMİK AVO ANALİZİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Bölümü, Deniz Bilimleri Anabilim Dalı**

Murat ER

Ağustos, 2012

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MURAT ER, tarafından DOÇ. DR. DERMAN DONDURUR yönetiminde hazırlanan “SIĞ GAZ VE GAZ HİDRAT BİRİKİMLERİ ÜZERİNDE SİSMİK AVO ANALİZLERİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamive niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Derman DONDURUR

Yönetici



Prof. Dr. Mahmut G. DRAHOR

Juri Üyesi



Prof. Dr. Günay ÇİFÇİ

Juri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez konum üzerinde severek çalışmamı sağlayan, tezin her aşamasında bilgisini ve tecrübesini cömertçe paylaşan, birlikte çalışmaktan onur duyduğum danışman hocam Doç. Dr. Derman Dondurur'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarımı tamamladığım laboratuvarın kurulmasını sağlayan ve elindeki imkanları bize sunmaktan çekinmeyen Prof. Dr. Günay Çifçi'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Beraber çalışmaktan keyif aldığım tüm SeisLab ekibine ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Y.Jeof. Müh. H.Mert Küçük'e, Jeof. Müh. Özkan Özel'e, Jeof. Müh. Orhan Atgın'a ve Arş. Gör. Hakan Sarıtaş'a teşekkür ederim.

Sismik laboratuvarında bulunan sistemlerin kurulmasında emeği geçen ve mütevaziliği ile bizlere örnek olan Erdal Özcan'a teşekkür ederim. Laboratuvarın maddi açıdan kaynağı olan ve çalışmalarımızı yürütmemize imkan sağlayan Devlet Planlama Teşkilatına-DPT'ye 2003K120360 kodlu projeyi gerçekleştirdikleri için teşekkürlerimi borç bilirim. Tez kapsamında kullanılan sismik hatlar için TÜBİTAK (proje no:108Y110) ve Avrupa Birliği ESONET (proje no : 036851) projeleri gerçekleşmesinde emeği geçenlere teşekkür ederim. AVO analizlerinde ve görüntülemelerde kullanılan Hampson Russell programı için CGGVeritas'a ve Kingdom programı için Seismic Micro-Technology'e teşekkür ederim.

Kararlarım daima saygı duyan, sevgisini benden esirgemeyen, her zor anımda yanımda olan ve maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Her zorlukta yanımda olan ve özellikle bu tezin hazırlanması aşamasında desteğini ve anlayışını esirgemeyen Ece Tütüncüoğullarına teşekkürlerimi borç bilirim.

Murat ER

SİĞ GAZ VE GAZ HİDRAT BİRİKİMLERİ ÜZERİNDE SİSMİK AVO ANALİZİ

ÖZ

Genliğin ofsete bağlı değişim analizi (Amplitude versus Offset-AVO) petrol ve doğal gaz rezervlerinin tespitinde ve rezervlerin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. AVO analizleri, sismik kesitlerde gaz birikimlerinin göstergesi olan parlak nokta ve sönük nokta anomalileri üzerinde uygulanmaktadır. Aynı zamanda gaz hidrat birikimlerinin varlığını gösteren BSR yansımaları altındaki olası serbest gaz birikimlerinin tespiti için de kullanılmaktadır. AVO analizlerinde yansıma genliğinin ofset artışı ile davranışını görüntülemek ve gerçek veriler üzerinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmak için 1B modelleme çalışmaları yapılmış, AVO sınıflarının CDP'ler ve yansıma katsayısı – geliş açısı grafikleri üzerindeki davranışları gösterilmiştir. Tuzlu suya doymun kum ve gazlı kum ara yüzeyleri arasındaki farkları incelemek için sentetik CDP grupları da oluşturulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsüne bağlı R/V K. Piri Reis araştırma gemisi ile toplanan sismik verilere AVO analizleri uygulanmıştır. Marmara Denizi'nde 2010 yılında ve Karadeniz'de 2011 yılında toplanan Mar10 ve Kar11 çok kanallı sismik hatları üzerinde, sırasıyla sığ gaz birikimi ve BSR yansıması gözlenmiştir. Gözlenen parlak nokta ve BSR yansımaları için kısmi yığma kesitleri ve AVO nitelik yığma kesitleri çizdirilmiştir. Anomaliler üzerinde belirlenen CDP gruplarına gradyent analizi (gradient analysis) ve çapraz çizdirim (crossplot) yöntemleri uygulanmıştır. Sonuç olarak Mar10 hattında bulunan parlak nokta anomalisinde ve Kar11 hattındaki BSR yansıması üzerinde Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalileri tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Genlik-ofset değişim analizi (AVO), 1B modelleme, AVO sınıfları, sığ gaz birikimi, gaz hidrat, BSR.

AVO ANALYSIS ON SHALLOW GAS AND GAS HYDRATE ACCUMULATIONS

ABSTRACT

Amplitude versus Offset-AVO analysis is widely used in determination and classification of hydrocarbon reserves. AVO analysis is applied to bright spot and dim spot anomalies which are the indications of gas accumulations in the seismic sections. It is also used for determination of possible free gas accumulations below BSR reflections which indicate gas hydrate accumulations. 1B modeling studies have been performed to understand the behaviour of reflection amplitudes with increasing offset in a CDP gather and to compare them with the results from AVO analysis of real seismic data sets. AVO classes are shown on synthetic CDPs as well as on reflection coefficient – incidence angle graphs. Different synthetic CDP groups are generated to compare the differences between the AVO responses of brine sand and gas sand interfaces.

In this study, AVO analysis are applied to real seismic data which were collected aboard of R/V K. Piri Reis research vessel of Institute of Marine Sciences and Technology, Dokuz Eylul University. A shallow gas accumulation (a bright spot) and a BSR reflection were observed in seismic lines Mar10 from Marmara Sea and Kar11 from Black Sea, respectively. Partial stack sections and AVO attribute sections are computed for bright spot anomaly and BSR reflection. On the selected CDPs of both sections, AVO gradient analysis has been performed and crossplot graphs have been obtained. Both on the bright spot reflection in Mar10 seismic line and on BSR reflection in Kar11 seismic line, Class 3 and Class 4 AVO anomalies have been identified.

Keywords: Amplitude versus offset analysis (AVO), 1B modeling, AVO classes, shallow gas accumulation, gas hydrate, BSR.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1. Sıg Gaz ve Gaz Hidrat Birikimleri	3
1.2. Genliğin Ofsete Bağlı Değişimi (AVO).....	6
1.3 Zoeppritz Denklemleri ve Yaklaşımlar	8
1.3.1 Aki-Richards Yaklaşımı	11
1.3.2 Shuey Yaklaşımı.....	12
1.3.3. Bortfeld Yaklaşımı	12

BÖLÜM İKİ - AVO Sınıfları 14 |

2.1 Sınıf 1 AVO Anomalileri	15
2.2 Sınıf 2 AVO anomalileri	17
2.3 Sınıf 3 AVO anomalileri	20
2.4 Sınıf 4 AVO anomalileri	22
2.5. Gazlı Kum - Tuzlu suya doymun Kum Modellemeleri.....	25
2.5.1 Sınıf 1 AVO Anomalileri	26
2.5.2 Sınıf 3 AVO Anomalileri	28
2.5.3Sınıf 4 AVO Anomalileri	30

BÖLÜM ÜÇ - AVO Analizi Öncesi Veri – İşlem Aşamaları 32 |

3.1 Bant Geçişli Süzgeç.....	32
3.2 F-K Süzgeci.....	33
3.3 CDP sıralama.....	35
3.4 Hız Analizi ve Normal Kayma Zamanı Düzeltmesi	35
3.5 Küresel Açılım Düzeltmesi (Spherical Divergence Correction)	36
3.6 Dizinin Düzeltmesi (Array Correction).....	37
3.7 Yığma (Stack).....	38
3.8 İnce Tabaka Etkileri	38
BÖLÜM DÖRT- AVO ANALİZİ.....	39
4.1. Yakın ve Uzak Ofset Yığma Kesitleri.....	39
4.2. Gradyent Analizi	41
4.3. AVO Nitelikleri	42
4.4 Çapraz Çizdirim (Crossplot)	44
BÖLÜM BEŞ – UYGULAMALAR.....	46
5.1 Sığ Gaz Birikimleri Üzerinde AVO Analizleri	46
5.2 BSR Yansımaları Üzerinde AVO Analizleri.....	67
BÖLÜM ALTI -TARTIŞMA ve YORUM.....	81
6.1 Sentetik Modeller Üzerinde AVO analizleri	81
6.2 Mar10 Hattı Üzerinde AVO analizleri	82
6.3 Kar11 Hattı Üzerinde AVO analizleri.....	84
BÖLÜM YEDİ - SONUÇLAR.....	86
REFERANSLAR.....	87

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Genliğin ofsete bağlı değişim (amplitude versus offset - AVO) analizi çevresine göre farklı akustik empedansa sahip sedimentlerden alınan (gaz ve/veya gaz hidrat içeren sedimanlar) yansıma genliğinin ofsete bağlı olarak değişim göstermesi üzerine kurulmuştur. AVO gaz ve petrol aramacılığında çeyrek yüzyılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Sismik sinyalin yansıma genliğinin ortamın elastik özelliklerine göre değişimi ilk olarak Knott tarafından 1899 yılında tanımlanmıştır. Zoeppritz ise 1919 yılında P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluk parametreleri ile arayüzeyden yansıyan sismik sinyalin genliğini geliş açısının fonksiyonu olarak tanımlanmasını ortaya koymuştur.

Zoeppritz denklemlerinin karmaşıklığı ve ortamın fiziksel parametrelerinin değişimi ile yansıma genliğinin ne şekilde değişim göstereceğini kestirmek zor olduğundan dolayı, Zoeppritz denklemlerine yaklaşımlar geliştirilmiştir. İlk olarak Bortfeld (1961) tarafından Zoeppritz denklemlerine yaklaşım formülü geliştirilmiş ve bunu Aki-Richards (1980) ve Shuey (1985) yaklaşımları izlemiştir. Yansıma genliği üzerindeki teorik çalışmalar devam ederken AVO ve litolojinin arasındaki ilişki pratikte ilk olarak bilim dünyasına Ostrander (1982) tarafından parlak noktalar (bright spots) ve sönük noktalar (dim spots) anomalileri içeren yansıma kesitleri ile sunulmuştur (Graul, 2001). Bununla birlikte Meksika Körfezi'nde bir çok petrol şirketi tarafından AVO analizlerine dayanarak sondaj kuyuları açılmıştır. Allen (GRI – Gas Research Institute) ve Peddy (SEG – Society of Exploration Geophysicist) bu alanda yapılan çalışmalarda kullanılan kuyu bilgileri ve yorumlanmış sismik kesitleri toplayarak 1993 yılında AVO analizleri için bir çok döküman yayınlamışlardır (Hilterman 2001). Geçmiş çalışmaların çoğu Meksika Körfezinde bulunan Eosen Yegua formasyonunda yapılmıştır, bunun nedeni Yegua formasyonunda tespit edilen AVO anomalileri üzerine yapılan çalışmaların çoğunun başarıya ulaşmış olmasıdır. Rutherford ve Williams (1989) ve Castagna (1998) sismik yansıma verilerinde görülen genlik değişimlerinden yola çıkarak dört tip AVO sınıfı ortaya koymuştur ve günümüzde AVO anomalileri sınıflandırmalarında kullanılmaktadır. 1990'ların

başında AVO nitelik yığma kesitleri üzerinden sismik kesitte gaz birikimlerinin varlığı araştırılmaya başlanmıştır. Castagna ve Swan (1997) niteliklerin bazılarının çapraz çizdirimini (crossplots) ortaya koymuş, bu yöntemle anomali veren genlik değerleri daha detaylı ayırt edilir ve sismik izler üzerindeki yerleri görüntülenir hale gelmiştir. Günümüzde AVO analizleri gaz ve gaz hidrat birikimlerini sınıflandırmada ve kuyu logları yardımı ile yapılan modelleme çalışmaları sonucu satürasyon ve diğer bir çok fiziksel parametreyi elde etmekte kullanılmaktadır (Hilterman, 2001).

Simm, White ve Uden (2000) AVO analizlerinde çapraz çizdirim grafiklerinin anatomisini incelemeye almışlardır. AVO sınıflarının çapraz çizdirim grafikleri üzerinde yer aldıkları alanları vurgulamış ve gerçek sismik verilerden elde edilen grafiklerde anomaliye ait ve ana trend içerisinde yer alan nitelik değerlerinin çapraz çizdirim grafikleri üzerindeki davranışlarını göstermişlerdir. Ross (2000) çapraz çizdirim grafikleri için modelleme çalışması gerçekleştirmiş ve sentetik veri üretimi için kuyu loglarından elde edilen değerleri kullanmıştır. AVO niteliklerinden kesişim – gradyent için çapraz çizdirim grafik örneği vermiş ve aynı zamanda çalışmada kesişim*gradyent niteliğinin gazlı kum ve tuzlu suya doymuş kumlarda nasıl tepki verdiğini sergilemiştir. Çapraz çizdirim grafiklerinin hidrokarbon tespitinde önemli bir araç olduğunu vurgulamıştır.

Ecker ve Lumley (2001) AVO analizlerini kullanarak sismik veride gözlemlenen Tabana Benzeyen Yansıtıcı'lar (Bottom Simulating Reflector – BSR) üzerinde çalışmışlardır. Modelleme ve ters çözüm çalışmaları ile sismik veride buldukları BSR yansımasının, üst kısmında gaz hidrat birikimi ve alt kısmında serbest gaz birikiminden dolayı kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde Chaudhuri, Lohani, Chandra ve Sathe (2002) Hindistan'ın doğu kıyısında bulunan BSR yansıması üzerinde AVO analizleri uygulayarak AVO niteliklerinden kesişim, gradyent ve kesişim*gradyent için yığma kesitleri çizdirmiş ve BSR yansıma üzerindeki yüksek genlikli anomalileri yorumlamışlardır. BSR yansıması üzerinden elde edilen çapraz çizdirim grafiğinde anomali veren değerleri seçerek kesit üzerinde göstermişlerdir. Chand ve Minshull (2003) BSR yansımaları üzerinde AVO analizleri çalışmaları gerçekleştirerek, gerçek sismik verileri ve modelle çalışmaları

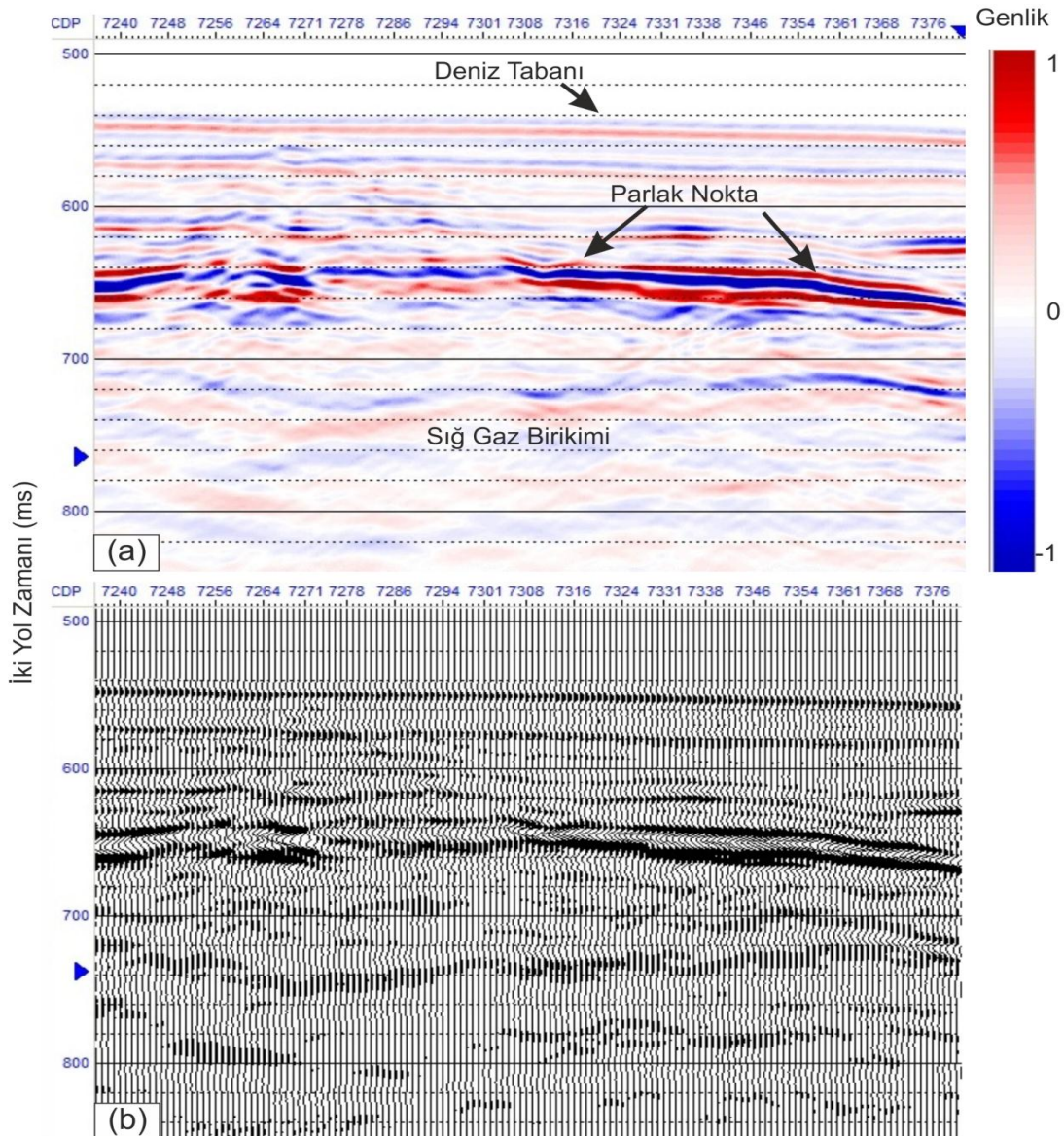
sonucu elde edilen verilerini karşılaştırmışlardır. BSR yansıması altında bulunan serbest gaz varlığının olması veya olmaması halinde sismik verideki genliklerin nasıl davranış gösterdiklerini modelle çalışmaları ile göstermişlerdir. Esmailpour, Riahi, Emamzadeh ve Sokooti (2010) hidrokarbon rezervuarı bulunan aldıkları sismik hat ve kuyu logu bilgileri ile AVO niteliklerinin gazlı kum ve tuzlu suya doymuş kum üzerindeki etkinliğini konu almışlardır. Tuzlu suya doymuş kum ve gazlı kum için oluşturdukları sentetik verilerin AVO niteliklerinden yola çıkarak kesim*gradyent ($I*G$) niteliğini gazlı kum ve tuzlu suya doymuş kum ayrılmasında önemli bir nitelik olarak belirtmişlerdir. Aynı zamanda çapraz çizdirim grafikleri sayesinde iki ortamın birbirinden ayrılmasını net şekilde göstermişlerdir.

Tez kapsamında AVO sınıfları 1B modelleme çalışmaları ile gösterilmiştir. AVO analizlerinin uygulanışı ve öncesinde yer alan veri işlem aşamalarından bahsedilmiştir. Karadeniz ve Marmara Denizi'nde Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'ne bağlı R/V K. Piri Reis araştırma gemisi ile ESONET projesi (no: 036851) kapsamında toplanan Mar10 ve Tübitak projesi (no: 108Y110) kapsamında toplanan Kar11 sismik yansıma verileri üzerinde tespit edilen sıg gaz birikimi ve gaz hidrat anomalileri için AVO analizlerinde gradyent analizleri, AVO niteliklerinin yığma kesitlerinin çizdirimi, yakın ve uzak ofset yığma kesitlerinin çizdirimi ve AVO niteliklerinin çapraz çizdirim grafiği çizdirimi yapılmış ve AVO sınıfları ile anomali veren seviyelerin alt ve üst kısımları belirlenmiştir.

1.1. Sığ Gaz ve Gaz Hidrat Birikimleri

Sığ gaz birikimleri petrol aramacılığında derinlerdeki hidrokarbonların varlığının göstergesi olabilir. Aynı zamanda sıg sedimentlerde gaz birikimlerinin varlığı sondaj platformları ve kıyı inşaatları için risk içermektedir. Sismik yansıma kesitlerinde sıg gaz birikimleri yüksek genliğe sahip ve deniz tabana göre ters polariteli parlak noktalar (bright spots) şeklinde gözlenir ve gaz birikiminin olduğu sedimanlarda sismik sinyalin genliği oldukça çabuk soğurulmaktadır. Bu iki etkinin ışığında gaz içeren sedimanların üst kısımlarında yüksek genlikli ve ters polariteli genlikler

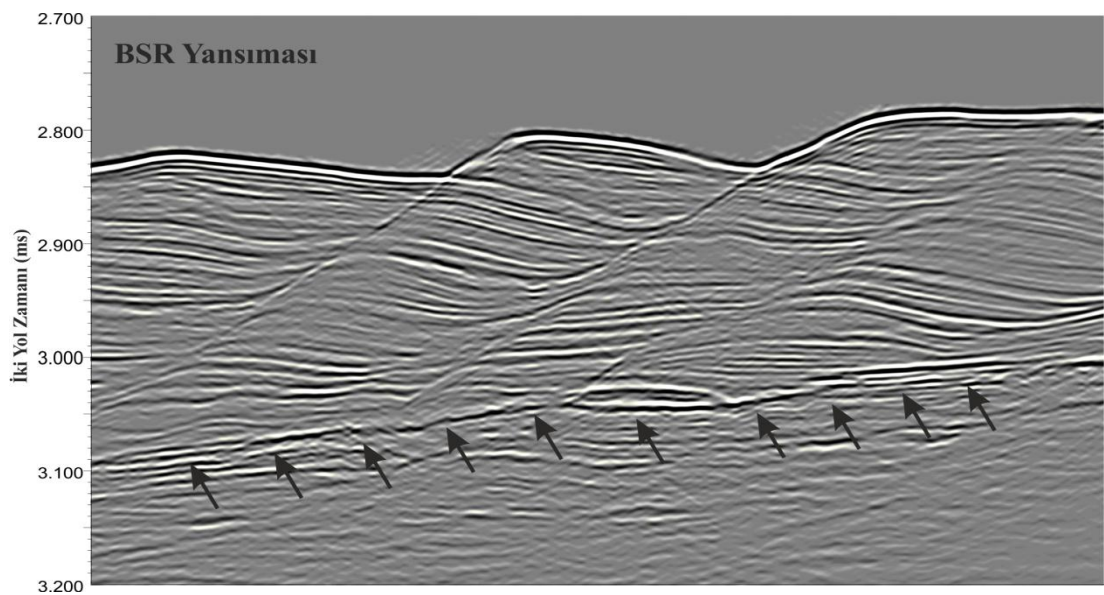
görülürken, bunun hemen altında soğurulmadan dolayı genlikler çok küçülür. Şekil 1.1 deki örnek sismik kesitte 650 ms civarında deniz tabanına göre ters polariteli ve yüksek genlikli parlak nokta anomalisi görülmektedir. Parlak noktanın hemen altında sıg gaz birikimi olduğu düşünülmektedir, bunun sebebi yansımanın altındaki genliklerin büyük ölçüde soğurulmuş olmasıdır. AVO analizleri sıg gaz birikimleri için uygulanırken, sismik kesit üzerinde parlak nokta anomalisi veren ve altında soğurulan genliklerin bulunduğu noktalar seçilmektedir.



Şekil 1.1. Sismik yansıma kesitinde örnek bir sıg gaz birikimi ve parlak nokta. (a) Renkli sismik kesit üzerinde yüksek genlikli parlak nokta anomalisi ve soğurulmadan dolayı genliklerin neredeyse sıfır olduğu sıg gaz birikim alanı, (b) aynı sismik kesitin “wiggle” izler ile görüntülenmiş hali.

Gaz hidratlar, su ile gazın bir kafes içerisinde hapsolmesiyle oluşan ve buza benzeyen kristalin katılardır (Kvenvolden, 1998; Sloan, 1998). Yüksek basınç ve düşük sıcaklık koşulları altında oluşmaktadırlar. Sismik kesitlerde gaz hidrat varlığı “Tabana Benzeyen Yansıtıcı (BSR – Bottom Simulating Reflector)” ile görülmektedir. BSR yansımaları gaz hidrat birikimlerinin tabanı temsil etmektedir (Yuan, Spence, Hyndman, Minshull, ve Singh, 1999). BSR yansımasının üst kısmında sedimanlar içerisinde gaz hidrat birikimi bulunmaktadır ve eğer varsa alt kısmında serbest gaz birikimi bulunabilir. BSR yansıması deniz tabanı polaritesine göre ters polariteye sahiptir. Aynı zamanda BSR yansımaları deniz tabanı yansıması ile benzer şekil ve eğime sahip olduğundan farklı eğimdeki tabakları kesmektedir (Şekil 1.2). BSR yansımalarındaki genliklerin büyüklüğü, altında var olan serbest gaz saturasyonu ile ilişkilidir.

BSR yansımaları için AVO analizleri, sıg gaz birikimlerinde olduğu gibi yüksek ve ters genlik anomalisi veren seviyelere uygulanır. BSR yansımaları üzerinde yer alan AVO anomalilerinin varlığı serbest gaz birikimini ortaya koymaktadır. BSR yansımaları üzerinde uygulanan AVO çalışmaları ile gaz ve gaz hidrat birikimlerinin saturasyonlarının hesaplanması, kuyu loglarından yola çıkarak hesaplanan modeller ile kullanılarak AVO ters çözüm yöntemi sayesinde mümkün olmaktadır (Ojha, Siani and Minshull, 2010).

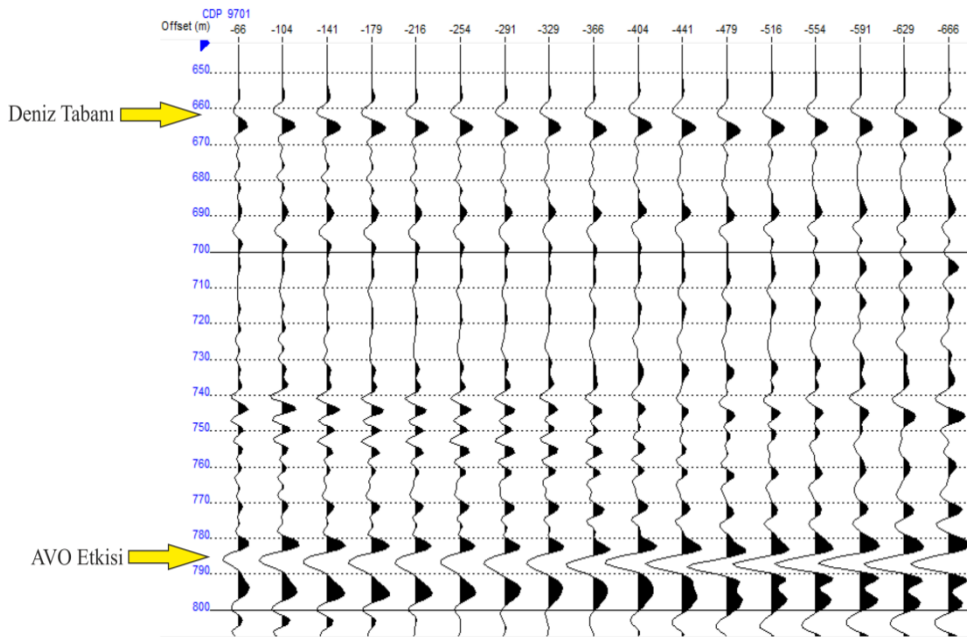


Şekil 1.2. Sismik kesit üzerinde örnek bir BSR yansıması

1.2. Genliğin Ofsete Bağlı Değişimi (AVO)

Sedimanlar içerisinde yer alan gaz birikimleri çevresindeki birimlere göre akustik empedans farkı yaratarak sismik sinyalin genliğini ve polaritesini değiştirmektedir. Gaz birikimlerinin olduğu alanlarda sismik sinyalin genliği ofsete bağlı olarak yani atış noktası ile alıcı arasındaki uzaklığa göre değişim göstermektedir.

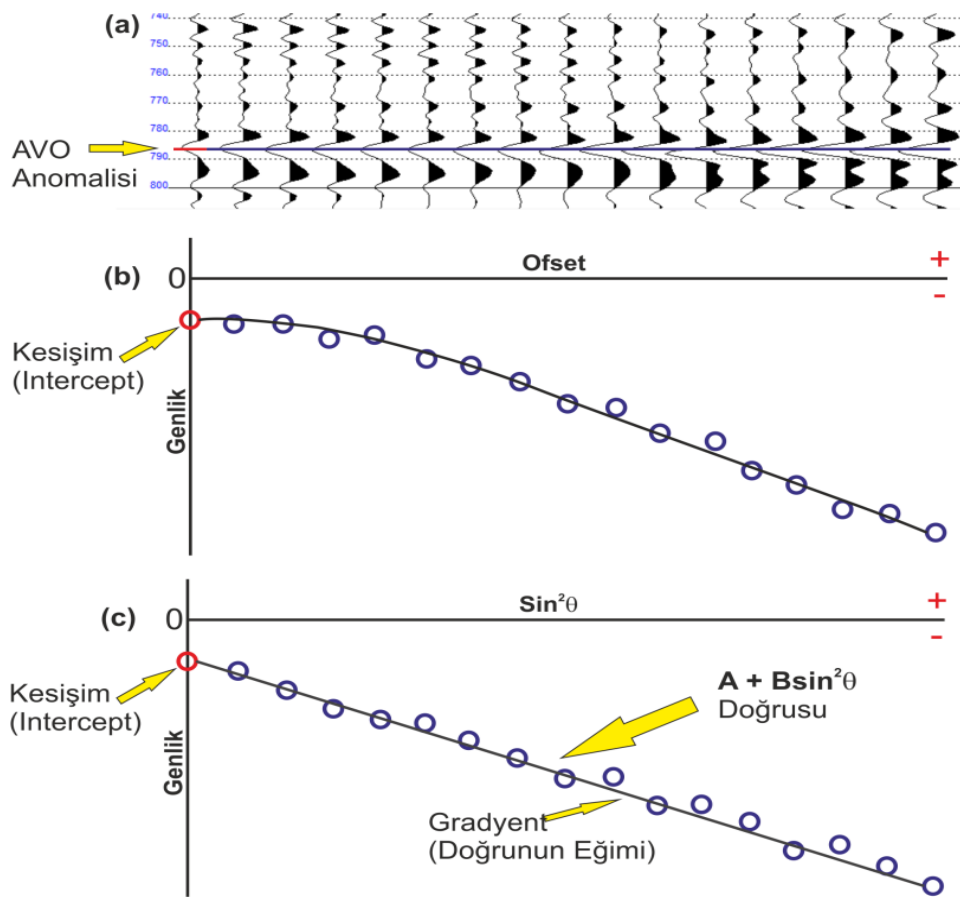
Şekil 1.3 de görüldüğü gibi, derinlerde aynı ortak noktadan yansıyan ancak farklı ofsetlerde kaydedilen sinyaller yanyana gösterildiğinde (ortak derinlik noktası veya CDP grubu) deniz tabanı polaritesine göre ters polariteye sahip ve artan ofset ile büyüyen genlikler görülmektedir. Genliğin ofsete göre gösterdiği bu değişim AVO etkisi olarak bilinmektedir.



Şekil 1.3. Genliğin ofsete bağlı değişimi - AVO etkisi

Aynı noktadan yansıyan ve farklı ofsette kaydedilen sinyaller yanyana çizdirildiğinde ortak derinlik noktası grubu oluşturulmaktadır. Şekil 1.4 de ortak derinlik noktalarında AVO anomalisi veren genliklerin seviyesi sarı ok ile gösterilmiştir. AVO anomalisi veren genlik değerlerinin bulunduğu seviye için Şekil 1.4(b) de görülen genlik – ofset grafiğidir. Genlik ofset grafikleri AVO anomalilerinin hangi sınıfa ait olduğu hakkında bilgi vermektedir. Şekil 1.4(c) de ise

genlik – $\sin^2\theta$ grafiği yer almaktadır (θ = Geliş açısı). Genlik – ofset ve genlik - $\sin^2\theta$ grafiklerinde kırmızı nokta ile gösterilen değer AVO anomalisinin minimum ofsette kayıt edilen genlik değerini göstermektedir. Minimum ofsetteki bu değer Kesişim (Intercept – A) olarak bilinmektedir. Mavi noktalar ile gösterilen değerler AVO anomalisinin diğer ofsetlerdeki genlik değerlerini göstermektedir. En küçük kareler yöntemi ile bu değerlerin üzerinden geçen doğru genlik – ofset grafiğinde AVO anomalisinin sınıflandırılmasında kullanılırken, genlik - $\sin^2\theta$ grafiğinde doğru düz hale gelir ve bu doğrunun eğimi Gradyent (Gradient – B) değerini vermektedir.



Şekil 1.4. AVO anomalisi gösteren genliklerin Genlik – Ofset ve Genlik - $\sin^2\theta$ grafiği üzerinde gösterimi. (a) AVO anomalisi içeren CDP grubu, (b) Genlik – Ofset grafiği, (c) Genlik - $\sin^2\theta$ grafiği

Böylece sismik sinyal genliği, Kesişim (A) ve Gradyent (B) değerleri ile geliş açısının (θ) fonksiyonu olarak tanımlanabilir (Denklem 1.1).

$$R(\theta)=A+B\sin^2\theta \quad (1.1)$$

$R(\theta)$ sismik sinyalin geliş açısına göre genlik değerini, A kesişim, B ise gradyent değerini göstermektedir. Kesişim ve Gradyent nitelikleri AVO analizlerinde bir çok aşamada kullanılmaktadır.

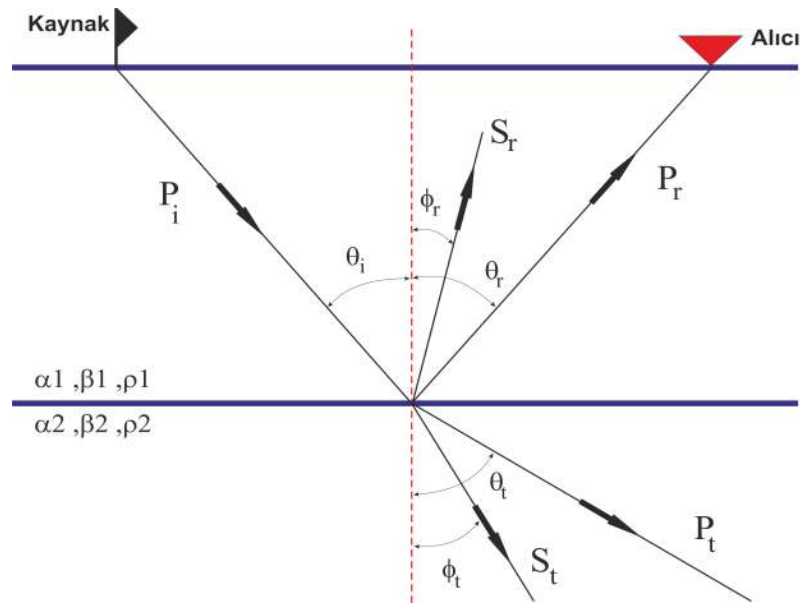
AVO etkisi, sismik kesitte parlak noktalara (bright spots) veya sönük noktalara (dim spots) karşılık gelen kısımlara ait ortak derinlik noktalarında genliğin ofsete bağlı olarak artışı, azalışı veya polarite değişimi olarak gözlenmektedir. AVO etkisi genlik-ofset grafiklerindeki davranışlarına göre sınıflandırılmıştır, literatürde bilinen dört AVO sınıfı yer almaktadır (Hilterman, 2001). Bunlar sismik kesitler üzerinde parlak noktalar (bright spots) ve sönük noktalar (dim spots) şeklinde ve nadir olarak anomali noktalarında polarite değişimi olarak gözlemlenebilir. AVO analizi sonrasında çıkan sonuçlar düz çözüm ile yapılan modeller ile karşılaştırılarak yorumlanmaktadır. Modelleme için Zoeppritz denklemleri ve denklemlere doğrusal yaklaşımlar kullanılmaktadır. Normal kayma zamanı düzeltmesi uygulanmış ortak derinlik noktalarında genliğin ofsete bağlı değişimini gözlemlemek için gradyent analizi uygulanmaktadır. Genlik-ofset grafiğinde anomalinin olduğu seviyedeki genlik değerleri çizdirilerek, anomalinin ofsete bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve gradyent analizi uygulanan ortak derinlik noktasındaki anomalinin hangi AVO sınıfı içerisinde yer aldığını söylemek mümkündür. Analizde normal kayma zamanı düzeltmesi uygulanmış CDP grupları üzerinden AVO nitelikleri üretilmektedir. Nitelik yığma kesitleri çizdirilerek sismik kesitte gözlemlenen anomalinin olduğu kısımlar için yorum yapılmaktadır. Aynı zamanda elde edilen niteliklerden ikisi ile çapraz çizdirim (crossplot) yöntemi sonrasında gözlemlenen anomaliler seçilerek sismik kesitteki kesin yerleri tespit edilebilmektedir.

1.3 Zoeppritz Denklemleri ve Yaklaşımlar

Sismik dalga farklı elastik özelliklere sahip iki ortamı ayıran arayüzeye ulaştığı zaman sinyalin bir kısmı yansırken, bir kısmı ise kırılarak alttaki tabakanın bulunduğu ortama geçerek ilerlemeye devam eder. Ara yüzeye gelen bir P dalgası, yansıyan ve kırılan P dalgası ile yansıyan ve kırılan S dalgası oluşturmaktadır (Şekil 1.5). Bu dalgaların yansıma ve kırılma açıları arasındaki ilişki Snell yasası ile tanımlanmaktadır (Denklemler 1.2).

$$\frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_1} = \frac{\sin(\theta_r)}{\alpha_1} = \frac{\sin(\theta_t)}{\alpha_2} = \frac{\sin(\phi_r)}{\beta_1} = \frac{\sin(\phi_t)}{\beta_2} \quad (1.2)$$

Burada θ_i P dalgasının arayüzeye geliş açısı, θ_r P dalgasının yansıma açısı, θ_t P dalgasının kırılma açısı, ϕ_r S dalgasının yansıma açısı, ϕ_t S dalgasının kırılma açısı, α_1 ilk ortamın P dalga hızı, α_2 ikinci ortamın P dalga hızı, β_1 birinci ortamın S dalga hızı ve β_2 ikinci ortamın S dalga hızıdır. Zoeppritz denklemleri ara yüzeye gelen P dalgası için yansıma ve kırılma genliklerini geliş açısının fonksiyonu olarak hesaplamaktadır. P dalgasının belli bir açı ile arayüze gelerek yansıyan ve kırılan dalgalar oluşturmasının matematiksel tanımı ilk olarak Knott (1899) tarafından ortaya konmuştur. Zoeppritz (1919) ise Knott'un çalışmalarını sürdürerek dalga genliğini sismik parametrelere uyarlamıştır. En genel hali ile, Zoeppritz denklemleri, bir arayüzeye ulaşan sinyalin yansıyan ve iletilen kısmının genliklerinin, sinyalin geliş açısına göre değişimini vermektedir.



Şekil 1.5 Arayüzeye gelen P dalgasının (P_i) yansıyan P dalgası (P_r) ve S dalgası (S_r) ve kırılan P dalgası (P_t) ve S dalgası (S_t) oluşturması (θ_i geliş açısı, θ_r ve ϕ_r yansıma açıları, θ_t ve ϕ_t kırılma açılarını göstermektedir).

Zoeppritz denklemleri AVO analizlerinde sentetik veri oluşturmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler deniz ortamında yansıma sismği

ile topladığından modelleme yapılırken Zoeppritz denklemlerinde elde edilecek değer geliş açısına göre P dalgasının yansıma genliği olacaktır. Zoeppritz denklemleri ile iki tabaka arasındaki yüzeyden yansıyan ve kırılan sismik dalgaların yansıma genlikleri geliş açılarına göre hesaplanabilmektedir (Denklem 1.3).

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_i & \cos \phi_r & -\sin \theta_t & \cos \phi_r \\ -\cos \theta_i & \sin \phi_r & -\cos \theta_t & -\sin \phi_t \\ \sin 2\theta_i & \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cos 2\phi_r & \frac{\rho_2 \beta_2^2 \alpha_1}{\rho_1 \beta_1^2 \alpha_2} \sin 2\theta_t & -\frac{\rho_2 \beta_2 \alpha_1}{\rho_1 \beta_1^2} \cos 2\phi_t \\ \cos 2\phi_r & -\frac{\beta_1}{\alpha_1} \sin 2\phi_r & -\frac{\rho_2 \alpha_2}{\rho_1 \alpha_1} \cos 2\phi_t & -\frac{\rho_2 \beta_2}{\rho_1 \alpha_1} \sin 2\phi_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_p \\ R_s \\ T_p \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_i \\ -\cos \theta_i \\ \sin 2\theta_i \\ -\cos 2\phi_r \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Burada R_p yansıyan P dalgası genliğini, R_s yansıyan S dalgası genliğini, T_p kırılan P dalgası genliğini ve T_s kırılan S dalgası genliğini, θ_i P dalgasının arayüzeye geliş açısını, θ_r P dalgasının yansıma açısını, θ_t P dalgasının kırılma açısını, ϕ_r S dalgasının yansıma açısını, ϕ_t S dalgasının kırılma açısını, α_1 ilk ortamın P dalga hızını, α_2 ikinci ortamın P dalga hızını, β_1 birinci ortamın S dalga hızını ve β_2 ikinci ortamın S dalga hızını göstermektedir. Bu matris denkleminde, katsayı matrisi sismik parametrelerin farklı kombinasyonlarını ve yansıyan ve kırılan ışın yollarına bağlı açıların trigonometrik fonksiyonlarını içermektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan sütun matrisi sırasıyla, yansıyan P dalgası (R_p), yansıyan S dalgası (R_s), kırılan P dalgası (T_p) ve kırılan S dalgası (T_s) için genlik değerlerini içermektedir. Denklem çözülmesi için girilmesi gereken parametreler iki ortam için P dalgası hızı, S dalgası hızı, yoğunluk, geliş açısı, yansıma açısı ve kırılma açısıdır. Zoeppritz matrisinin bilgisayar üzerinde hesaplanması zor olmasada, yansıma veri işleminde tek ya da çeşitli kombinasyonlara sahip parametreler için genel bir yorumda bulunmak oldukça zordur (Demirbağ, 1990). Sismik çalışmaların neredeyse tümünde P dalgası yansıma katsayısı kullanılmaktadır, dolayısıyla P dalgası yansıma katsayılarının daha kolay hesaplanması ve hangi parametrenin yansıma katsayılarını nasıl değiştireceğini daha kolay yorumlamak adına Zoeppritz denklemlerine bir çok yaklaşım geliştirilmiştir. Aki-Richards (1980) yaklaşımı, Shuey (1985) yaklaşımı ve Bortfeld (1961) yaklaşımları AVO analizlerinde en çok kullanılan yaklaşımlardır.

Bu çalışma deniz sismiği üzerine kurulduğundan modellemeler ve analizler yansıyan P dalgası üzerinden yapılacaktır. Kaynaktan çıkan P dalgasının ve yansıyan P dalgasının normal ile yaptığı açı eşit olduğundan tüm açılar θ_i olarak gösterilmektedir.

Yansıma genliklerinin ofsete bağlı değişen davranışları (büyüklük, polarite, polarite değişimi) Zoeppritz denklemlerine yaklaşımlar ile elde edilen modeller üzerinde gözlemlenebilir. Birinci ve ikinci ortamlar arasındaki akustik empedans farkı, sabit açıda genliğin büyüklüğünün belirlenmesindeki en önemli etkindir. Geliş açısı sıfır olduğu (θ_i) zaman genliğin büyüklüğü ve polaritesi P dalga hızı (α) ve yoğunluk (ρ) parametreleri ile belirlenmektedir. Bu durumda Zoeppritz denklemleri aşağıdaki basit bağıntıya indirgenir.

$$R(\theta_i) = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1.4)$$

Burada Z_1 birinci ortamın akustik empedansı ($Z_1 = \alpha_1 \cdot \rho_1$, α_1 birinci ortamın P dalga hızı, ρ_1 birinci ortamın yoğunluğu) ve Z_2 ikinci ortamın akustik empedansı göstermektedir ($Z_2 = \alpha_2 \cdot \rho_2$, α_2 birinci ortamın P dalga hızı, ρ_2 birinci ortamın yoğunluğu). Ancak geliş açısının sıfırdan farklı olduğu durumlarda yansıma genliğinin büyüklüğü ve polaritesi iki ortamın yoğunluk, P dalga hızı, S dalga hızı ve bu parametrelerden elde edilen oranlara bağlıdır. Bu sebeple Zoeppritz denklemlerine yaklaşımlar ile yapılan modelleme çalışmaları genliğin davranışının yorumlanmasında oldukça önemlidir (Demirbağ, 1990).

1.3.1 Aki-Richards Yaklaşımı

Aki-Richards (1980) α : P dalgası hızı, β : S dalgası hızı ve ρ : yoğunluk olmak üzere $\Delta\alpha/\alpha$, $\Delta\beta/\beta$, $\Delta\rho/\rho$ oranlarını tanımlamıştır ve tam çözümlere aktararak yansıma katsayılarına bir yaklaşım elde etmiştir;

$$R(\theta) \cong \frac{1}{2} \left(1 - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta_i \right) \frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\sec^2 \theta_i}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - \frac{4\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta_i \frac{\Delta\beta}{\beta} \quad (1.5)$$

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1, \quad \Delta\beta = \beta_2 - \beta_1, \quad \Delta\rho = \rho_2 - \rho_1, \quad \alpha = \frac{1}{2} (\alpha_2 + \alpha_1), \quad \beta = \frac{1}{2} (\beta_2 + \beta_1),$$

$$\rho = \frac{1}{2} (\rho_2 + \rho_1)$$

Denklem (1.5) ile, arayüzeye θ_i açısı ile gelen sinyalin yansıma genliği Aki-Richards yaklaşımına göre elde edilebilir.

1.3.2 Shuey Yaklaşımı

Shuey (1985)'in Aki-Richards formülünü değiştirerek oluşturduğu yaklaşımda, S dalga hızı değerleri yerine Poisson oranını kullanmıştır.

$$R(\theta) \cong R_0 + \left(A_0 R_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma^2)} \right) \sin^2\theta_i + \frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} (\tan^2\theta_i - \sin^2\theta_i)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} (\sigma_2 - \sigma_1), \quad \Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 \quad (1.6)$$

$$R_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right), \quad A_0 = \frac{\frac{\Delta\alpha}{\alpha}}{\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho}} - 2 \left(1 + \frac{\frac{\Delta\alpha}{\alpha}}{\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho}} \right) \frac{1-2\sigma}{1-\sigma}$$

Yansıma katsayıları için modelleme yapılırken genel olarak P dalgası hızı, S dalgası hızı ve yoğunluk kullanılmaktadır. Shuey yaklaşımında ise Poisson oranı kullanılmıştır ve modelleme yapılırken Poisson oranının hesaplanması aşağıdaki bağıntı ile mümkündür;

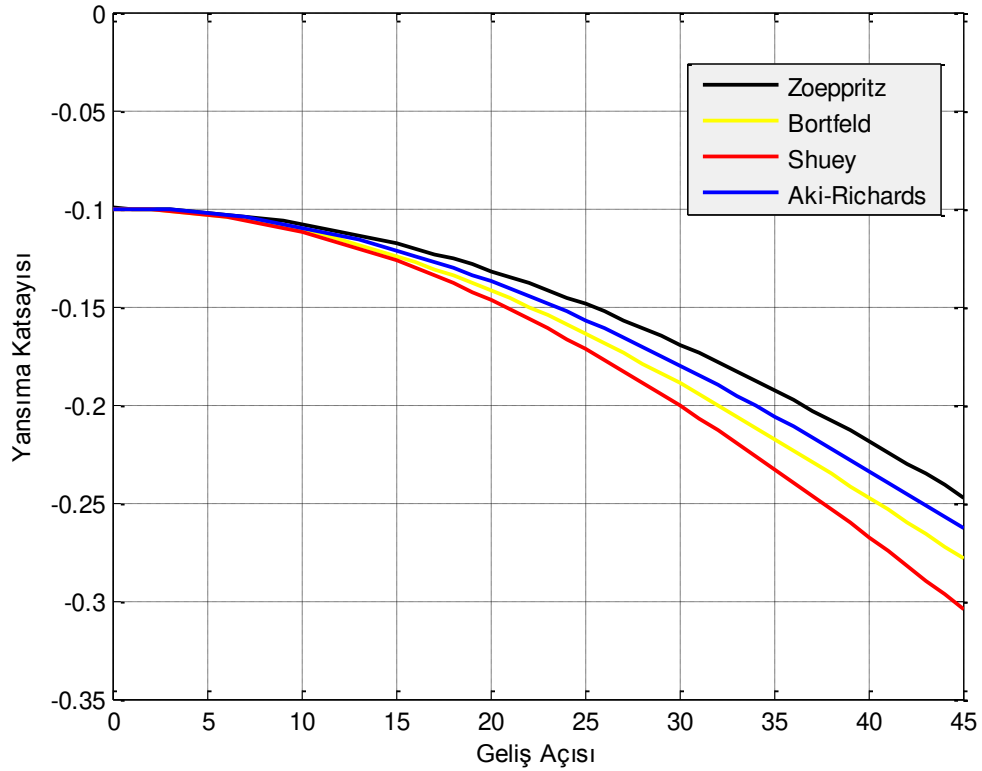
$$\sigma = \frac{\left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 2}{2 \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 1} \quad (1.7)$$

1.3.3. Bortfeld Yaklaşımı

Bortfeld (1961) yansıyan P dalgası için Zoeppritz denklemlerini kullanarak Denklem (1.8)'deki yaklaşımı geliştirmiştir.

$$R(\theta_i) \cong \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\alpha_2 \rho_2 \cos \theta_i}{\alpha_1 \rho_1 \cos \theta_i} \right) + \frac{\sin^2 \theta_i}{\alpha_1^2} (\beta_1^2 - \beta_2^2) \left[2 + \frac{\ln \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)}{\ln \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right) - \ln \left(\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1 \beta_2} \right)} \right] \quad (1.8)$$

Zoeppritz denklemleri ve buna yapılan yaklaşımlar arasındaki farkı görebilmek adına, birinci ortam için; $\alpha_1 = 2000$ m/s, $\beta_1 = 879.88$ m/s, $\rho_1 = 2400$ kg/m³ ve ikinci ortam için; $\alpha_2 = 1963$ m/s, $\beta_2 = 1260$ m/s, $\rho_2 = 2000$ kg/m³ parametreleri kullanılarak bir modelleme gerçekleştirilmiştir. $\theta_i = 0^\circ - 45^\circ$ aralığında elde edilen teorik yansıma katsayıları eğrileri, karşılaştırma yapabilmek için Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6 Zoeppritz denklemleri ve yaklaşımlarının yansıma katsayısı – geliş açısı grafiği üzerinde gösterimi.

Zoeppritz denklemleri ve yaklaşımları arasında modelleme işlemlerinde oldukça büyük bir fark bulunmamaktadır (Şekil 1.6). Fakat modelleme aşamalarında parametre değişimlerinde sonucun nasıl değiştiğini gözlemlemek lineer bir yaklaşımda daha kolaydır. Grafikte görüldüğü üzere Zoeppritz denklemlerine en yakın olan yaklaşım Aki-Richards denklemleridir. Bu çalışmada yer alan ve AVO sınıflarının tanımlanmasında kullanılan sentetik veri üretiminde Aki-Richards denklemleri kullanılmıştır. Zoeppritz denklemleri yaklaşımları 30 dereceye kadar (kritik açya kadar) düzgün sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM İKİ

AVO SINIFLARI

Rutherford ve Williams'ın (1989), yansıma genliklerinin ofsetle değişim türlerini sınıflandırmış ve AVO etkisini gösteren Sınıf 1, 2 ve 3 olarak üç ayrı sınıf olduğunu belirtmişlerdir. Tüm sınıflarda yansıma katsayısı eğrisi negatif olup, ofsete bağlı olarak genlik azalmaktadır. Ancak Castagna (1998) Sınıf 2 ve 3 AVO anomali genliklerinin ofsete bağlı olarak artabileceğinden göstermiştir. AVO anomalileri arasında en yaygın olarak bilinen Sınıf 3 anomalilerinin artan ofset ile birlikte azaldığını gözlemlemiş ve Castagna (1998) bu sınıfa giren AVO anomalileri Sınıf 4 olarak adlandırmıştır.

AVO sınıflarının CDP gruplarının üzerinde ve yansıma katsayısı – geliş açısı grafiği üzerinde nasıl değişim gösterdiklerini görüntülemek için modeller oluşturulmuştur. Sırasıyla Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'deki zayıf ve güçlü yansıtıcı arayüzler için oluşturulan modellerde aşağıdaki parametreler kullanılmıştır. Zayıf yansıtıcı arayüzlerde iki ortam arasındaki P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluk değerleri arasındaki fark küçük iken, güçlü yansıtıcılarda iki ortam arasındaki dalga hızı ve yoğunluk farkı büyüktür.

Tablo 2.1 Güçlü yansıtıcı arayüz için model parametreleri (Haase, 2004).

Sınıf	α_1 (m/s)	β_1 (m/s)	ρ_1 (kg/m ³)	α_2 (m/s)	β_2 (m/s)	ρ_2 (kg/m ³)
1	2000	1155	2400	4000	2309	2667
2	2000	666.7	2400	2400	1697	2000
3	2200	898.2	2500	1500	1000	1705
4	3240	1620	2340	1650	1090	2070

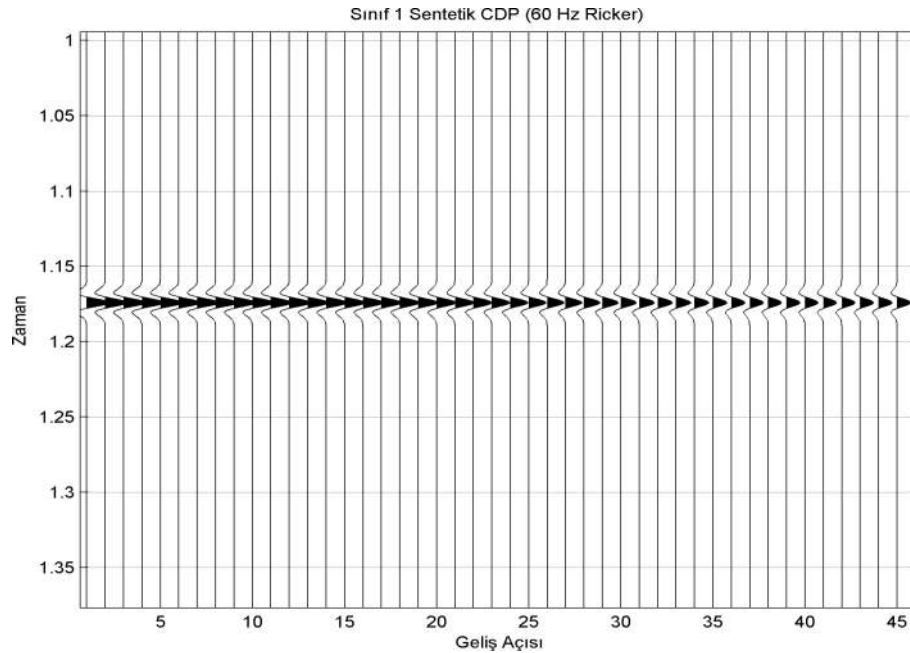
Tablo 2.2 Zayıf yansıtıcı arayüz için model parametreleri (Haase, 2004).

Sınıf	α_1 (m/s)	β_1 (m/s)	ρ_1 (kg/m ³)	α_2 (m/s)	β_2 (m/s)	ρ_2 (kg/m ³)
1	2000	879.88	2400	2933.33	1882.29	2000
2	2000	879.88	2400	2400	1540.05	2000
3	2000	879.88	2400	1963.64	1260.04	2000
4	2000	1000	2400	1598.77	654.32	2456.43

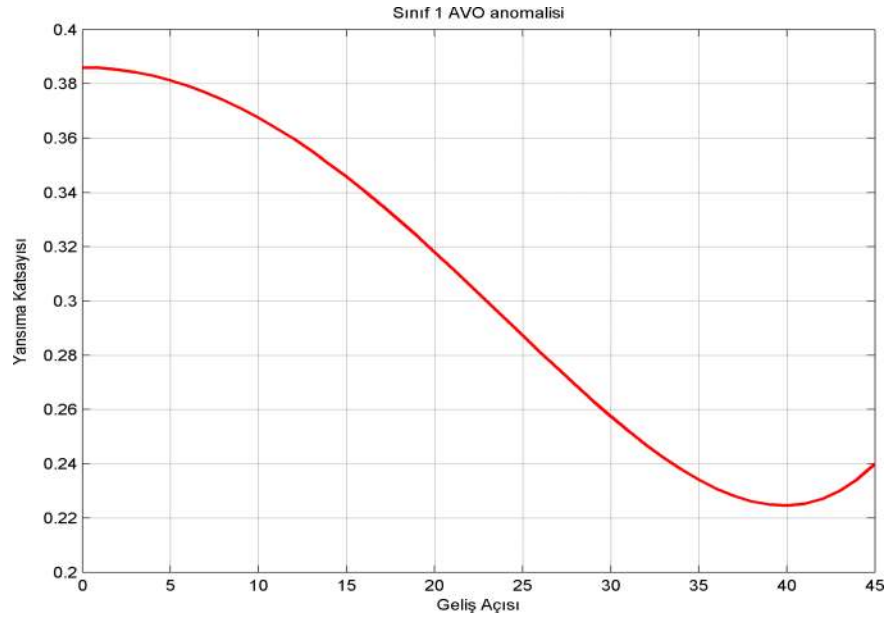
AVO sınıflandırmaları için oluşturulan tüm modelleme çalışmalarında geliş açısı 0-45 derece arasında birer artarak değerler almıştır. Modelleme çalışmalarındaki amaç AVO sınıflarının genlik karakterlerinin ofsetin artması ile ne şekilde değiştiğini görüntülemektir.

2.1 Sınıf 1 AVO Anomalileri

Sınıf 1 AVO anomalileri yığma kesitlerinde sönük genlikler (dim spots) olarak ve CDP grupları üzerinde ofset artışıyla birlikte genliğin sönümlenmesi olarak gözlemlenebilir. Bu tür anomaliler gaz ve hidrokarbon aramacılığında en az gözlemlenen anomali türüdür. Sınıf 1 AVO anomalileri deniz tabanı ile aynı polariteye sahiptirler. Bunun nedeni, ikinci tabakanın akustik empedansının ilk tabakaya göre daha yüksek olması, yani alt tabakanın P dalga hızının ve yoğunluğunun üst tabakaya göre daha yüksek olmasıdır. Güçlü yansıtıcılarda yüksek genlikli sinyalin genliğinin ofsetin artışı ile birlikte azalması olarak gözlemlenebilir, ancak bu tür anomaliler hiçbir zaman negatif polarite göstermemektedir. Şekil 2.1, güçlü yansıtıcı için hesaplanmış sentetik Sınıf 1 CDP grubunu, Şekil 2.2 ise bu CDP'den elde edilen geliş açısı – genlik eğrisini göstermektedir.

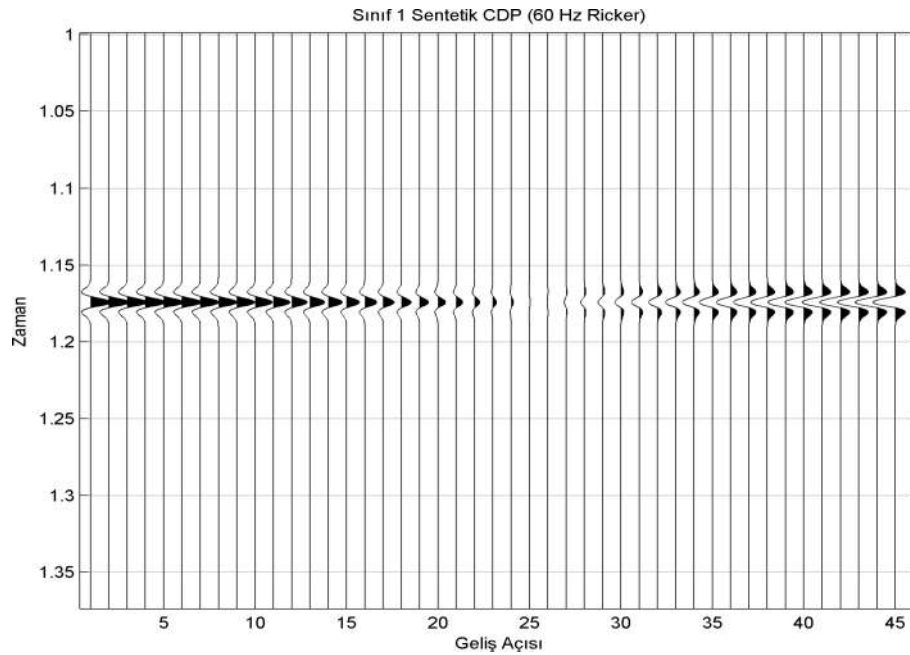


Şekil 2.1 Sınıf 1 AVO anomalisi için sentetik CDP grubu (güçlü yansıtıcı). Kullanılan model parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

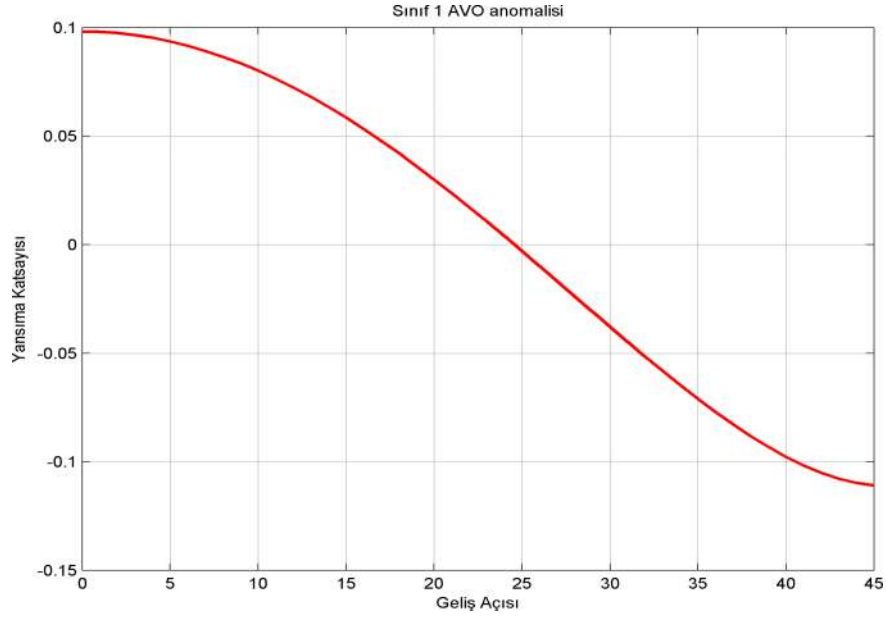


Şekil 2.2 Güçlü yansıtıcı modeli için Sınıf 1 AVO anomali yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği.

Zayıf yansıtıcılarda ise uzun ofsetli CDP gruplarında 25 – 30 dereceden sonraki geliş açılarında polarite değişimi gözlemlenmektedir. Şekil 2.3 zayıf yansıtıcı için hesaplanmış sentetik Sınıf 1 CDP grubunu, Şekil 2.4 ise bu CDP grubundan elde edilen geliş açısı – genlik eğrisini göstermektedir.



Şekil 2.3 Sınıf 1 AVO anomali için sentetik CDP grubu (zayıf yansıtıcı). Kullanılan model parametreleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

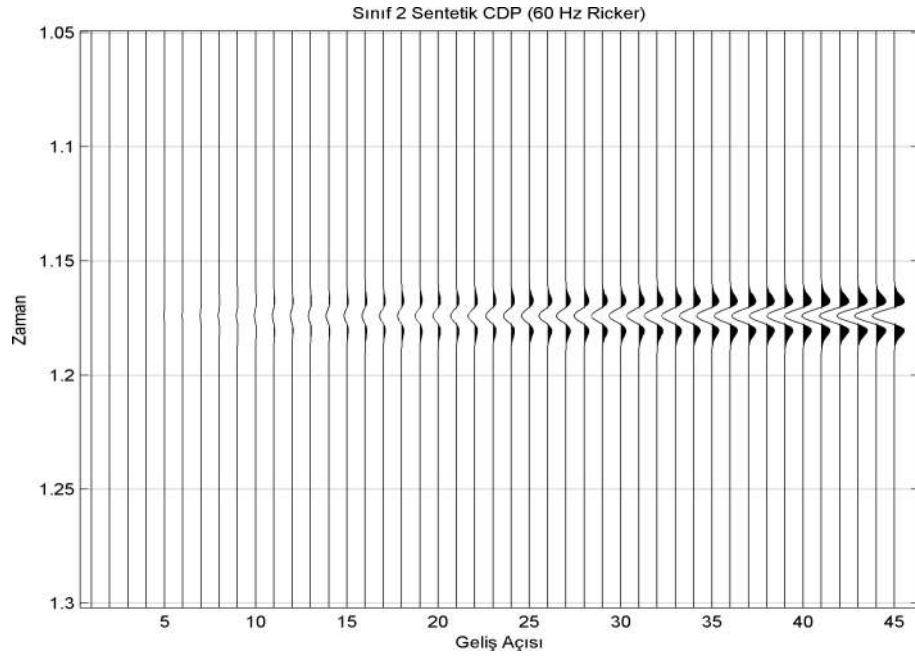


Şekil 2.4 Zayıf yansıtıcı modeli için Sınıf 1 AVO anomalisi yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği

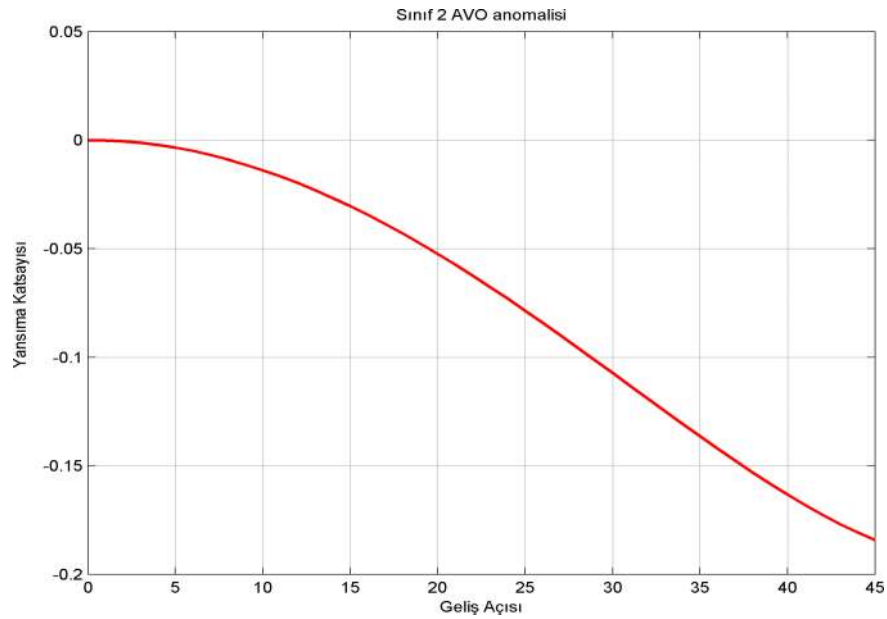
2.2 Sınıf 2 AVO Anomalileri

Sınıf 2 AVO anomalileri literatürde polarite değişimine sebep olan AVO anomalileri olarak bilinmektedir. Ofsetin artması ile birlikte yakın ofsetlerdeki pozitif genliğin yerini negatif genlik alır ve genlik değerleri yükselir. CDP grupları üzerinde yakın ofsetteki genlik değerleri sıfır veya sıfıra çok yakın olmaktadır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.7).

Güçlü yansıtıcılarda genellikle genlik değerleri sıfırdan başlayarak ofset artışı ile yüksek negatif genlik değerleri şeklinde devam etmektedir (Şekil 2.6). Zayıf yansıtıcılarda ise yakın ofsetlerde sıfıra çok yakın genlik değerleri alır ve ofset artışı ile negatif genlik değerlerine sahip olarak artmaya devam eder (Şekil 2.8). Bu tür AVO anomalisi veren yansımalar sismik kesitlerde çoğu zaman parlak nokta (bright spots) anomalileri vermektedir ya da nadiren polarite değişimi yüzünden sismik kesit üzerinde polaritenin sönümlenmesi yani sönük noktalar (dim spots) olarak gözlemlenir. Özellikle alıcı kablosunun çok uzun olduğu yani geliş açısının 30 derecenin üstüne çıktığı uzun ofsetli toplanmış sismik yansıma verileri üzerinde polarite değişimi yüzünden genliklerin sönümlenmesi açık şekilde gözlemlenebilir.



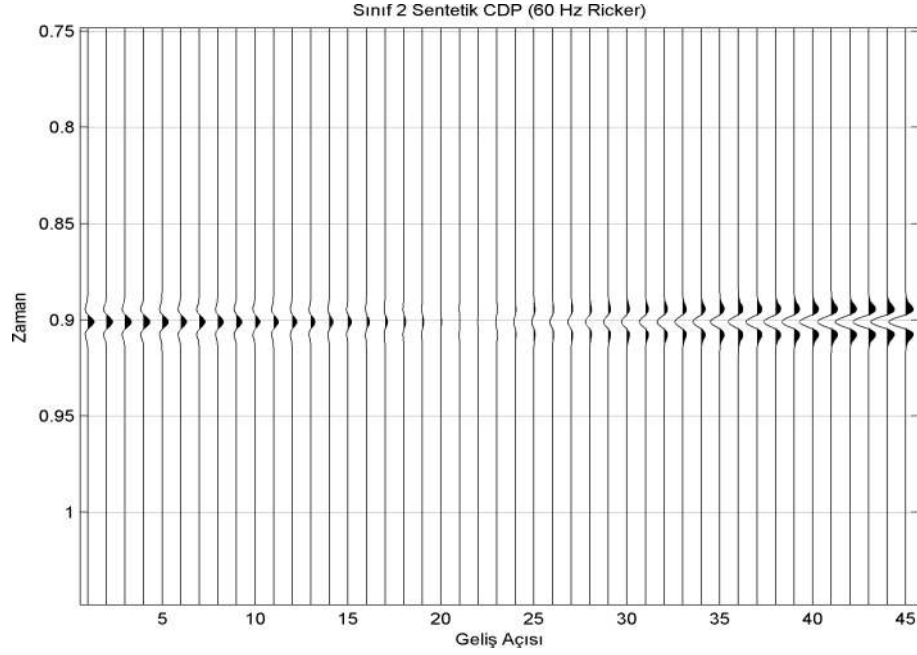
Şekil 2.5 Sınıf 2 AVO anomali için sentetik CDP grubu (güçlü yansıtıcı). Kullanılan model parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.



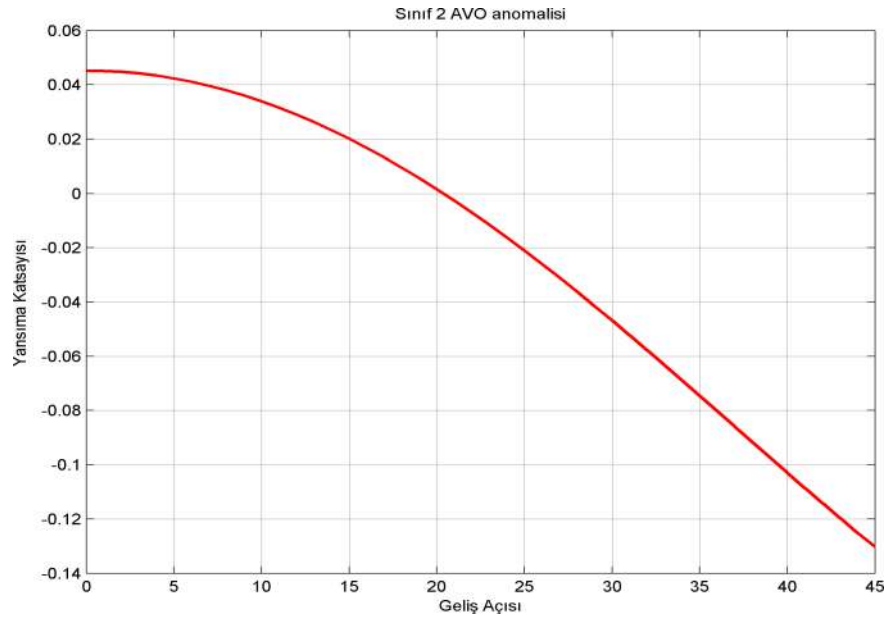
Şekil 2.6 Güçlü yansıtıcı modeli için Sınıf 2 AVO anomali yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği

Sınıf 2 AVO anomalileri gradyent analizlerinde bazı durumlarda Sınıf 1 AVO anomalileri ile karıştırılabilir. Şekil 2.4’deki Sınıf 1 AVO anomali için verilen yansıma katsayısı – geliş açısı grafi ve Şekil 2.8’deki Sınıf 2 AVO anomali için verilen yansıma katsayısı – geliş açısı grafiği pratikte bazı durumlarda benzer şekilde

görülebılır. Özellikle 30 dereceye kadar geliş açısına sahip olan verilerde bu durum gerçekleşebilir. Bu iki AVO sınıfının ayırt edilmesinde alıcı kablo uzunluğu yani ofset uzunluğunun büyük olması avantajdır, ayrıca çapraz çizdirim grafiğinde Sınıf 1 ve Sınıf 2 anomalileri birbirinden daha rahat ayırt edilebilir.



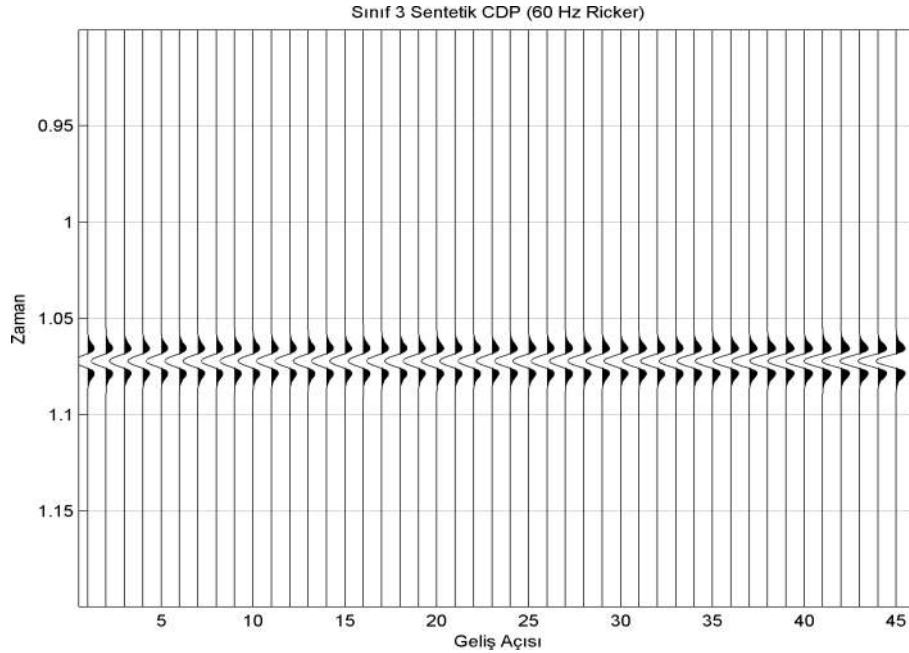
Şekil 2.7 Sınıf 2 AVO anomalisi için sentetik CDP grubu (zayıf yansıtıcı). Kullanılan model parametreleri Tablo 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Zayıf yansıtıcı modeli için Sınıf 2 AVO anomalisi yansıtma katsayısı - geliş açısı grafiği

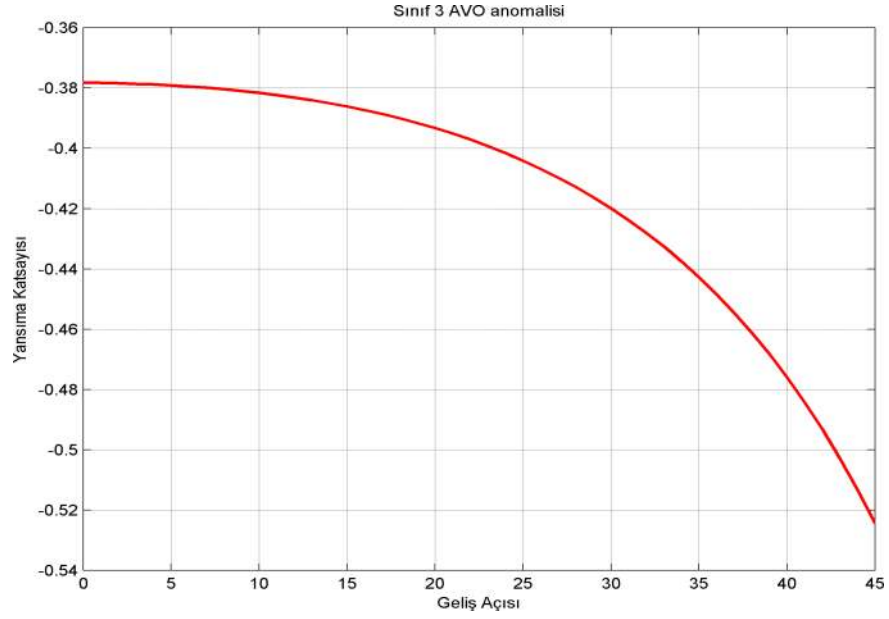
2.3 Sınıf 3 AVO Anomalileri

Hidrokarbon aramacılığında en çok rastlanılan AVO anomalisi türü olup, Sınıf 3 AVO anomalileri sismik kesitler üzerinde parlak nokta (bright spot) anomalileri olarak gözlemlenmektedir. Sismik yığma kesitleri üzerinde en kolay farkedilebilen anomali tipidir. Sınıf 3 AVO anomalileri yakın ofsette negatif genlik değerleri alır ve ofset artışı ile birlikte daha büyük negatif genlik değerleri almaya devam eder. Sınıf 3 anomalileri CDP grupları üzerinde yakın ofsetlerde negatif polariteye sahip ve uzak ofsetlerde çok büyük negatif genlik değerlerine sahiptir. Şekil 2.9, güçlü yansıtıcı için hesaplanmış sentetik Sınıf 3 CDP grubunu, Şekil 2.10 ise bu CDP grubundan elde edilen geliş açısı – genlik eğrisini göstermektedir. Güçlü yansıtıcılar için Sınıf 3 AVO anomalilerindeki ofsete bağlı genlik değişimi CDP grupları üzerinde açık şekilde görülemeyebilir ancak genlik – geliş açısı grafiklerinde genliği ofsete göre artışı net şekilde gözlemlenmektedir.

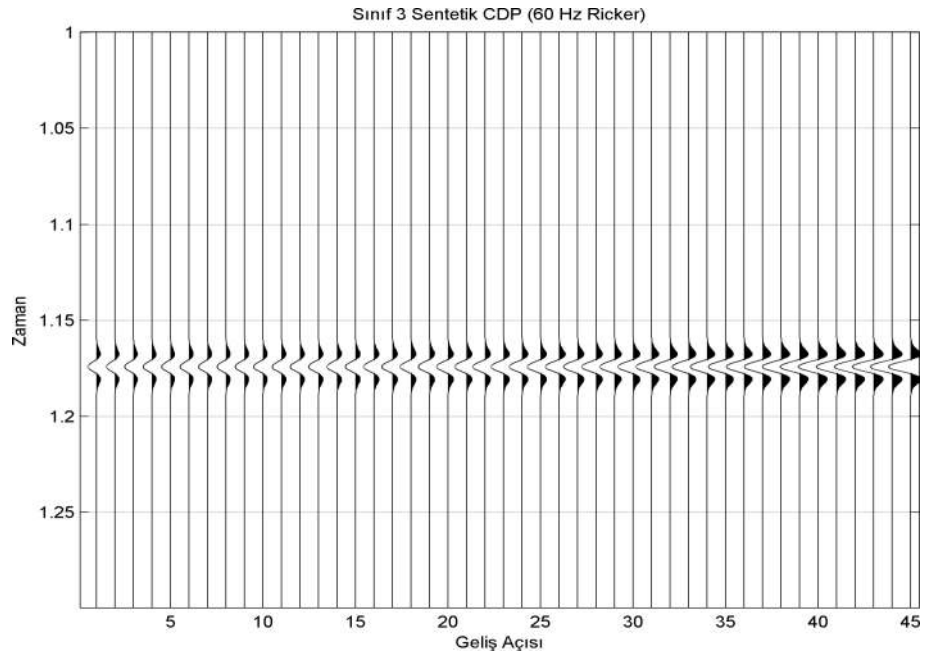


Şekil 2.9 Sınıf 3 AVO anomalisi için sentetik CDP grubu (güçlü yansıtıcı).
Kullanılan model parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Şekil 2.11 zayıf yansıtıcı için hesaplanmış sentetik Sınıf 3 CDP grubunu, Şekil 2.12 ise bu CDP grubundan elde edilen geliş açısı – genlik eğrisini göstermektedir.

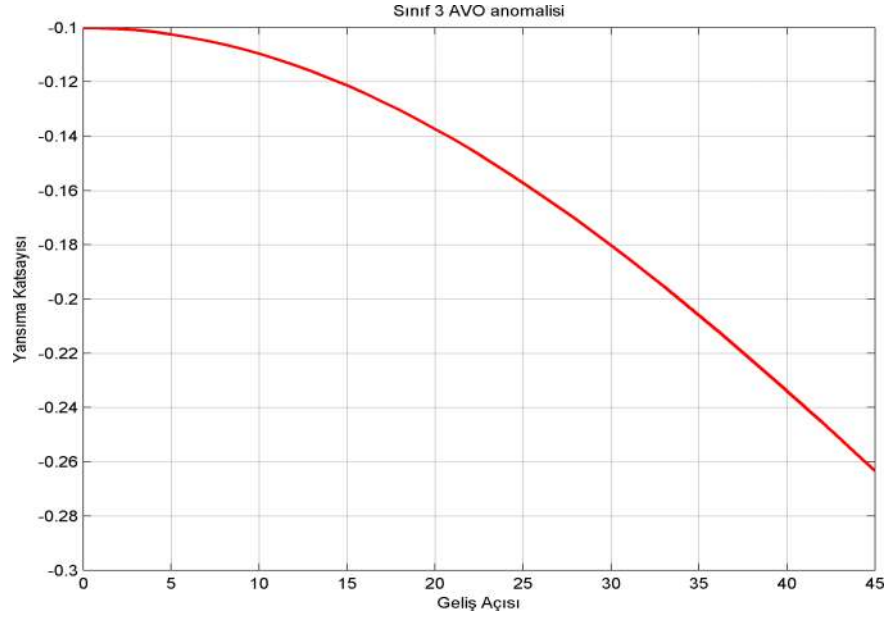


Şekil 2.10 Güçlü yansıtıcı modeli için Sınıf 3 AVO anomali yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği



Şekil 2.11 Sınıf 3 AVO anomali için sentetik CDP grubu (zayıf yansıtıcı). Kullanılan model parametreleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Yansıma katsayısı – geliş açısı grafiklerinde ilk noktada aldıkları genlik değerleri hem güçlü hem zayıf yansıtıcılar için sıfırdan oldukça uzaktadır (Şekil 2.10 ve 2.12).

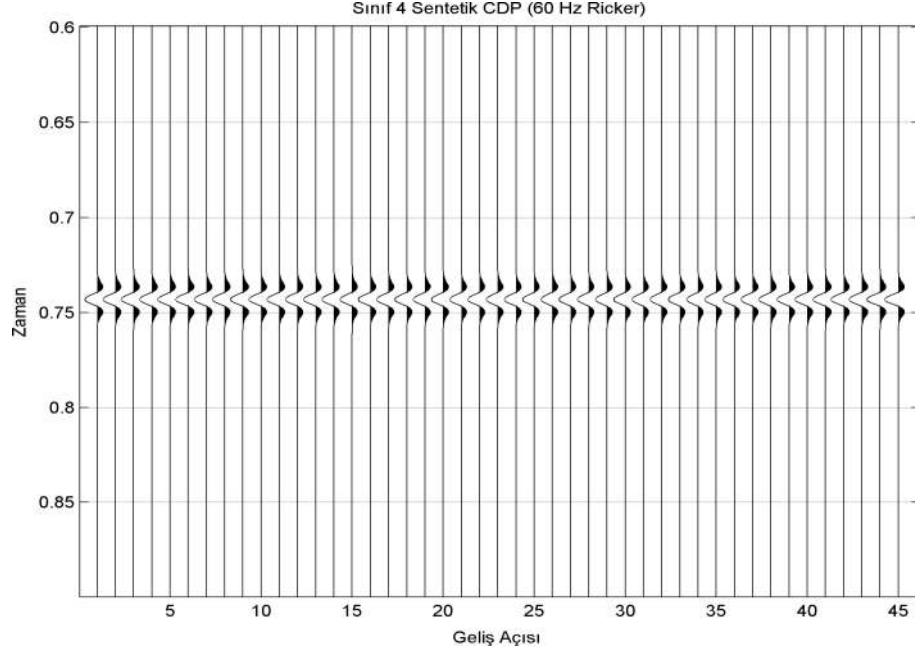


Şekil 2.12 Zayıf yansıtıcı modeli için Sınıf 3 AVO anomalisi yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği

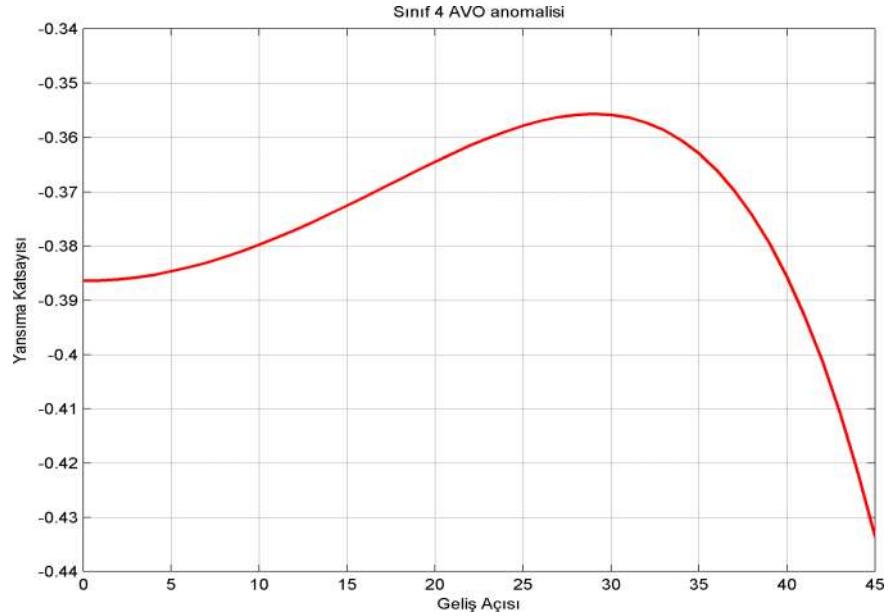
2.4 Sınıf 4 AVO anomalileri

Sınıf 4 AVO anomalileri Sınıf 1 anomalileri gibi hidrokarbon aramacılığında çok az rastlanan bir anomali türüdür. Sıfır ofsette negatif polariteye sahip yüksek genlik değerleri ile başlayarak ofsetin artması ile genlik değerleri düşmektedir. Uzak ofsetlerde hiçbir zaman sıfır veya pozitif genlik değeri bulunmaz.

Güçlü yansıtıcı arayüzeyleri için CDP gruplarında genlik değişimini ayırt etmek zor olabilir ve yansıma katsayısı - geliş açısı grafiğinde ofset artışı ile genlik değerlerinin düşüşünde çok büyük fark görülmemektedir. Şekil 2.13, güçlü yansıtıcı için hesaplanmış sentetik Sınıf 4 CDP grubunu, Şekil 2.14 ise bu CDP grubundan elde edilen geliş açısı – genlik eğrisini göstermektedir. Zayıf arayüzey yansıtıcıları için ise Sınıf 3 anomalilerinin tersine ofset artışı ile genlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmektedir ve Yansıma Katsayısı-Geliş Açısı grafiğinde ofset artışı ile genlik değerinin hızlı bir şekilde düştüğü gözlemlenmektedir. Şekil 2.15, zayıf yansıtıcı için hesaplanmış sentetik Sınıf 4 CDP grubunu, Şekil 2.16 ise bu CDP grubundan elde edilen geliş açısı – genlik eğrisini göstermektedir.

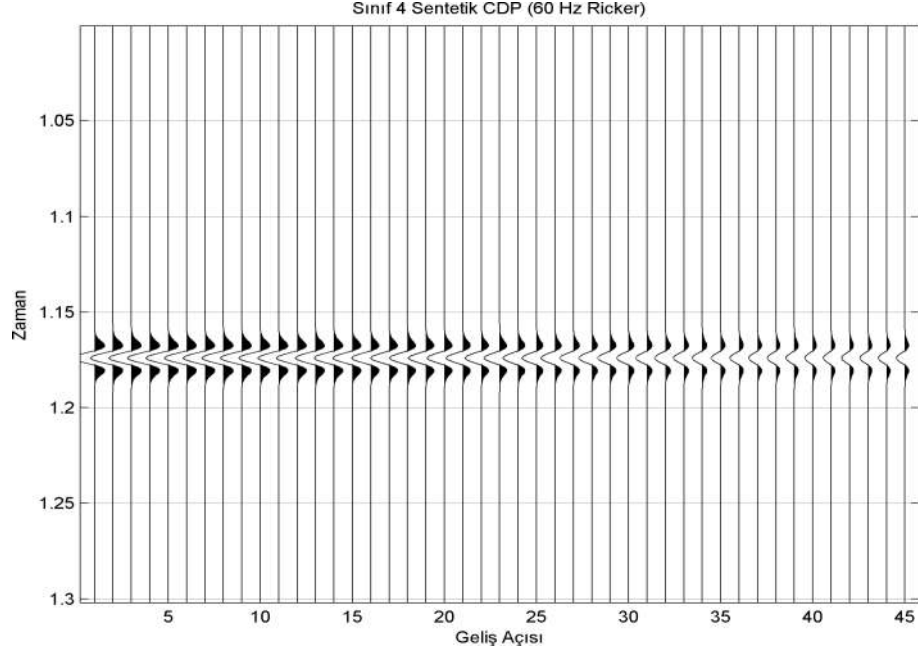


Şekil 2.13 Sınıf 4 AVO anomali için sentetik CDP grubu (güçlü yansıtıcı). Kullanılan model parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

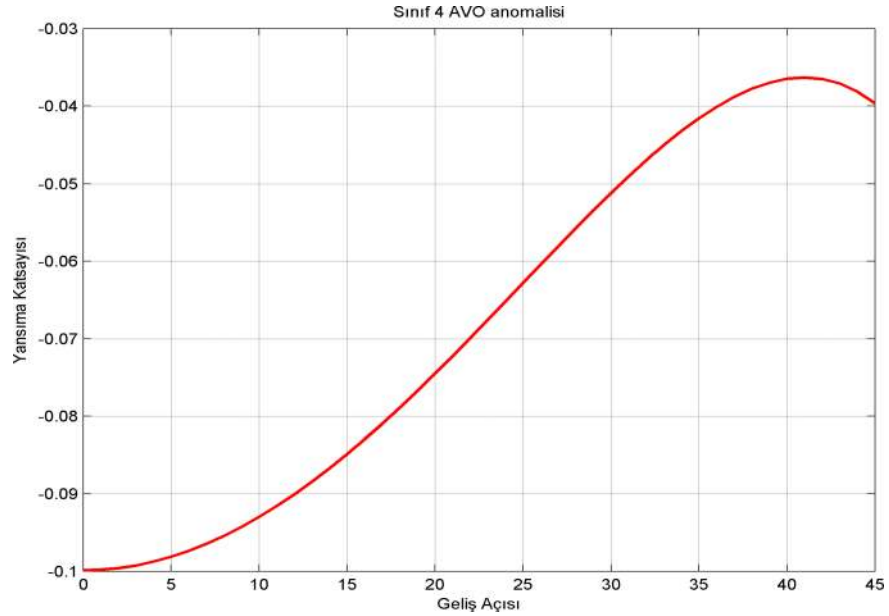


Şekil 2.14 Güçlü yansıtıcı modeli için Sınıf 4 AVO anomali yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği

Şekil 2.13’de güçlü yansıtıcı modeli için Sınıf 4 CDP grubunda genlik değerlerinin geliş açısı ile azalışı net şekilde gözlenememekle beraber Şekil 2.14’de yansıma katsayısı – geliş açısı grafiğinde 30 dereceden sonra Aki-Richards yaklaşımı doğru sonuç vermemektedir.



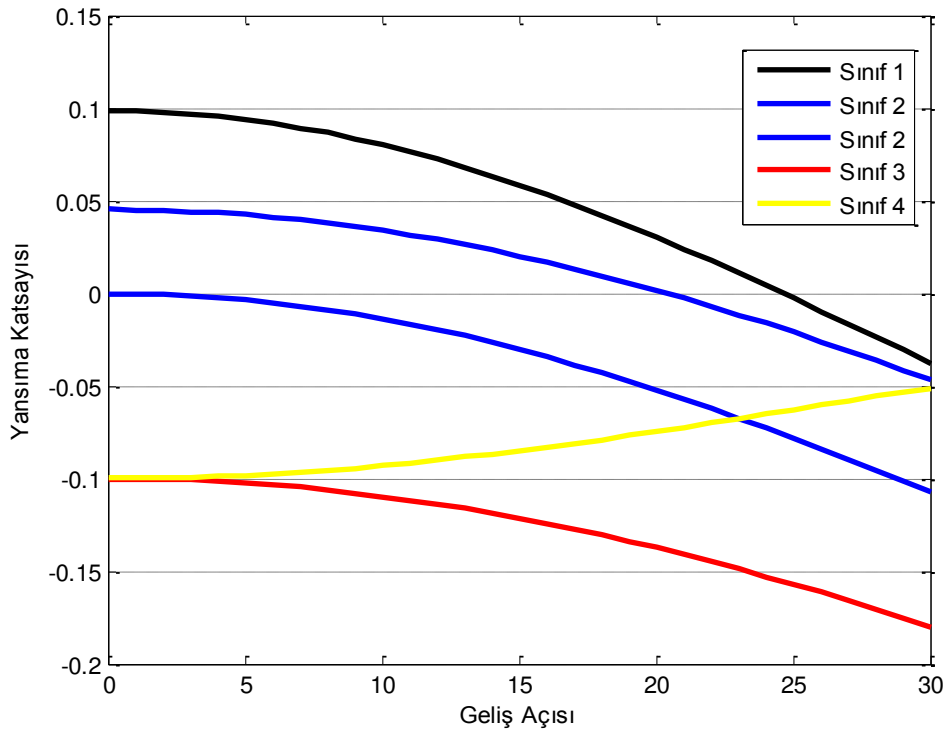
Şekil 2.15 Sınıf 4 AVO anomali için sentetik CDP grubu (zayıf yansıtıcı).
Kullanılan model parametreleri Tablo 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.16 Zayıf yansıtıcı modeli için Sınıf 4 AVO anomali yansıma katsayısı - geliş açısı grafiği

Şekil 2.17’de AVO sınıflarının gösterimi için yapılan modelleme çalışmalarında zayıf yansıtıcı modelleri için tüm AVO sınıfları yansıma katsayısı – geliş açısı grafiğinde çizdirilmiştir. Sınıf 2 AVO anomalisinin güçlü ve zayıf yansıtıcılar arasında çok büyük fark bulunmadığından literatürde her iki şekilde verilmektedir,

bu yüzden Şekil 2.17’de zayıf ve güçlü yansıtıcılar için genlik eğrisi çizdirilmiştir. Sınıf 1 AVO anomalilerinin genlik polaritesi 25 derecen sonra negatif olmaktadır. Sınıf 2 AVO anomalileri yansıma katsayısı değeri sıfırdan başlayarak negatif değerde büyümekte veya sıfıra çok yakın başlayarak polarite değişimi göstererek negatif değerlerde artmaktadır. Sınıf 3 AVO anomalileri negatif yansıma katsayısı değeri olarak ofset ile artmaktadır. Sınıf 4 AVO anomalileri negatif yansıma katsayısı değeri olarak ofset ile azalmaktadır. Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalileri yansıma katsayısı – geliş açısı grafiklerinde birbirine ters şekilde davranış sergilemektedir.



Şekil 2.17 AVO sınıflarının Yansıma Katsayısı-Geliş Açısı grafiği üzerinde gösterimi

2.5. Gazlı Kum - Tuzlu Suya Doygun Kum Modellemeleri

Sedimanlar içerisinde yer alan tuzlu suya doymun kum arayüzeylerinden elde edilen yansılarda ofsete bağlı olarak genlik değişimi görülmektedir. Ancak bu arayüzeylerde gözlenen genlik değişimleri gazlı kum arayüzeyleri kadar belirgin değildir. Dolayısıyla yansıma katsayısı – geliş açısı grafiklerinde daha düşük genlik değerlerinde daha az eğim göstereceklerdir. AVO sınıfları için tuzlu suya doymun

kum ve gazlı kum arayüzeyleri için sentetik CDP ler üretilmiştir ve yansımaya katsayısı – geliş açısı grafiğinde çizdirilmiştir.

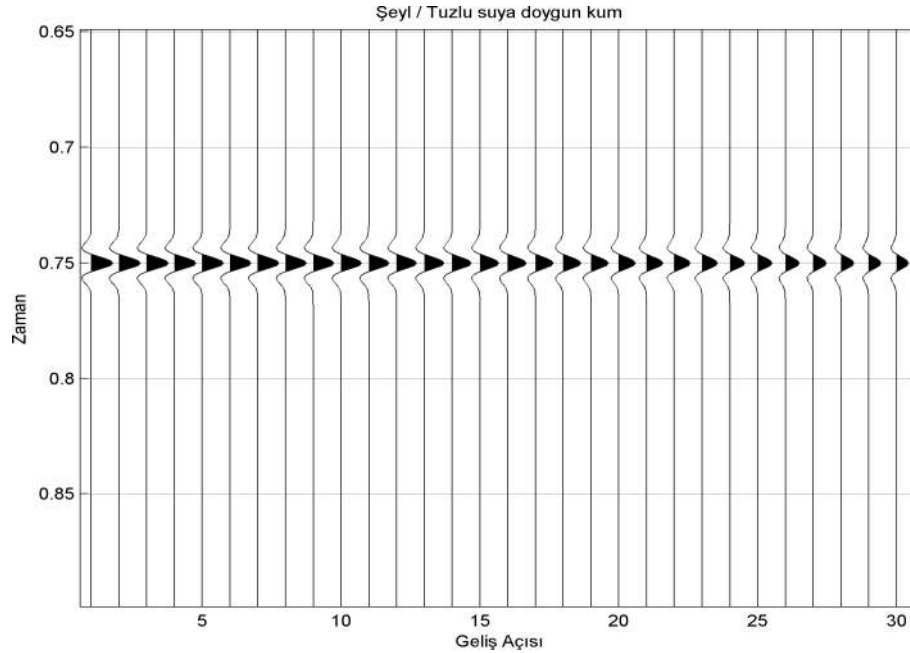
2.5.1 Sınıf 1 AVO Anomalileri

Tablo 2.3’de Sınıf 1 AVO anomalisi Şeyl / Tuzlu suya doymuş kum ve Şeyl/ Gazlı kum modellemeleri için P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluk parametreleri verilmiştir.

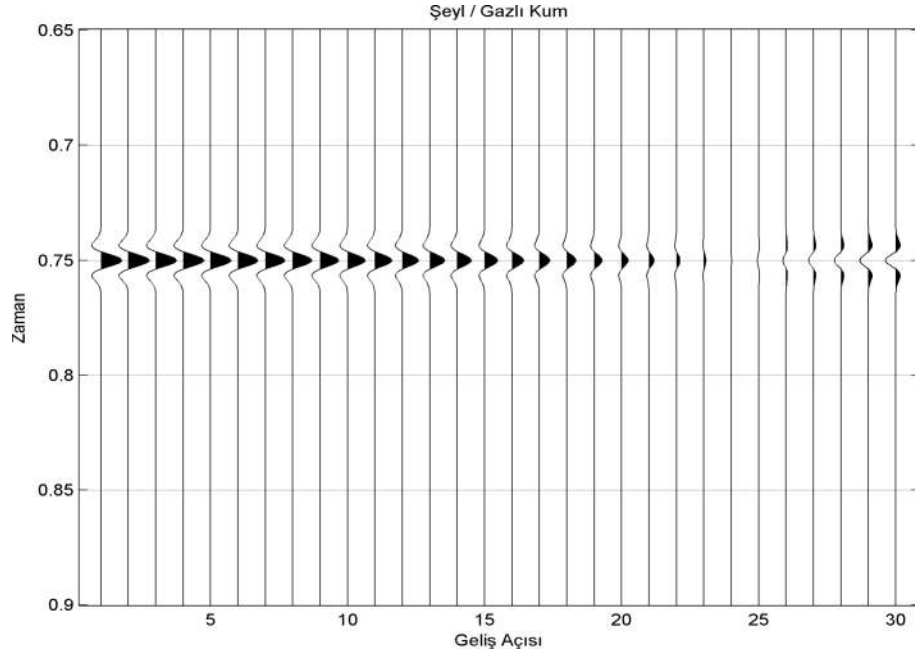
Tablo 2.3 Sınıf 1 AVO anomalisi için tuzlu su / gaz modelleme parametreleri (Antonio, 2001).

Sınıf 1	α_1 (m/s)	β_1 (m/s)	ρ_1 (kg/m ³)
Şeyl	3210	1600	2390
Tuzlu suya doymuş Kum	4550	2610	2440
Gazlı Kum	3960	2800	2410

Şekil 2.18’de Şeyl / Tuzlu suya doymuş kum modellemesi için oluşturulan Sınıf 1 sentetik CDP grubu, Şekil 2.19 ise Şeyl / Gazlı kum modellemesi için oluşturulan Sınıf 1 sentetik CDP grubu görülmektedir.

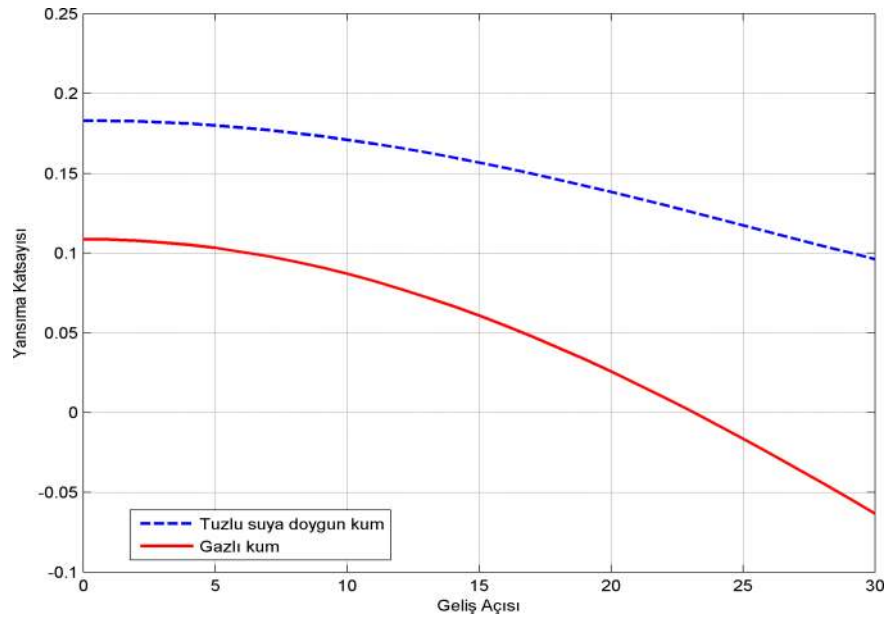


Şekil 2.18 Sınıf 1 AVO anomalisi için Şeyl / Tuzlu suya doymuş kum arayüzeyi için sentetik CDP



Şekil 2.19 Sınıf 1 AVO anomalisi için Şeyl / Gazlı kum arayüzeyi için sentetik CDP

Şekil 2.20’de Sınıf 1 AVO anomalisi için tuzlu suya doymuş kumun genliği ofset ile küçük artış gösterirken, gazlı kumun genliği ofset ile büyük artış göstermektedir.



Şekil 2.20 Sınıf 1 AVO anomalisi için gazlı kum ve tuzlu suya doymuş kumun yansıma katsayısı – geliş açısı grafiğindeki davranışı

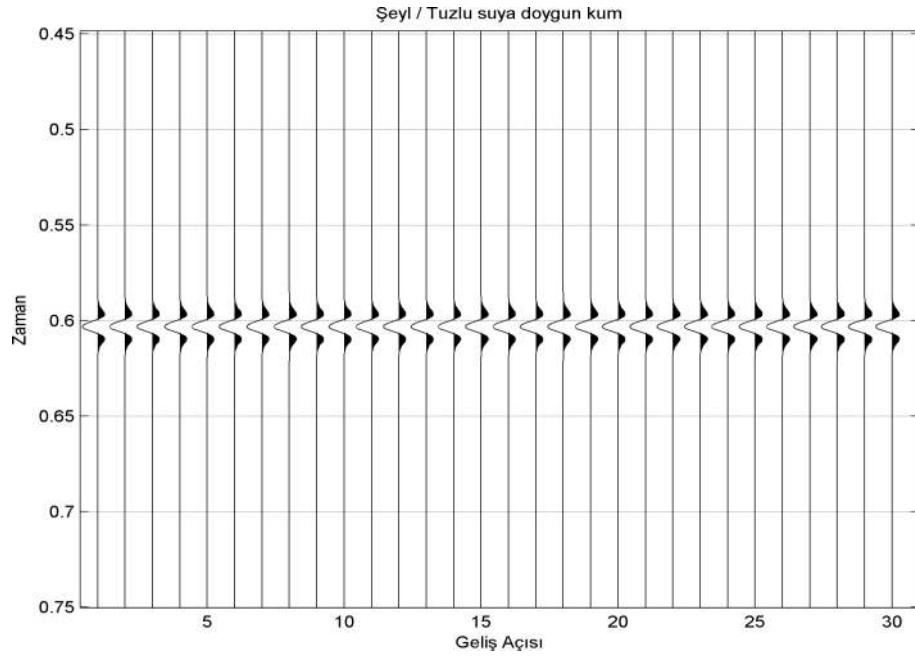
2.5.2 Sınıf 3 AVO Anomalileri

Tablo 2.4’de Sınıf 3 AVO anomalisi Şeyl / Tuzlu suya doymun kum ve Şeyl/ Gazlı kum modellemeleri için P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluk parametreleri verilmiştir.

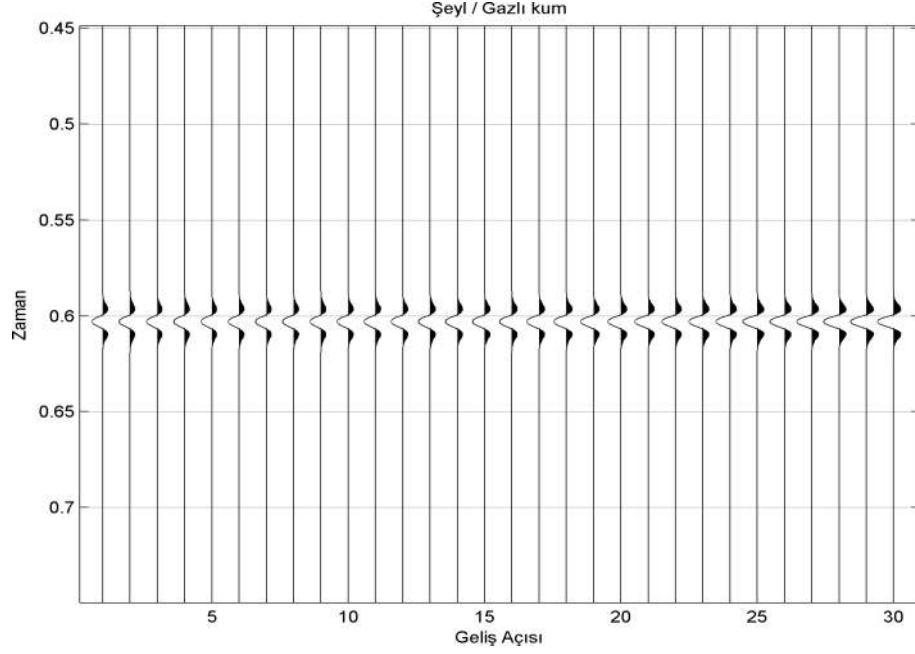
Tablo 2.4 Sınıf 3 AVO anomalisi için tuzlu su / gaz modelleme parametreleri (Antonio, 2001).

Sınıf 3	α_1 (m/s)	β_1 (m/s)	ρ_1 (kg/m ³)
Şeyl	4060	2180	2580
Tuzlu suya doymun Kum	4060	2340	2300
Gazlı Kum	3620	2580	2300

Şekil 2.21’de Şeyl / Tuzlu suya doymun kum modellemesi için oluşturulan Sınıf 3 sentetik CDP grubu, Şekil 2.22 ise Şeyl / Gazlı kum modellemesi için oluşturulan Sınıf 3 sentetik CDP grubu görülmektedir.

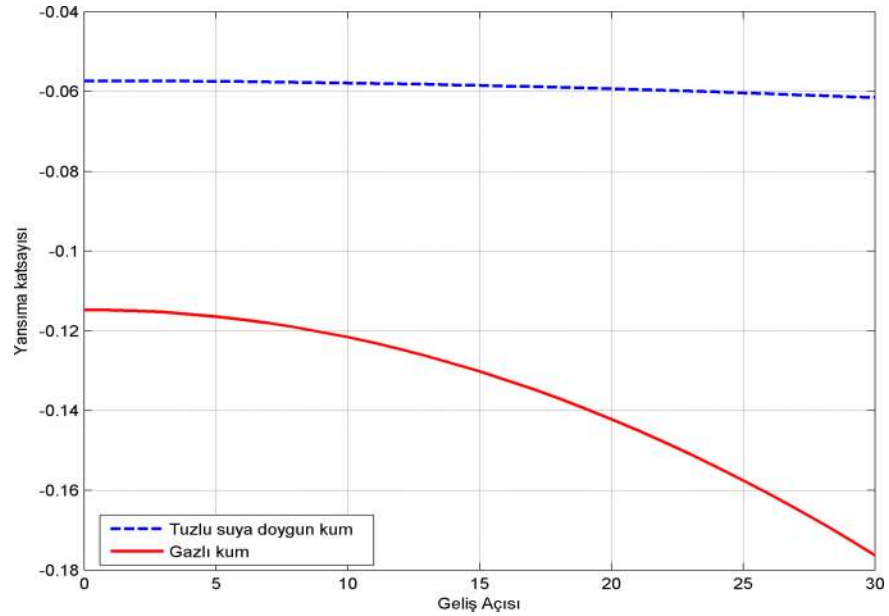


Şekil 2.21 Sınıf 3 AVO anomalisi için Şeyl / Tuzlu suya doymun kum arayüzeyi için sentetik CDP



Şekil 2.22 Sınıf 3 AVO anomalisi için Şeyl / Gazlı kum arayüzeyi için sentetik CDP

Şekil 2.23’de Sınıf 3 AVO anomalisi için tuzlu suya doymuş kumun genliği ofset ile neredeyse hiç artış göstermezken, gazlı kumun genliği ofset ile büyük artış göstermektedir.



Şekil 2.23 Sınıf 3 AVO anomalisi için gazlı kum ve tuzlu suya doymuş kumun yansım katsayısı – geliş açısı grafiğindeki davranışı

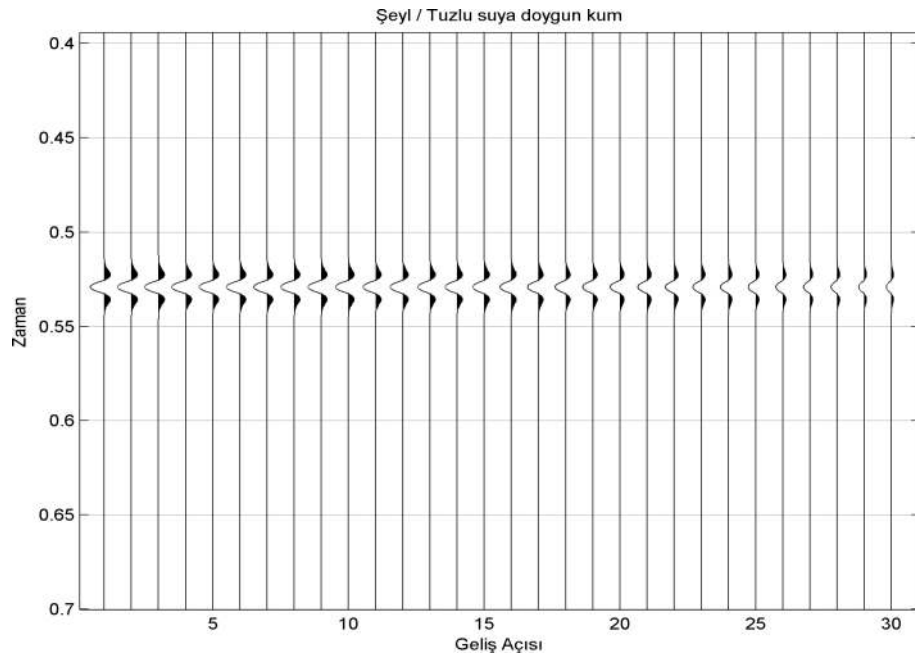
2.5.3 Sınıf 4 AVO Anomalileri

Tablo 2.5’de Sınıf 4 AVO anomalisi Şeyl / Tuzlu suya doymun kum ve Şeyl/ Gazlı kum modellemeleri için P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluk parametreleri verilmiştir.

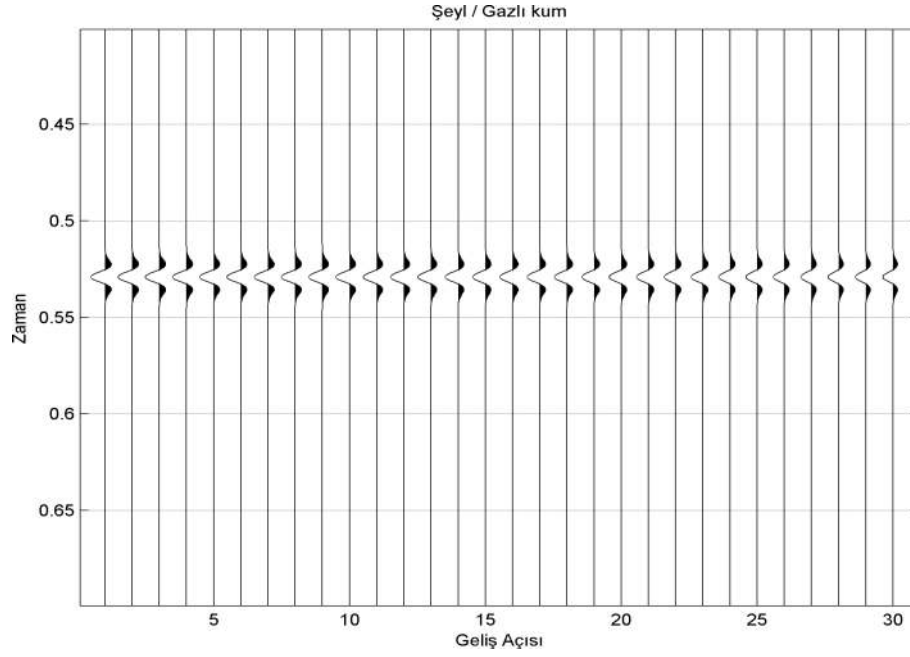
Tablo 2.5 Sınıf 4 AVO anomalisi için tuzlu su / gaz modelleme parametreleri (Antonio, 2001).

Sınıf 4	α_1 (m/s)	β_1 (m/s)	ρ_1 (kg/m ³)
Şeyl	4690	2610	2490
Tuzlu suya doymun Kum	4060	2030	2400
Gazlı Kum	3700	2060	2260

Şekil 2.24’de Şeyl / Tuzlu suya doymun kum modellemesi için oluşturulan Sınıf 4 sentetik CDP grubu, Şekil 2.25 ise Şeyl / Gazlı kum modellemesi için oluşturulan Sınıf 4 sentetik CDP grubu görülmektedir.

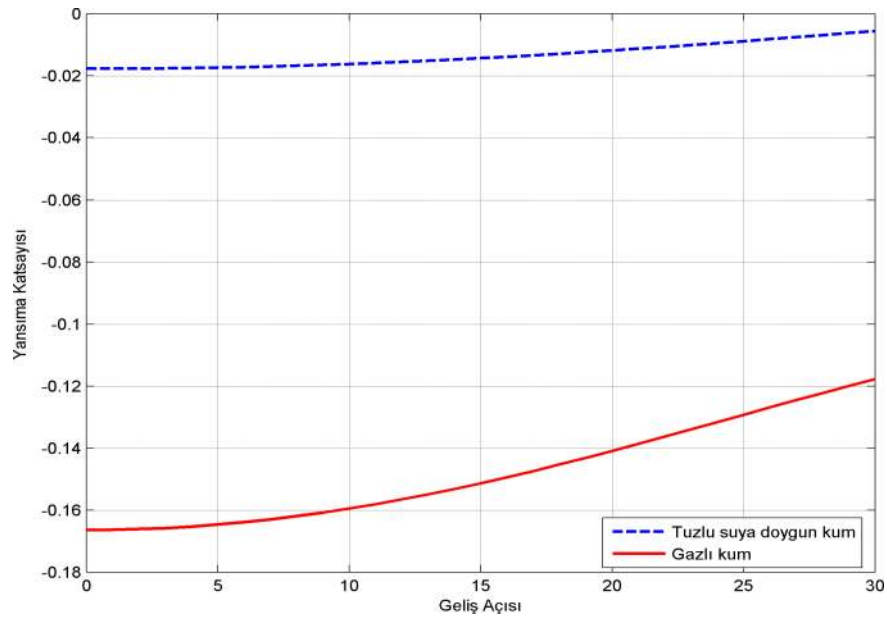


Şekil 2.24 Sınıf 4 AVO anomalisi için Şeyl / Tuzlu suya doymun kum arayüzeyi için sentetik CDP



Şekil 2.25 Sınıf 4 AVO anomalisi Şeyl / Gazlı kum arayüzeyi için sentetik CDP

Şekil 2.26’de Sınıf 4 AVO anomalilesi için tuzlu suya doymun kumun genliği ofset ile neredeyse hiç azalma göstermezken, gazlı kumun genliği ofset ile büyük azalış göstermektedir.



Şekil 2.26 Sınıf 4 AVO anomalisi için gazlı kum ve tuzlu suya doymun kumun yansıma katsayısı – geliş açısı grafiğindeki davranışı

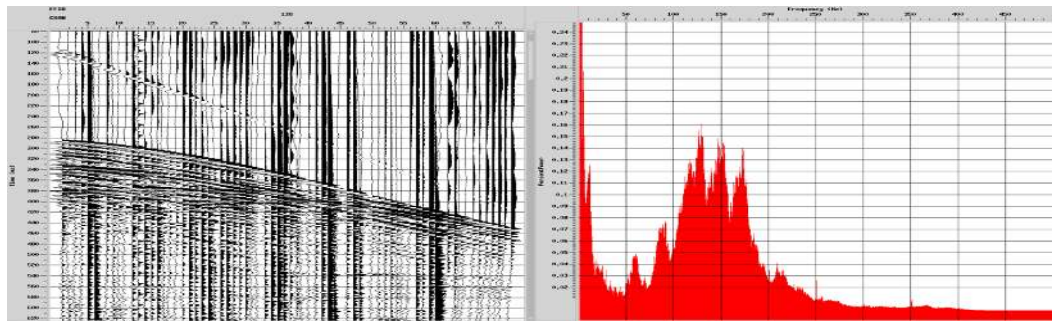
BÖLÜM ÜÇ

AVO ANALİZİ ÖNCESİ VERİ – İŞLEM AŞAMALARI

Sismik kesit üzerinde anomali gösteren bölgelere AVO analizleri uygulanmadan önce veri analize hazır hale getirilmelidir. Bunun için standart veri işlem aşamalarının yanı sıra, analiz için veriye bazı özel veri işlem aşamaları da uygulanmaktadır. Yansıma sismiği versine AVO analizi uygulanabilmesi için Normal Kayma Zamanı düzeltmesi uygulanmış ortak derinlik noktası grupları gerekmektedir. Ham sismik veriye sırasıyla bant geçişli süzgeçleme, F-K süzgeci, CDP sıralama, hız analizi ve normal kayma zamanı düzeltmesi uygulanmaktadır. Aşağıda kısaca bu veri işlem aşamalarından bahsedilmiştir.

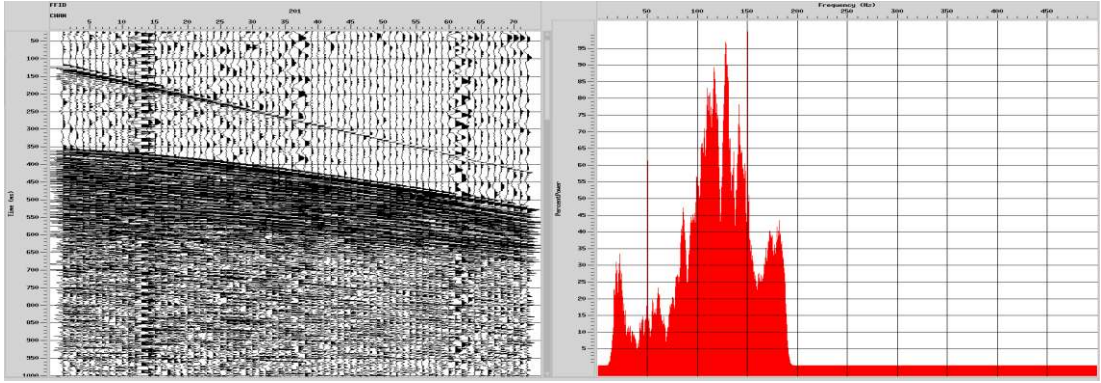
3.1 Bant Geçişli Süzgeç

Sismik verinin süzgeçlenme işlemi frekans ortamında genlik spektrumunda gürültü olarak belirlenen frekans bileşenlerini veriden atmak olarak tanımlanabilir. Teoride alçak geçişli, yüksek geçişli, bant geçişli, bant kesmeli gibi birçok farklı süzgeç türü bulunmakla birlikte, sismik veri işlemde genellikle bant geçişli süzgeç kullanılmaktadır. Bu süzgeç sismik verideki düşük frekanslı deniz dalgası gürültüsü (swell) ve çok yüksek frekanslı gelişigüzel gürültünün veriden atılmasında kullanılır (Dondurur, 2009). Şekil 3.1 de sağ tarafta bulunan, düşey eksen zaman ve yatay eksen kanal olan, atış üzerinde dikey gürültüler gözlemlenmektedir. Sağ tarafta atışa ait ortalama genlik spekturumu gösterilmektedir. Yatay eksenden okunan frekans değerlerine bakıldığında düşük frekanslı ve çok yüksek genlikli deniz dalgası gürültüsü görülmektedir.



Şekil 3.1 Tek bir grubu (solda)ve ortalama genlik spekturumu (sağda).

Bu çalışmada kullanılan deniz sismiği yansıma verilerinde ham atış gruplarında çok yüksek genlikli düşük frekanslı deniz dalgası gürültüsü ve yüksek frekanslı gelişli güzel gürültüler gözlenmektedir. Gürültülerin olduğu kısımlar bant geçişli süzgeç ile veriden atılmıştır. Şekil 3.2. görüldüğü üzere uygulanan bant-geçişli süzgeçten sonra atış ve genlik spektrumunda deniz dalgası gürültüsünün giderildiği gözlemlenmektedir.

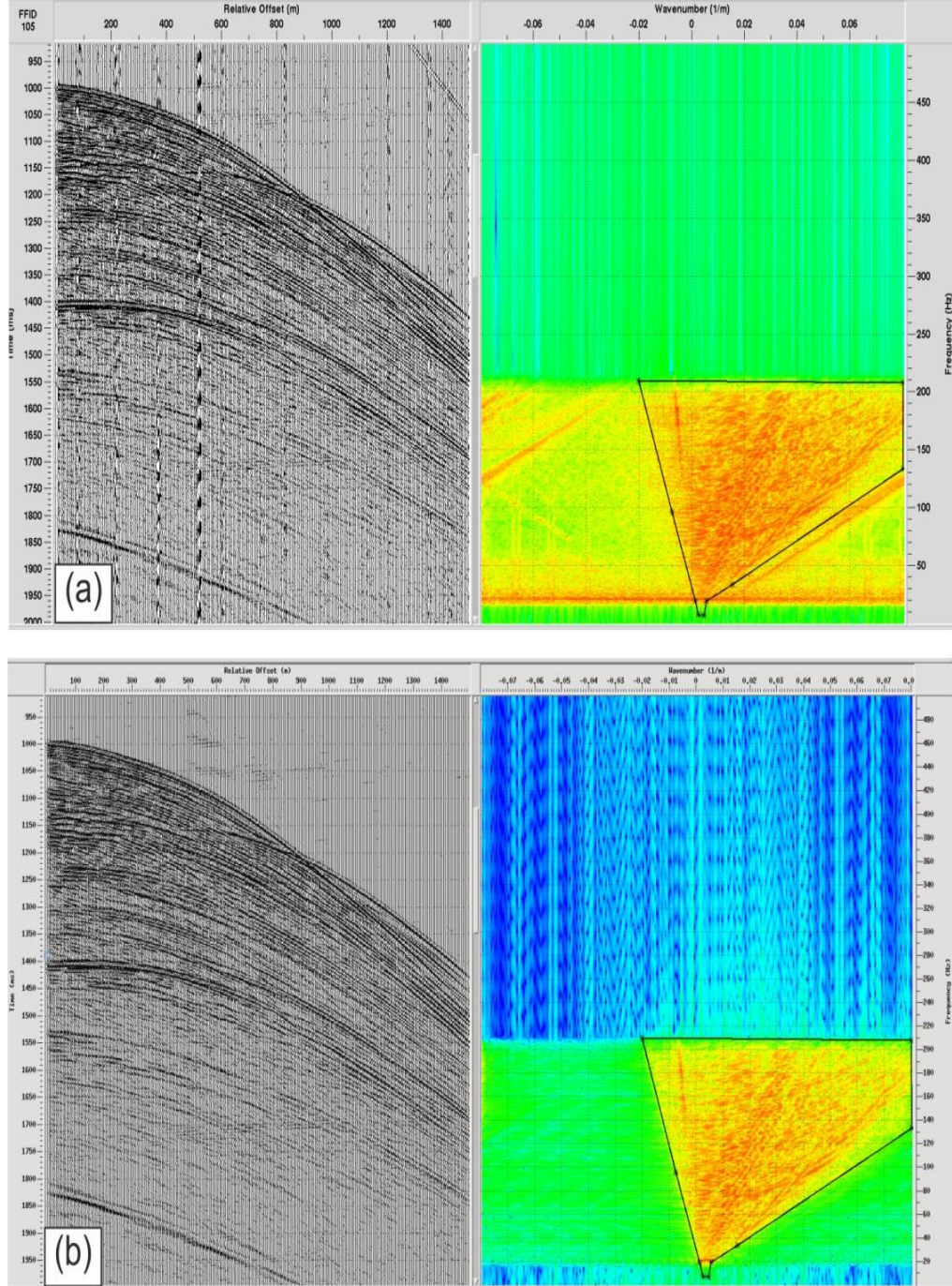


Şekil 3.2 Şekil 3.1'deki atış grubunun bant geçişli süzgeç sonrası görünümü (solda) ve ortalama genlik spektrumu (sağda).

3.2 F-K Süzgeci

Deniz sismiğinde atış grupları üzerinde farklı eğimlere sahip yansımalar bulunmaktadır. F-K süzgeci uygulamak için Zaman-uzaklık ortamında bulunan atış gruplarını 2B Fourier dönüşümü ile frekans-dalgasayısı ortamına taşınır. Zaman-uzaklık ortamında birbirine girmiş farklı eğime sahip olaylar F-K ortamında birbirinden ayırt edilebilir. Deniz sismiğinde kara sismiğinden farklı olarak gemi pervane gürültüsü, kuyruk şamandırası gürültüsü ve derinlik düzenleyici ünitelerin oluşturduğu gürültüler mevcuttur ve deniz sismiğinde F-K süzgeçlerinin uygulanmasındaki amaç bu doğrusal gürültülerin veriden atılmasıdır (Dondurur, 2009). F-K spektrumunda pozitif ve negatif dalgasayılarına karşılık gelen iki panel mevcuttur. Pozitif panelde yansıma verileri, tekrarlı yansımalar, doğrudan gelen dalga, kablo gürültüsü ve gemi pervane gürültüsü gibi olaylar bulunmaktadır. Negatif panelde ise geri saçılmış sinyaller, kuyruk şamandırası gürültüsü gibi ters eğimli olaylar mevcuttur. Dolayısıyla F-K ortamında süzgeçleme yapılırken büyük kısmı

pozitif panelde bulunan birincil yansımaların bulunduğu kısımdaki genlikleri tutmak, diğer kısımlardaki genlikleri ise sıfırlamak gerekir.



Şekil 3.3 F-K süzgecinin atış gruplarına uygulanışı. (a) F-K süzgeci poligonunun seçilmesi, (b) poligon dışındaki genliklerin sıfırlanmasıyla F-K süzgeci uygulaması sonrası.

3.3 CDP sıralama

Atış gruplarındaki her bir iz ait olduğu atış ve alıcı koordinatlarının tam ortasına taşınır ve aynı ortak derinlik noktasına (common depth point – CDP) ait izler bir araya getirilir (Dondurur, 2009). Oluşturulan iz gruplarına CDP grupları ve CDP grupları oluşturma işlemine CDP sıralama adı verilmektedir. Bir ortak CDP grubunda bulunan iz sayısı o verinin katlanma sayısını göstermektedir. Katlanma sayısı ne kadar yüksek ise, yani aynı noktadan yansıyan ne kadar çok iz kaydedilmişse veri kalitesi yani sinyal-gürültü oranı (S/G) oranı o kadar yüksek olacaktır.

3.4 Hız Analizi ve Normal Kayma Zamanı Düzeltmesi

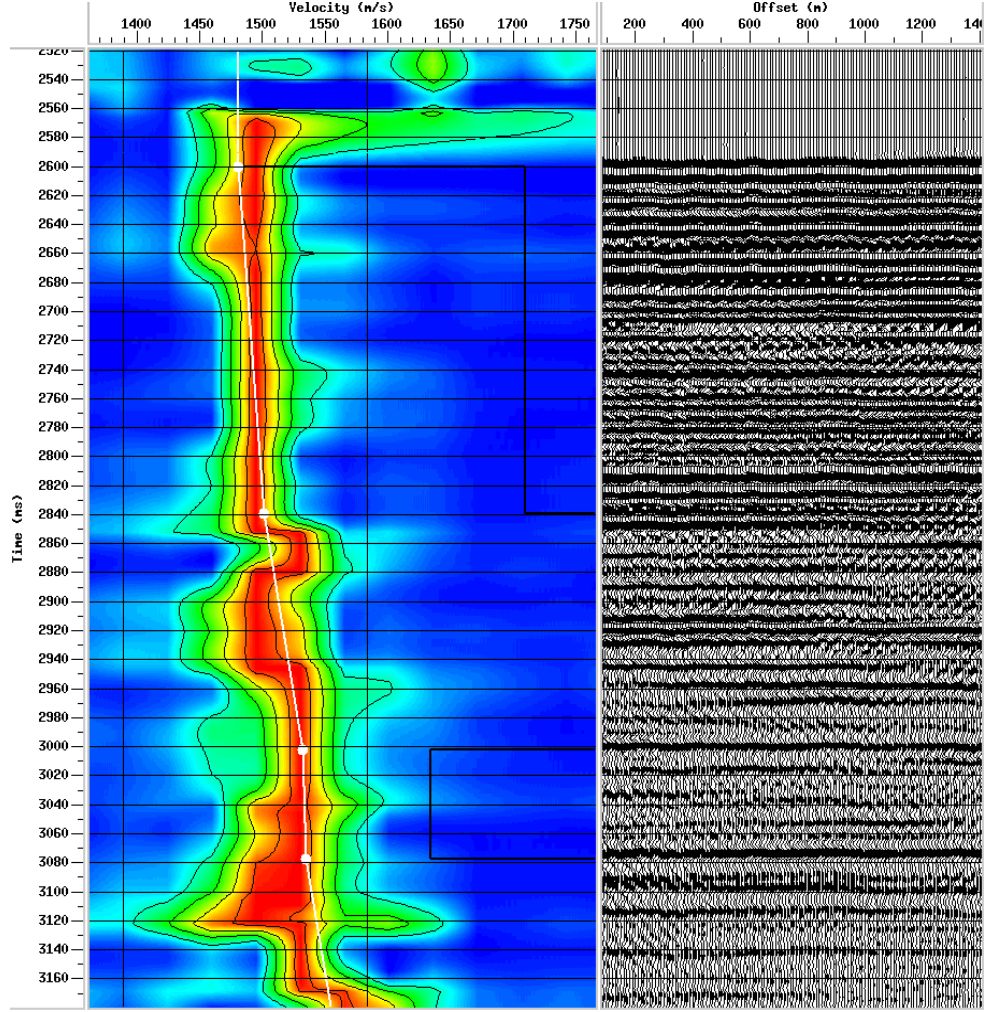
Hız analizi CDP gruplarındaki yansıma izlerinin yatay hale getirilerek, genliklerin toplanması (yığma) ile sismik veri kalitesinin artırılması için yapılmaktadır. Hız analizi belirli CDP grupların üzerinde uygulanarak alanın 2B hız tablosu oluşturulur. Hız tablosu yığma, normal kayma zamanı (NMO) düzeltmesi ve migrasyon işlemlerinde kullanılır.

Deniz sismiğinde hız analizi çoklu CDP grupları (Supergathers) üzerine uygulanmaktadır. Çoklu CDP grupları birbirine bitişik CDP grupları içerisindeki farklı ofsetlere sahip izler bir araya getirilerek oluşturulur. Çoklu CDP grupları, CDP grupları içerisinde bulunan iz sayısından çok daha fazla iz barındırmaktadır.

Normal kayma zamanı (NMO) düzeltmesi için hız analizinde elde edilen sismik dalga hızları kullanılarak, yansımaların her bir alıcıdaki hiperbolik görünümüne neden olan normal kayma zamanları yok edilir ve CDP gruplarındaki birincil yansımalar yatay hale getirilir (Dondurur, 2009). Şekil 3.4’de örnek bir semblans grafiği ve NMO düzeltmesi uygulanmış bir çoklu CDP grubu görülmektedir.

AVO etkisi NMO düzeltmesi yapılmış CDP grupları üzerinde oldukça açık gözlemlenebilmektedir ve bu CDP grupları AVO analizinde giriş verisi olarak

kullanılmaktadır. Bu yüzden hız analizinde doğru hızları seçmek özellikle anomalinin olduğu kısımlardaki hız analizini daha detaylı yapmak analizin daha sonraki veri işlem aşamaları için oldukça önemlidir.



Şekil 3.4 Seçilmiş hız değerlerinin çoklu CDP grubu üzerinde uygulandıktan sonra yansımaların yatay hale gelmesi. Semblans grafiği (solda) ve NMO düzeltmesi uygulanmış çoklu CDP grubunun görünümü (sağda).

3.5 Küresel Açılım Düzeltmesi (Spherical Divergence Correction)

Bir kaynaktan yayılan sinyal tabakalar içerisine girene kadar ve girdikten sonra sinyalin genliğini etkileyen bir çok faktör ile karşılaşır. Genel olarak dalga genliğini

etkileyen faktörler, arayüzeylerde enerji paylaşımı, saçılma, ince tabaka etkileri ve en önemlileri küresel açılım ve soğrulmadır.

AVO analizlerinde genlik değerlerinin önemi oldukça büyüktür. Küresel açılım düzeltilmesi uygulanarak, sismik sinyalin kaybolan genlik değerleri geri getirilebilmektedir. Tabakalı ortam için küresel açılımdan kaynaklanan genlik azalmanın geri karşılanması için uygulanan işlem Denklem (3.1)'de görülmektedir.

$$g(t) = \left[\frac{V(t)}{V(0)} \right]^2 \left[\frac{t}{t(0)} \right] \quad (3.1)$$

Hız analizinin tamamlandıktan sonra normal kayma zamanı düzeltilmesi yapılmış CDP ler üzerinde küresel açılım düzeltilmesi uygulanır. Sinyalin yüksek frekanslı bileşenleri daha fazla soğrulmaya maruz kalmaktadır. Küresel açılım düzeltilmesi sinyalin frekans içeriğini değiştirmez ve bu kaybolan yüksek frekanslı bileşenleri geri kazandırmaz, ancak geç varışlardaki genlik kayıplarının geri kazanılmasını Böylece derin kısımlardaki genlikler daha belirgin hale gelir.

3.6 Dizinim Düzeltmesi (Array Correction)

Sismik veri toplanırken, kaynaktan çıkan sinyal bir ara yüzeyden yansıdığından oluştuğu dalga alanın genişlemesi yüzünden yanyana bulunan alıcılar tarafından kayıt edilir. Bu durum, sürekli bir dalga alanın bölünerek süzgeçlenmesi gibi düşünülebilir ve enerji kaybına yol açmaktadır (Buland, 1996). Özellikle uzak ofsetlerde yansıyan sinyalin enerji kaybını artıracaktır. Kaynak ve alıcı dizinimlerinden kaynaklanan bu etkinin düzeltilmesi için doğrusal dizinim yapıldığı varsayılarak enerji kaybı hesaplanır ve veriye geri kazandırılır. Dalgacığın tek bir f frekanstan oluştuğu ve enerjinin N adet alıcı tarafından zayıflatıldığı varsayılırsa, dizinim etkisi Denklem (3.2)'de görülmektedir. Burada d alıcılar arasındaki mesafe, V_a ise görünür hızdır.

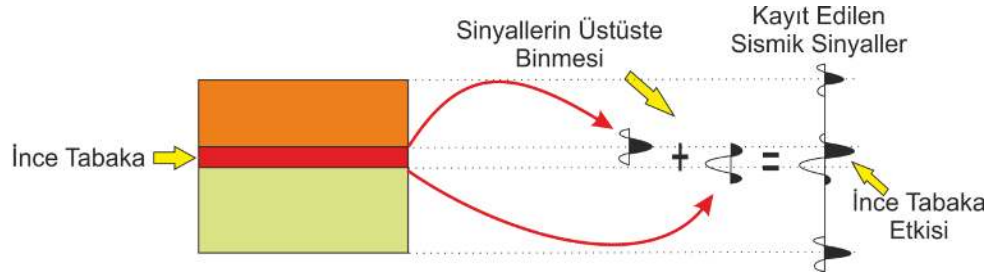
$$R = \frac{1}{N} \frac{\sin(N\pi fd/V_a)}{\sin(\pi fd/V_a)} \quad (3.2)$$

3.7 Yığma (Stack)

Yığma işlemi ile NMO düzeltmesi uygulanmış CDP gruplarındaki bütün izler basitçe toplanır ve sıfır ofset iz olan tek bir iz (yığma izi) elde edilir (Dondurur, 2009). Elde edilen iz sayısı verideki CDP sayısına eşittir. Tüm izler çizdirilerek yığma kesiti elde edilir ve kesit üzerinde anomali gösteren kısımlar görülebilir.

3.8 İnce Tabaka Etkileri

Tabaka arayüzeyine gelen sismik sinyalin bir kısmı tabaka arayüzeyinden yansıtılarak alıcıda kaydedilirken, kalan kısmı alt ortama iletilir. Eğer ortamda çok ince tabakalar mevcut ise alıcıda kaydedilen sinyallerin genliği üstüste binebilir (interference) ve aslında var olmayan büyük genlik anomalileri ortaya çıkartabilir, buna ince tabaka etkisi (thin streak) adı verilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 İnce tabaka etkisinin şematik gösterimi

İnce tabakalar kayıt edilen sismik izlerde, sismik sinyalin çözünürlüğünün hesaplanması ile ayırt edilebilmektedir. Bir sismik sistemin ayırt edebileceği ince tabaka kalınlığı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir;

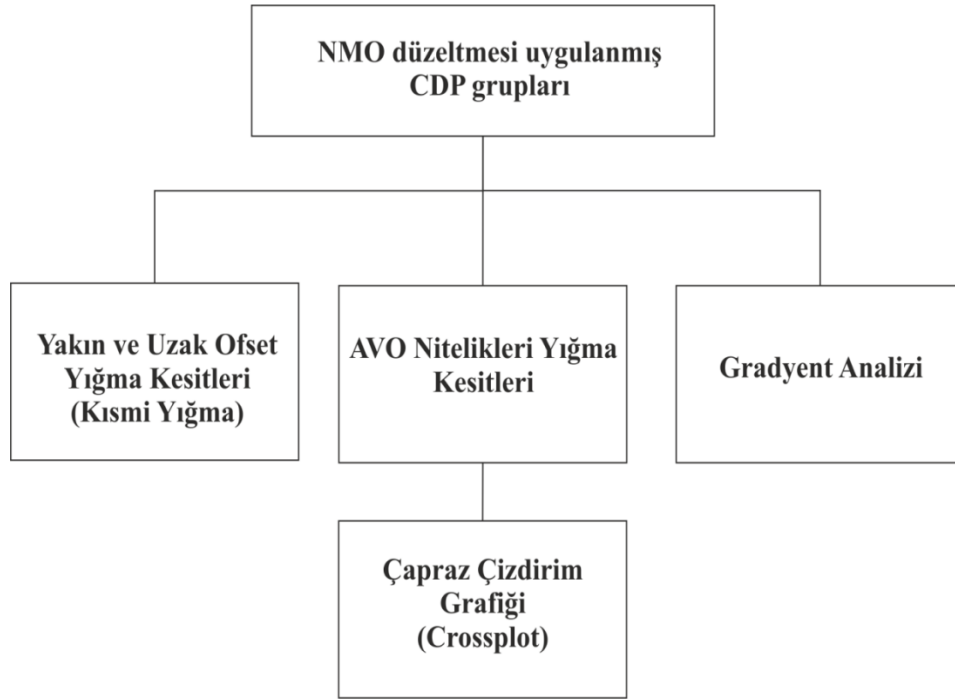
$$\lambda = V_i / f_d \quad (3.3)$$

Burada λ sismik sinyalin dalga boyunu göstermektedir. V_i tabakaya ait ara hızı ve f_d de baskın frekansı temsil etmektedir. Ayırt edilebilen tabaka kalınlığı dalga boyunun dörtte biri kadardır ($\lambda/4$).

BÖLÜM DÖRT

AVO ANALİZİ

AVO analizlerinde giriş verisi olarak normal kayma zamanı düzeltmesi uygulanmış CDP grupları kullanılmaktadır. Analizde öncelikli olarak anomali veren kısımlar için yakın ve uzak ofset yığma kesitleri çıkartılır. Sonrasında CDP grupları üzerinde gradyent analizi uygulanarak ofsete bağlı genlik değişimi gözlemlenir. CDP gruplarında görülen anomalilerin daha belirgin görülmesi için çoklu CDP grupları oluşturulur. Gradyent analizinden sonra AVO nitelikleri hesaplanır ve her bir nitelik için yığma kesitleri çizdirilir. Son olarak hesaplanan AVO niteliklerinden Çapraz Çizdirim (Crossplot) grafiği oluşturulur. AVO analizlerinde yapılan tüm işlemler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

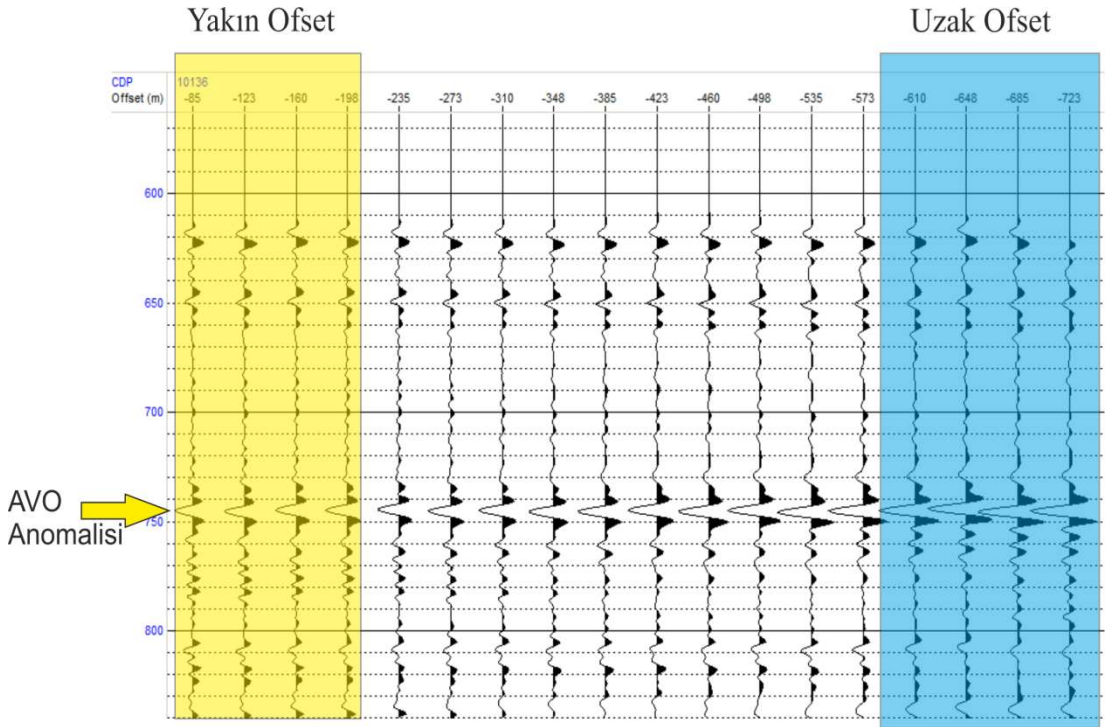


Şekil 4.1 AVO analizleri için veri işlem akış şeması

4.1. Yakın ve Uzak Ofset Yığma Kesitleri

AVO anomalileri ofset ile farklı genlik değişimleri göstermektedir. CDP grubu üzerinde gözlemlenen ofset artışı ile AVO anomalisi veren genlik değerlerinin yakın ve uzak ofsetlerdeki değişimi açık şekilde gözükmetedir. Anomali yansımalar,

sismik kesit üzerinde sadece yüksek genlikli parlak noktalar veya düşük genlikli sönük noktalar olarak görülmektedir. Yığma kesitleri oluşturulurken CDP gruplarındaki tüm izler yerine yakın ve uzak ofsetler ayrı ayrı yığma kesiti olarak çizdirilirse yakın ofset ve uzak ofset yığma kesitleri arasında AVO anomali veren kısımlardaki genlik farkları ortaya çıkacaktır. Şekil 4.2’de bir CDP grubu için yakın ofset (sarı) ve uzak ofset (mavi) yığma için seçilen izler gösterilmiştir. AVO anomali veren seviyedeki genlik değişimi açıkça görülmektedir.



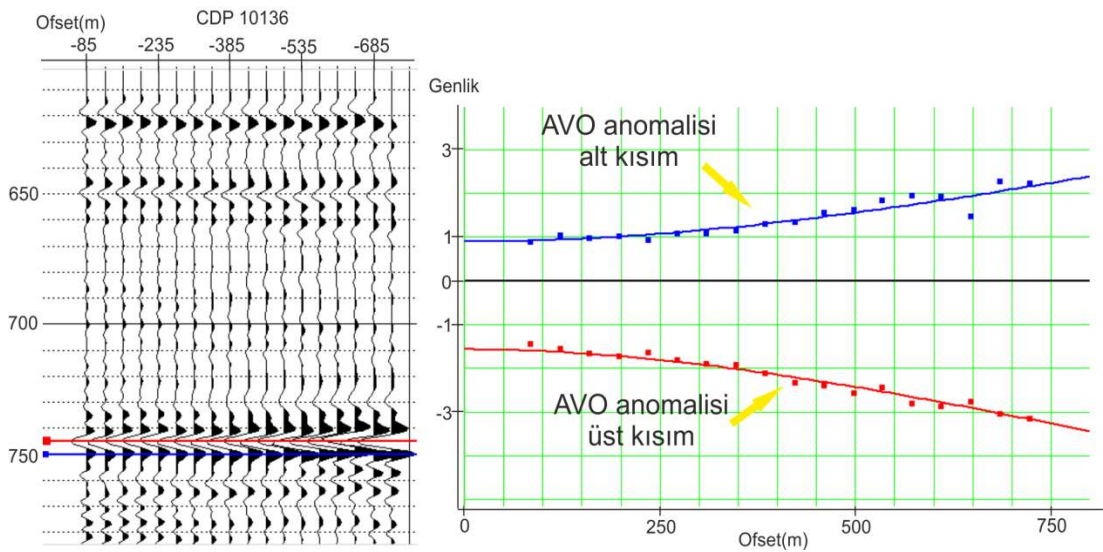
Şekil 4.2 CDP grubunda yer alan izlerin yakın ve uzak ofset yığma kesitleri için seçilmesi.

Bu aşamada sadece sarı alandaki izler kullanılarak hesaplanan yığma kesiti yakın ofset, sadece mavi alandaki izlerle hesaplanan yığma kesiti ise uzak ofset yığma kesiti olarak adlandırılır. Bu işlem kısmi yığma olarak bilinmektedir. Anomali yansımasının genlikleri uzak ofset izlerinde daha büyük olduğundan, uzak ofset yığma kesitinde bu seviyenin genliği, yakın ofset kesitlerine oranla çok daha büyük olacaktır. AVO anomali veren seviye dışında kalan genliklerde yakın ve uzak ofset yığma kesitlerinde bir değişiklik olmayacaktır. Böylece uzak ofset yığma kesitlerinde anomalinin AVO etkisinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı anlaşılabilir.

4.2. Gradyent Analizi

Gradyent analizi tek bir CDP grubu üzerindeki AVO anomalisinin ofsete bağlı değişimini Genlik – Ofset grafiği üzerinde göstererek anomalinin hangi sınıfa ait olduğu hakkında bize bilgiler vermektedir. Yapılan modelleme çalışmalarında da görüldüğü üzere AVO sınıflarının Genlik – Ofset grafiği üzerinde nasıl bir davranış gösterdiği bilinmektedir. Gradyent analizinde, AVO anomali veren yansımanın genlik değerleri CDP grubu üzerinde işaretlenir ve bu genlik değerleri ofsetin bir fonksiyonu olarak çizdirilir (Şekil 4.3). Şekil 4.3 de bir CDP için uygulanan Gradyent analizinde kırmızı çizgi ile gösterilen genlik değerleri AVO anomalisinin üst kısmını ve mavi ile gösterilen seviye ise alt kısmını göstermektedir. Genlik-Ofset grafiğinde bu yansımanın genliklerinin ofset ile nasıl değiştiği görülmektedir. Modelleme çalışmalarından da bilindiği üzere buradaki örnekte Sınıf 3 AVO anomali görülmektedir.

Gradyent analizinde gösterilen bir diğer önemli nokta ise gaz içeren sedimanların üst ve alt kısmının belirlenmesidir. AVO anomalilerinde gradyent analizlerinde ve çapraz çizdirim garfiklerinde genlik anomali veren sedimanlar için alt ve üst kısımların belirlenmesi AVO sınıflandırması açısından önem taşımaktadır. AVO etkisi gözlenen CDP grupları için çoklu CDP grupları oluşturularak bir kaç CDP için genliğin ofset boyunca değişimi gözlemlenir. Çoklu CDP grupları üzerinde AVO etkisi daha belirgin bir şekilde gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.3 Bir CDP grubu için yapılan Gradyent analizi

4.3. AVO Nitelikleri

AVO analizlerinde yer alan en önemli kısımlardan bir tanesi AVO niteliklerinin yığma kesitlerinin çizdirilip, kesit üzerinden yorum yapılmasıdır. Literatürde en çok yer alan ve pratikte gaz anomalilerinin tespiti için en çok kullanılan nitelikler sırasıyla;

- Kesişim (Intercept)
- Gradyent (Gradient)
- I*G (Intercept * Gradient)
- Akışkan Faktörü (Fluid Factor)

şeklinde sıralanabilir.

Wiggins (1983) Aki-Richards yaklaşımını daha sade hale getirerek nitelik hesaplarını α , β ve ρ değerlerini kullanarak ortaya koymuştur.

$$R(\theta) \cong A + B \sin^2 \theta_i + C \sin^2 \theta_i \tan^2 \theta_i \quad (4.1)$$

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - 4 \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 \frac{\Delta \beta}{\beta} - 2 \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$C = \frac{1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

AVO nitelik analizi genellikle (4.1) denkleminin ilk 2 terimi ($A + B \sin^2 \theta$) alınarak yapılır (Russell, Ross and Lines, 2002). Bunun için AVO anomalisi veren yansımanın genlikleri düşey eksen, açılarının $\sin^2$ değerleri ise yatay eksen olacak şekilde, okunan genlikler çizilir. Denklemden anlaşılacağı gibi, bu bize bir “doğru” grafiği verecektir. Burada A, bu doğrunun düşey eksenini kestiği değer, B ise doğrunun eğimidir.

A Kesişim (Intercept) niteliğini, ilk ofsetteki genlik değerini, yani sıfır ofset genliğini (normal incidence) ifade etmektedir. B (Gradyent) diğer ofsetlerdeki genlik değerlerinin oluşturduğu doğrunun eğimidir (Veeken and Ruch-Davies, 2006). C ise kritik açıdan sonra doğru eğimini göstermektedir. AVO nitelik analizlerinde Kesişim ve Gradyent nitelikleri yanyana çizdirilerek yorum yapılmaktadır. Aynı zamanda iki niteliğin çarpımı olan I*G niteliği de yorum aşamasında yığma nitelik kesiti olarak çizdirilmektedir. Kesişim niteliği yığma kesiti olarak çizdirildiğinde yalnızca sıfır ofsetteki genlik değerleri alınmaktadır, yani her bir CDP grubunun yalnızca ilk izi çizdirilir. Gradyent niteliği için ise CDP grubu içerisinde yer alan ilk iz hariç diğer izlerin her bir seviyedeki genliklerin ofsete (yani $\sin^2\theta$ 'ya) bağlı olarak oluşturduğu artan veya azalan doğrunun eğim değeri alınmaktadır. Gradyent niteliği Kesişim niteliğine göre ters polarite göstermektedir. Dolayısıyla I*G niteliği Sınıf 1 ve Sınıf 4 AVO anomalilerinde negatif değer alırken, Sınıf 3 AVO anomalilerinde pozitif değer almaktadır. Sınıf 2 AVO anomalilerinde ise Kesişim niteliğinin başındaki işarete göre I*G niteliğinin işareti değişmektedir.(Tablo 4.1).

Tablo 4.1. AVO sınıflarının AVO niteliklerindeki polarite sonuçları

	I (Kesişim)	G (Gradyent)	I*G
Sınıf 1	+	-	-
Sınıf 2	+ / -	-	- / +
Sınıf 3	-	-	+
Sınıf 4	-	+	-

Gaz içeren sedimanların etrafındaki tuzlu su içeren ve anomali vermeyen sedimanlardan ayırt edilmesinde kullanılan bir diğer nitelik Akışkan Faktörü'dür. Akışkan faktörü niteliği Smith ve Gidlow (1992) tarafından ampirik formül şeklinde verilmiştir (Denklem 4.2)

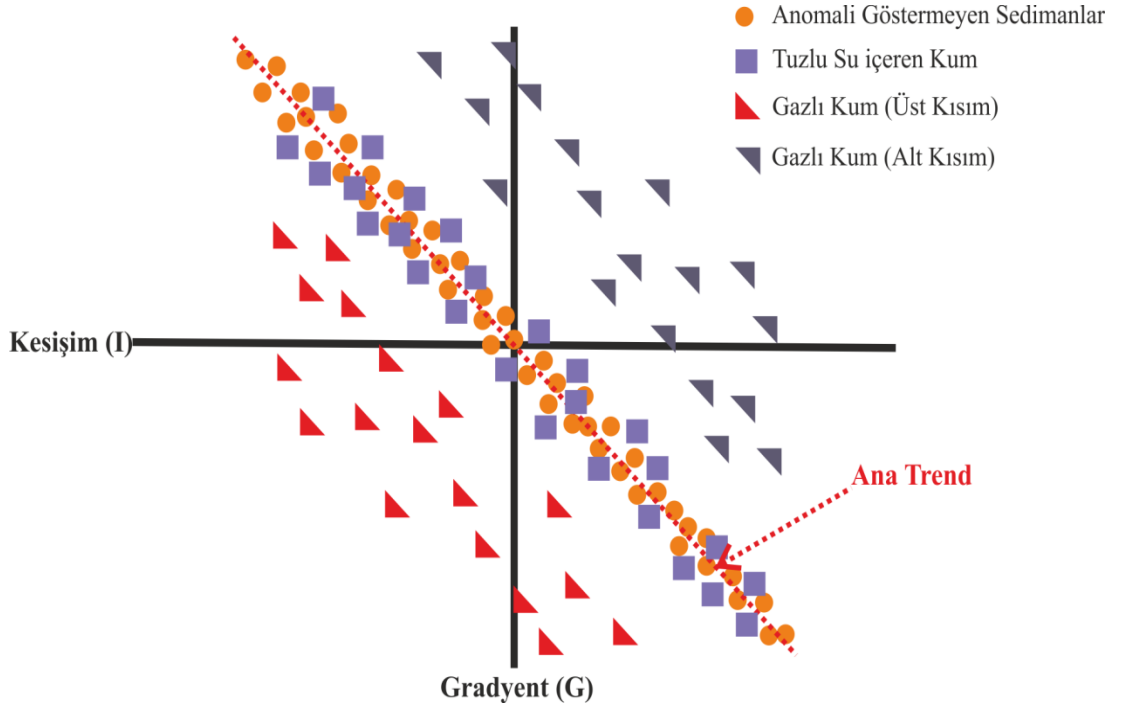
$$FF= R_{p0} - 1.16 \beta/\alpha R_{s0} \quad (4.2)$$

R_{p0} ve R_{s0} sıfır ofsetteki P ve S dalgası yansıma genlikleri temsil etmektedir. Akışkan faktörü kesitinde gaz içeren sedimanların genliği etrafındaki diğer sedimanlara göre çok daha yüksek olacaktır.

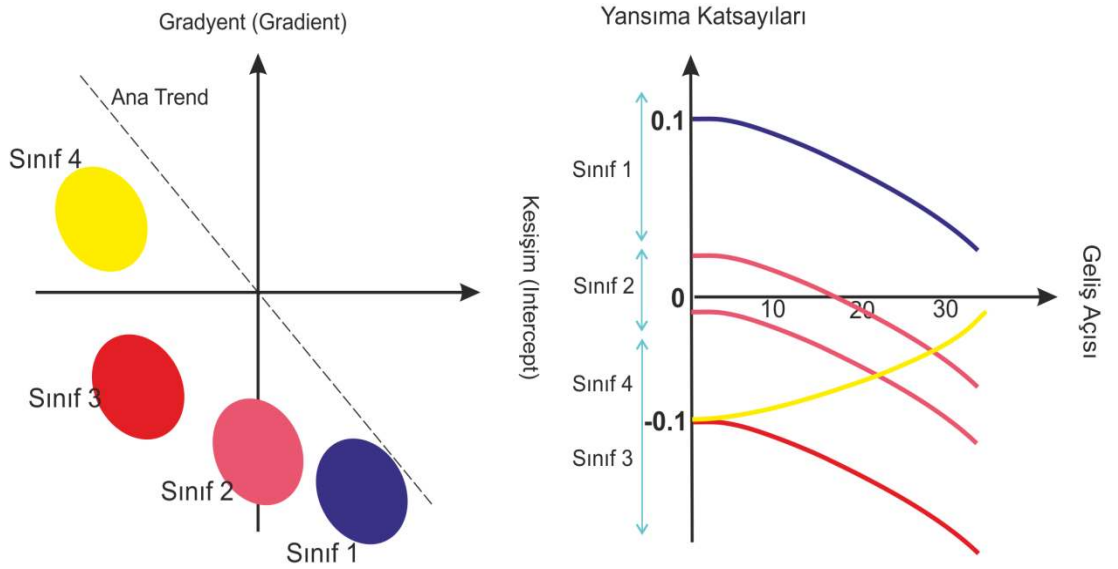
4.4 Çapraz Çizdirim (Crossplot)

Çapraz çizdirim grafikleri genel olarak Kesişim ve Gradyent niteliklerinin birlikte çizdirilmesi sonucu gaz içeren sedimanların etrafındaki diğer sedimanlardan ayrılmasını sağlamaktadır. Gaz içermeyen sediman genlikleri çapraz çizdirim grafiğinde “ana trend” adı verilen doğru üzerinde toplanırlar (Şekil 4.4). Aynı zamanda tuzlu suya doymun kumlardan alınan yansımalar da bu trendin yakınında ya da üzerinde bulunurlar. Fakat AVO etkisi gösteren gazlı kumlar ise bu trendin uzağında yer almaktadır (Şekil 4.4). AVO etkisi veren gazlı kumların üst sınırı ana trendin altında, alt sınırı ise ana trendin üstünde yer almaktadır. Dolayısıyla AVO anomalilerinin üst ve alt kısımları ana trende simetrik ve uzak şekilde görülmektedir (Russell, 2002).

Çapraz çizdirim grafiği tuzlu suya doymun kum ve gazlı kum anomalilerini birbirinden ayırt etmede kullanılmaktadır. AVO niteliklerinde yer alan Akışkan Faktörü (FF) her bir genlik değerinin ana trende olan uzaklığı olarak düşünülebilir (Foster, Keys and Lane, 2010). Dolayısıyla gaz içeren sedimanlar ana trende uzak olduklarından, tuzlu suya doymun veya anomali göstermeyen sedimanlar ise ana trend üzerinde yer alacağından Akışkan Faktörü nitelik kesitlerinde gaz birikimlerinden dolayı parlak nokta anomalisi veren seviyeler etrafındaki sedimanlardaki yüksek genlik değerlerine sahip olacaktır. Çapraz çizdirim grafiğinin önemli işlevlerinden birisi AVO anomalilerinin hangi sınıfa ait olduğunu doğrulamaktır. Şekil 4.5’de tüm AVO anomalilerinin üst kısımlarının çapraz çizdirim grafiği üzerindeki yerleri gösterilmiştir. Pratikte anomali veren genliklerin üst ve alt kısımları seçilerek sismik kesit üzerinde hangi genliklere karşılık geldiği görülebilir. Ana trend üzerinde yer alan genlik noktaları seçilerek sismik kesit üzerinde AVO etkisine sahip olmayan seviyeler de belirlenmektedir.



Şekil 4.4. Kesişim – Gradyent niteliklerinin çapraz çizdirimi. Anomali vermeyen sedimanlardan alınan yansımalar ile tuzlu suya doymun sediman yansımalar “ana trend” üzerinde toplanırlar. Buna karşın gazlı kum yansımaları bu trend’den uzakta bulunmaktadır.



Şekil 4.5 AVO sınıflarının Çapraz Çizdirim grafiği üzerindeki konumları. AVO anomalilerinin üst kısımlarına ait çapraz çizdirim grafiği ve yansıma katsayıları – geliş açısı grafiği gösterilmiştir.

BÖLÜM BEŞ

UYGULAMALAR

5.1 Sığ Gaz Birikimleri Üzerinde AVO Analizleri

Sığ gaz birikimi üzerine gerçekleştirilen AVO analizi için Marmara Denizi’nde toplanmış Mar10 çok kanallı sismik veri ile uygulama yapılmıştır. Söz konusu hatta ait veri toplama parametreleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Mar10 hattı için veri toplama parametreleri

Kanal Sayısı	240
Örnekleme aralığı	1 ms
Streamer derinliği	4 m
Kaynak	GI Gun (45+45)
Kaynak Derinliği	2 m
Minimum Ofset	60 m
Maksimum Ofset	1553.75 m
Atış Aralığı	18.75 m
Katlanma Sayısı	40
Streamer Uzunluğu	1500 m
Grup Aralığı	6.25 m

Hız analizinde yansıma hiperbollerinin yatay hale gelmesi için NMO gerilme alanı silme (NMO stretch mute) işlemi uygulanmıştır, dolayısıyla AVO analizi uygulanan verideki maksimum ofset 800 m’dir.

Mar10 hattı üzerinde AVO analizleri için verinin 9300 -10300 numaralı CDP’leri arasındaki kısmı alınmıştır. Şekil 5.1’de Mar10 hattının migrasyon kesiti verilmiştir. 700-850 ms arasında parlak nokta anomalisi görülmektedir ve anomalinin altında sığ gaz birikimi nedeniyle genliklerde büyük oranda soğurulma gözlenmektedir. Sismik hattın yakın ofset yığma kesiti (Şekil 5.2) ve uzak ofset yığma kesiti de (Şekil 5.3) çizdirilmiştir. Yakın ofset yığma kesiti için 60 - 120 m ofsetleri arasında yer alan tüm izler, uzak ofset yığma kesiti için 650 – 700 m ofsetleri arasında yer alan tüm izler yığmaya sokulmuştur. İki kesit karşılaştırıldığında parlak nokta anomalisi veren

seviyedeki genlik değişimi görülmektedir. Anomali yansımanın genliği, uzak ofset yığma kesitinde çok daha yüksek olup, bu durum söz konusu yansımanın AVO etkisi gösterdiğini işaret etmektedir.

Parlak nokta anomalisi üzerinde üç CDP noktası (10135, 9634 ve 9560 numaralı CDP grupları) için gradyent analizi uygulanmıştır. 10135 numaralı CDP için yapılan gradyent analizinde 740 – 750 ms arasında yer alan AVO anomalisindeki genlik değişimi Genlik – Ofset grafiği üzerinde çizdirilmiştir (Şekil 5.4). Kırmızı çizgi ile gösterilen seviye AVO anomalisinin üst kısmı, mavi çizgi ile gösterilen seviye ise AVO anomalisinin alt kısmını temsil etmektedir. Sadece bu CDP genlikleri için kesişim ve gradyent nitelikleri çapraz çizdirim grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 5.5). Kırmızı nokta CDP grubu üzerindeki kırmızı çizgi üzerindeki seviyeden hesaplanan kesişim ve gradyent değerlerini, mavi nokta ise mavi çizgi üzerinde yer alan kesişim ve gradyent değerlerini göstermektedir. 10135 numaralı CDP için uygulanan gradyent analizinden ve çapraz çizdirim grafiğinden görüldüğü üzere, bu CDP'deki yansımadan Sınıf 3 AVO anomalisi tespit edilmiştir.

Gradyent analizi uygulanan ikinci ortak derinlik noktası 9634 numaralı CDP (Şekil 5.6) de 790 ms – 800 ms arasında ofset artışı ile azalan genliklere sahip AVO etkisi görülmüştür. Gradyent analizinde yer alan kırmızı seviye AVO anomalisinin üst kısmını, mavi seviye ise alt kısmını temsil etmektedir. 9634 numaralı CDP için uygulanan kesişim – gradyent çapraz çizdirim grafiğinden de AVO anomalisinin üst kısmı kırmızı nokta ile ve alt kısımda mavi nokta ile gösterilmiştir (Şekil 5.7) ve kırmızı nokta Sınıf 4 AVO anomalisi bölgesinde yer almaktadır. Gradyent analizi ve çapraz çizdirim grafiğinden yola çıkarak 9634 numaralı CDP de Sınıf 4 AVO anomalisi tespit edilmiştir.

Gradyent analizi uygulanan son CDP grubu 9560 numaralı CDP (Şekil 5.8) de 810 ms – 820 ms arasında ofset artışı ile azalan genliklere sahip AVO etkisi görülmüştür. Kırmızı seviye AVO anomalisinin üst kısmını, mavi seviye ise alt kısmını temsil etmektedir. 9560. CDP grubu için uygulanan kesişim – gradyent çapraz çizdirim grafiğinde (Şekil 5.9) kırmızı nokta – AVO anomalisinin üst kısmı

Sınıf 4 AVO anomali bölgesinde yer almaktadır. 9560 numaralı CDP için gradyent analizi ve çapraz çizdirim grafiği sonuçları Sınıf 4 AVO anomalisini işaret etmektedir.

Normal kayma zaman düzeltmesi uygulanmış CDP grupları üzerinden Mar10 sismik hattı için AVO nitelik yığma kesitleri de hesaplanmıştır. Tüm nitelik yığma kesitleri aynı genlik ölçeğinde görüntülenmiştir. Şekil 5.10'de Kesişim (Intercept) yığma kesiti gösterilmiştir. Tüm CDP gruplarının sıfır ofsetteki genlik değerleri yanyana çizdirilerek oluşturulan kesitte parlak nokta anomalisinin etrafındaki diğer genliklere göre yüksek olduğu görülmektedir. Gradyent (Gradient) yığma kesiti Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Gradyent yığma kestinde bütün CDP gruplarında bulunan her seviyedeki genlik değerlerinin ofset ile artması ya da azalması sonucu oluşturduğu doğrunun eğim değeri çizdirilmiştir. Parlak nokta anomalisinin olduğu seviye Gradyent yığma kesitinde de net şekilde görülmektedir.

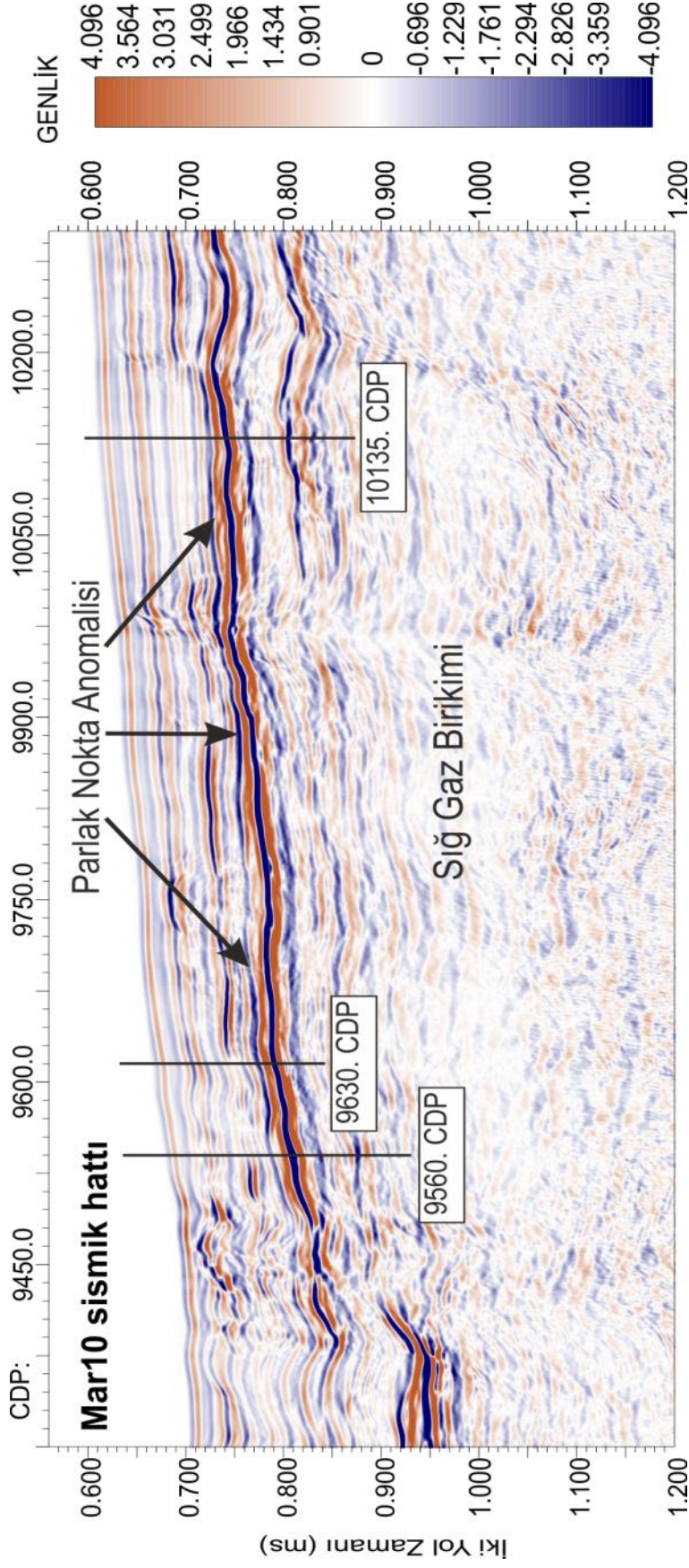
Kesişim ve Gradyent niteliğinin çarpımı olan $I*G$ niteliğinin yığma kesiti ise Şekil 5.12'de gösterilmiştir. $I*G$ yığma kesitinde parlak nokta anomalisinin olduğu seviyelerde yüksek negatif ve pozitif değerler görülmektedir. Gradyent analizlerinde ki sonuçlara bakılacak olursa $I*G$ yığma kesitinde negatif değer içeren kısımlar Sınıf 4 AVO anomali ve pozitif değerler için Sınıf 3 AVO anomalisini varlığından söz edilebilir. Nitelik yığma kesitlerinde son olarak Mar10 sismik hattı için Akışkan Faktörü yığma kesiti çizdirilmiştir (Şekil 5.13). Kesit üzerinde parlak nokta anomalisinin olduğu kısım etrafındaki diğer genliklere göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Akışkan faktörü niteliği genlik bileşenlerinin (kesişim ve gradyent) ana trendden olan uzaklığı olarak bilindiğinden, parlak nokta anomali üzerinde yer alan genlik bileşenlerinin (kesişim ve gradyent) anomali vermeyen diğer genlik değerlerinin oluşturduğu ana trendden uzağa düşmüş olasıdır. Mar10 hattı migrasyon kesitinde görülen parlak nokta anomali, çizdirilen 4 AVO nitelik kesitinde de açık bir şekilde anomali olarak görülmüştür.

Parlak nokta anomalisinin olduğu seviye için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği çizdirilmiştir (Şekil 5.14). Çapraz çizdirim grafiği 9300 – 10300 numaralı

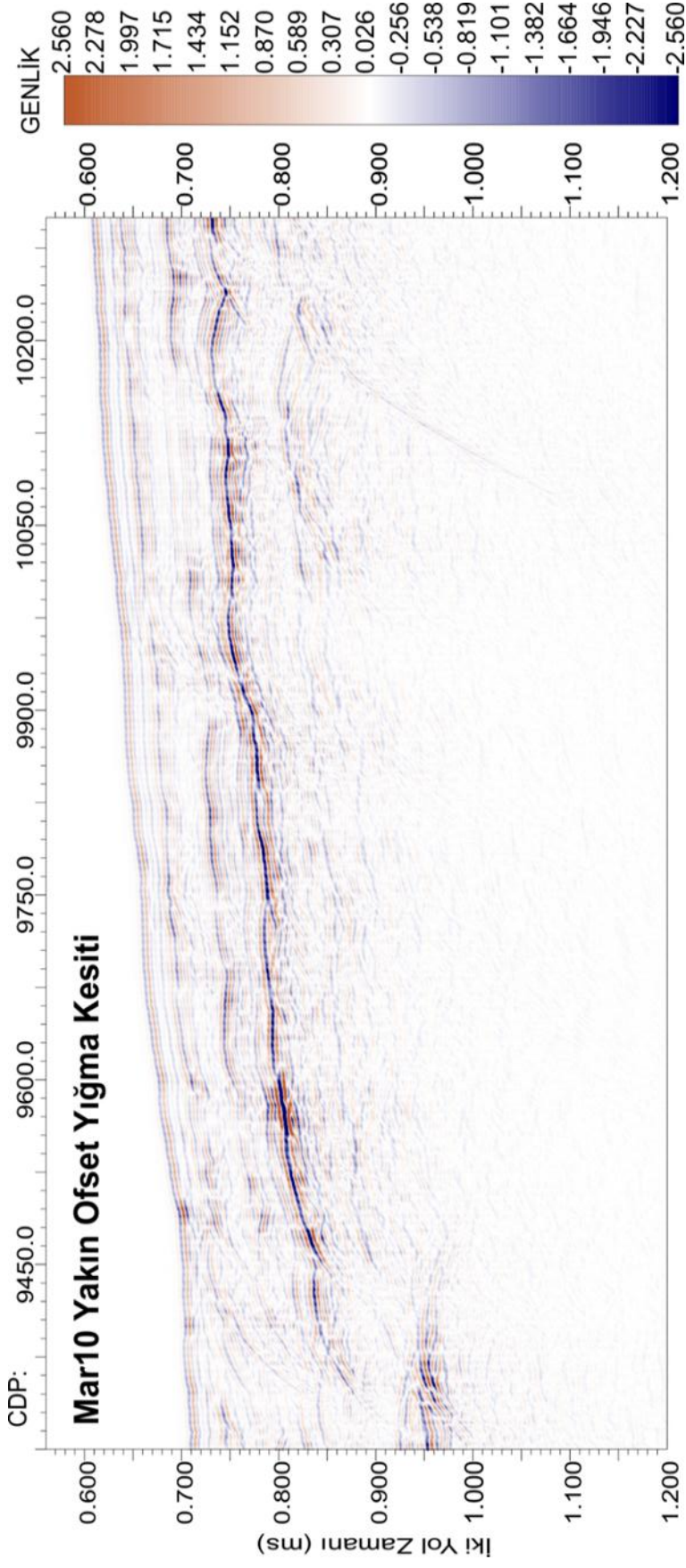
CDP arasında yer alan ve 700 ms den 850 ms ye kadar uzanan alanı kapsamaktadır. Mavi elipsin içine aldığı noktalar AVO anomalilerinin üst kısmını, sarı elipsin içinde bulunan noktalar ise AVO anomalilerinin alt kısmını oluşturmaktadır. Gri ile seçili olan noktalar ise ana trendi oluşturan ve anomali vermeyen genlik değerlerini ifade etmektedir. Çapraz çizdirim grafiği üzerindeki renkli kısımların seçilen bölge için hangi genlik değerlerine karşılık geldiği Şekil 5.15’de gösterilmiştir. Çapraz çizdirim grafiği sonucunda Sınıf 4 ve Sınıf 3 AVO anomalileri tespit edilmiştir. Bu anomalilerin ayrı olarak daha net biçimde görüntülenmesi için ayrı ayrı çapraz çizdirim grafikleri oluşturulmuştur.

Şekil 5.14’de gösterilen çapraz çizdirim grafiğinde Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalileri aynı alan içerisinde yer almaktadır. Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalilerinin ayrı ayrı görüntülenmesi için daha detaylı analiz ile 10090 numaralı CDP’den 10140 numaralı CDP’ye kadar olan ve 725 ms – 775 ms arasında yer alan AVO anomalisi için çapraz çizdirim grafiği çizdirilmiştir (Şekil 5.16a). Grafikten görüldüğü üzere bu alanda Sınıf 3 AVO anomalisi tespit edilmiştir. Seçilen mavi ve sarı alanlarda yer alan değerler sismik izler üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.16b). Mavi ile seçili olan bölge AVO anomalisinin üst kısmını gösterirken sarı ile seçili olan bölge AVO anomalisinin alt kısmını göstermektedir. AVO anomalisinin üst ve alt kısımları gri renkte olan ana trende simetrik şekilde yer almaktadır.

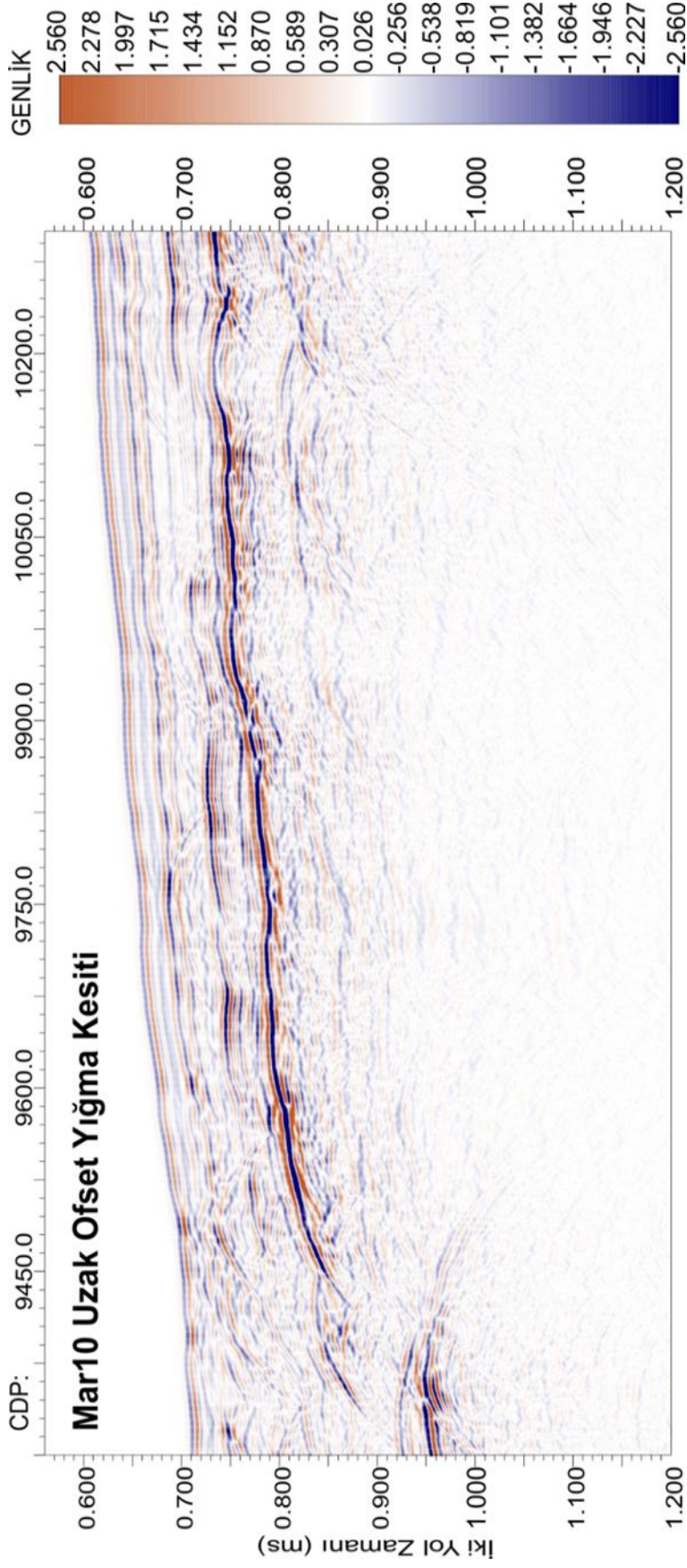
Gradyent analizlerinde Sınıf 4 AVO anomalisi gösteren CDP noktalarını kapsayan 9540 numaralı CDP den 9660 numaralı CDP ye kadar olan ve 775 ms – 825 ms arasında yer alan AVO anomalisi için çapraz çizdirim grafiği ise Şekil 5.17a’da görülmektedir. Grafik üzerinde anomali veren AVO anomalisinin üst kısmı olan mavi alandaki değerler Sınıf 4 AVO anomalisini işaret etmektedir. AVO anomalisinin alt kısmı olan sarı alandaki değerler ana trende (gri alan) göre simetrik şekilde yer almaktadır. Mavi renk üst kısım ve sarı renk alt kısım olmak üzere seçilen noktaların sismik izlerdeki konumları da kesit üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.17b).



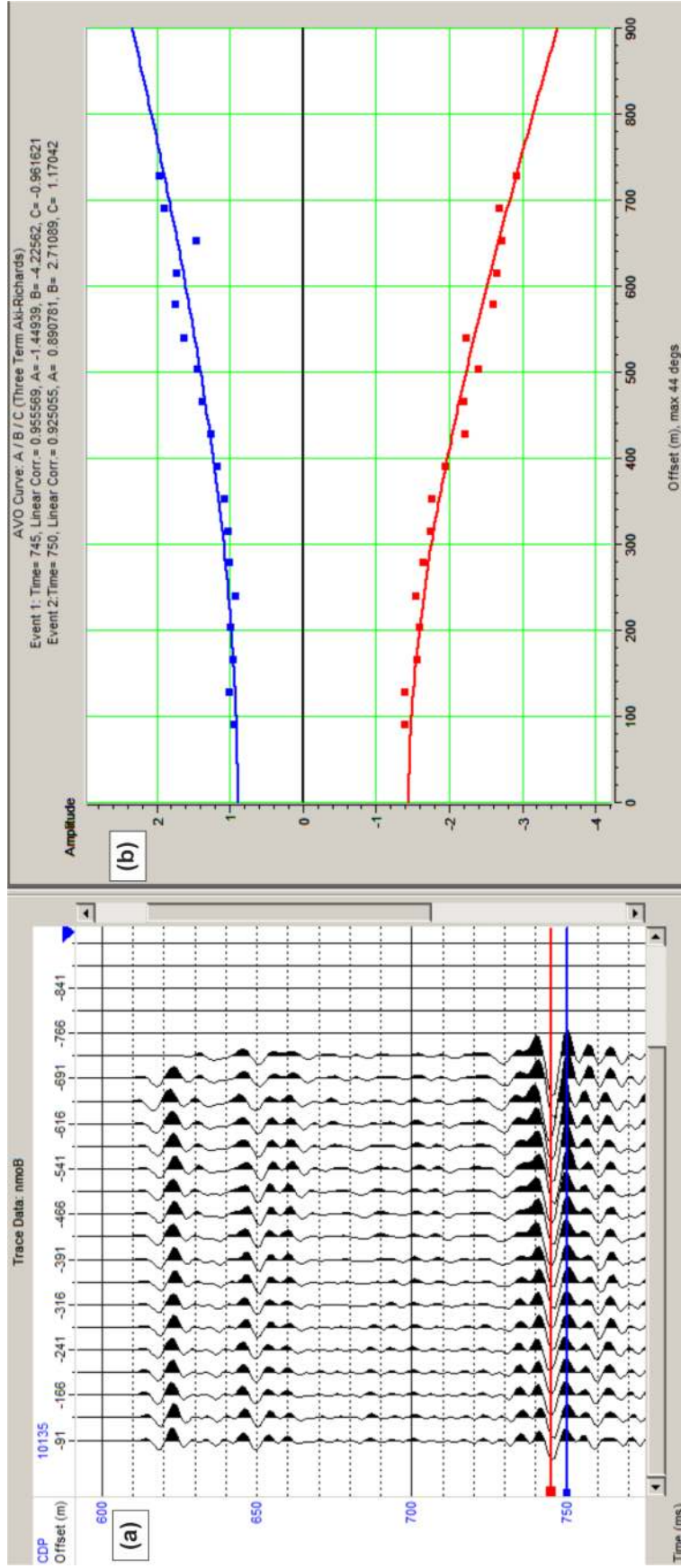
Şekil 5.1 Mar10 sismik hattı için anomali bölgesini içeren migrasyon kesiti. Gradient analizi yapılan 9560, 9630 ve 10135 numaralı CDP'lerin kesit üzerindeki konumu



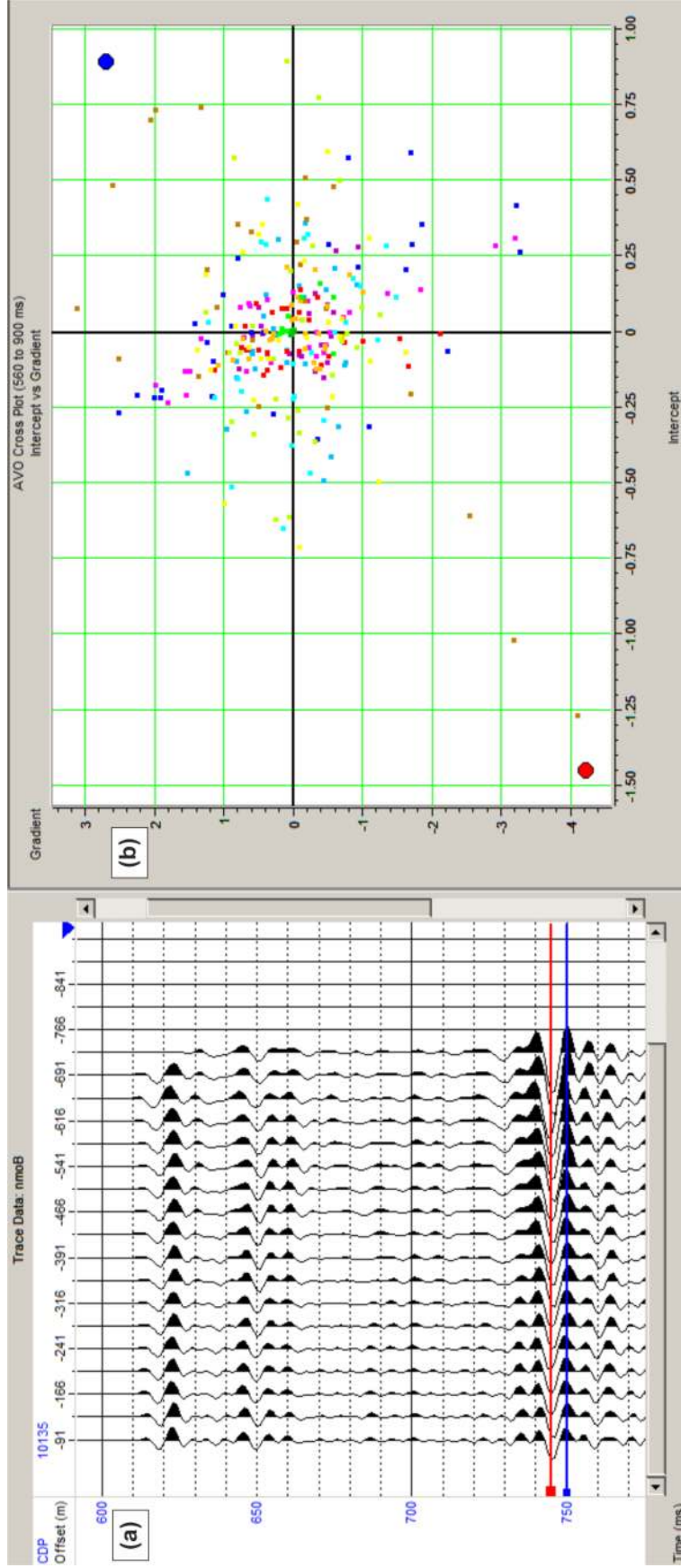
Şekil 5.2 Mar10 sismik hattı için yakın ofset yığma kesiti. Kesitin oluşturulmasında 60 – 120 m ofsetleri arasındaki izler kullanılmıştır



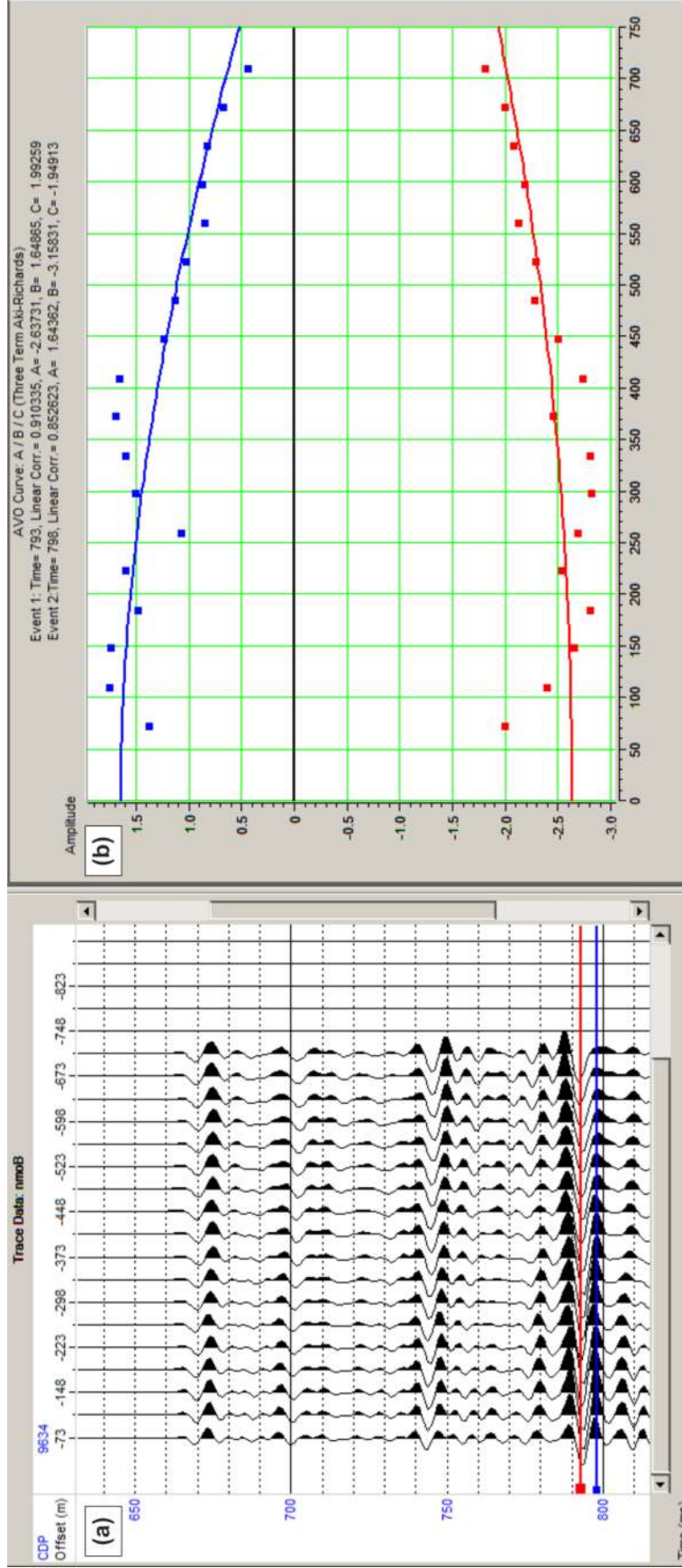
Şekil 5.3 Mar10 sismik hattı için uzak ofset yığma kesiti. Kesitin oluşturulmasında 650 – 750 m ofsetleri arasındaki izler kullanılmıştır



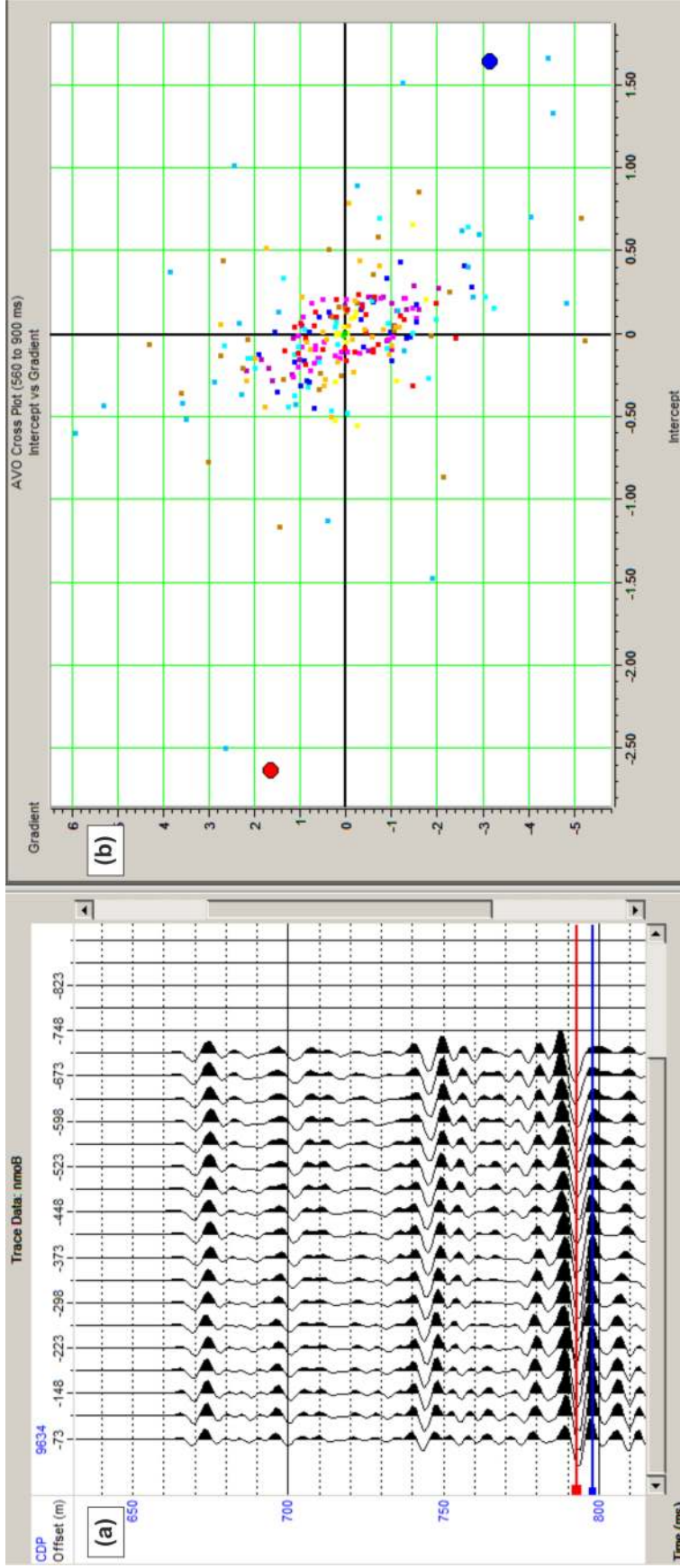
Şekil 5.4 Mar10 hattındaki 10135 numaralı CDP için Gradyent Analizi. (a) CDP grubu, (b) anomali seviyesinin genlik – ofset grafiği



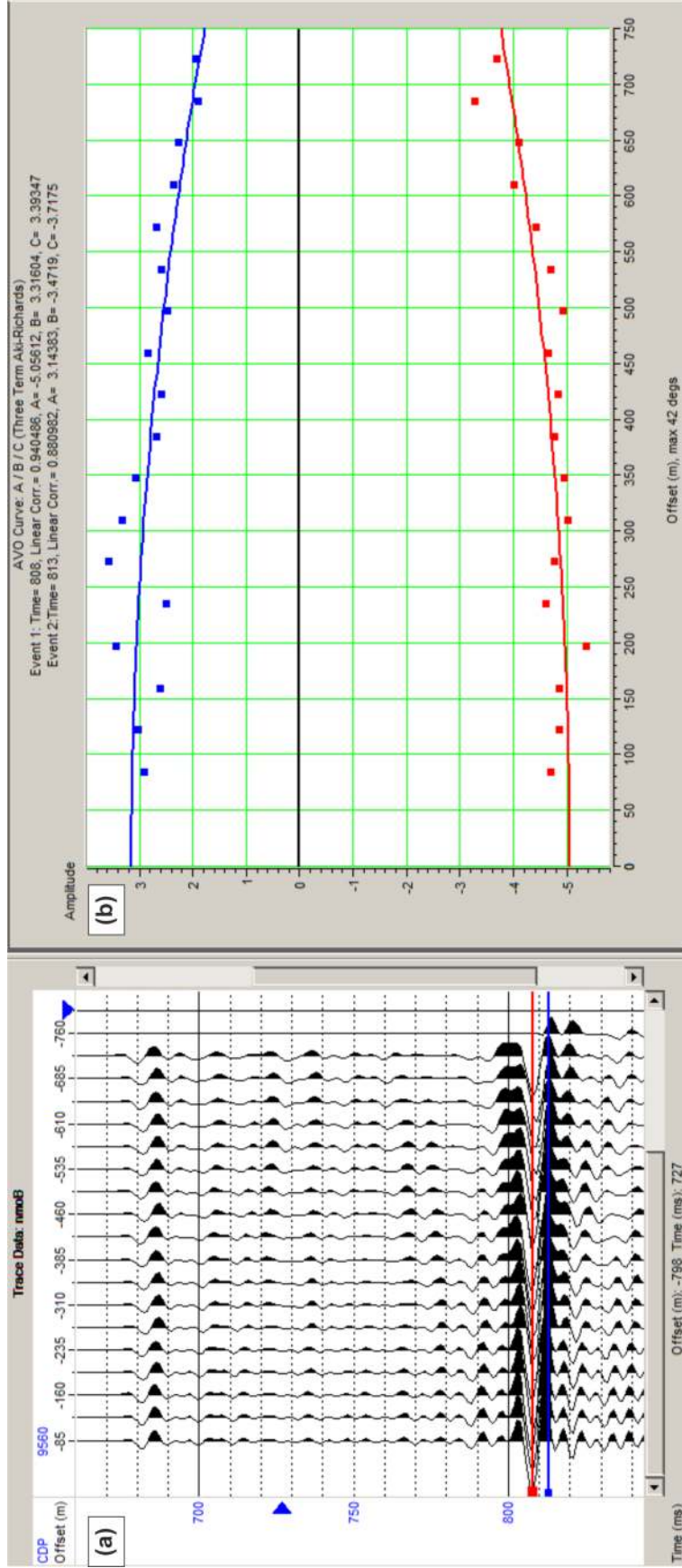
Şekil 5.5 Mar10 hattındaki 10135 numaralı CDP için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği. (a) CDP grubu, (b) çapraz çizdirim grafiği



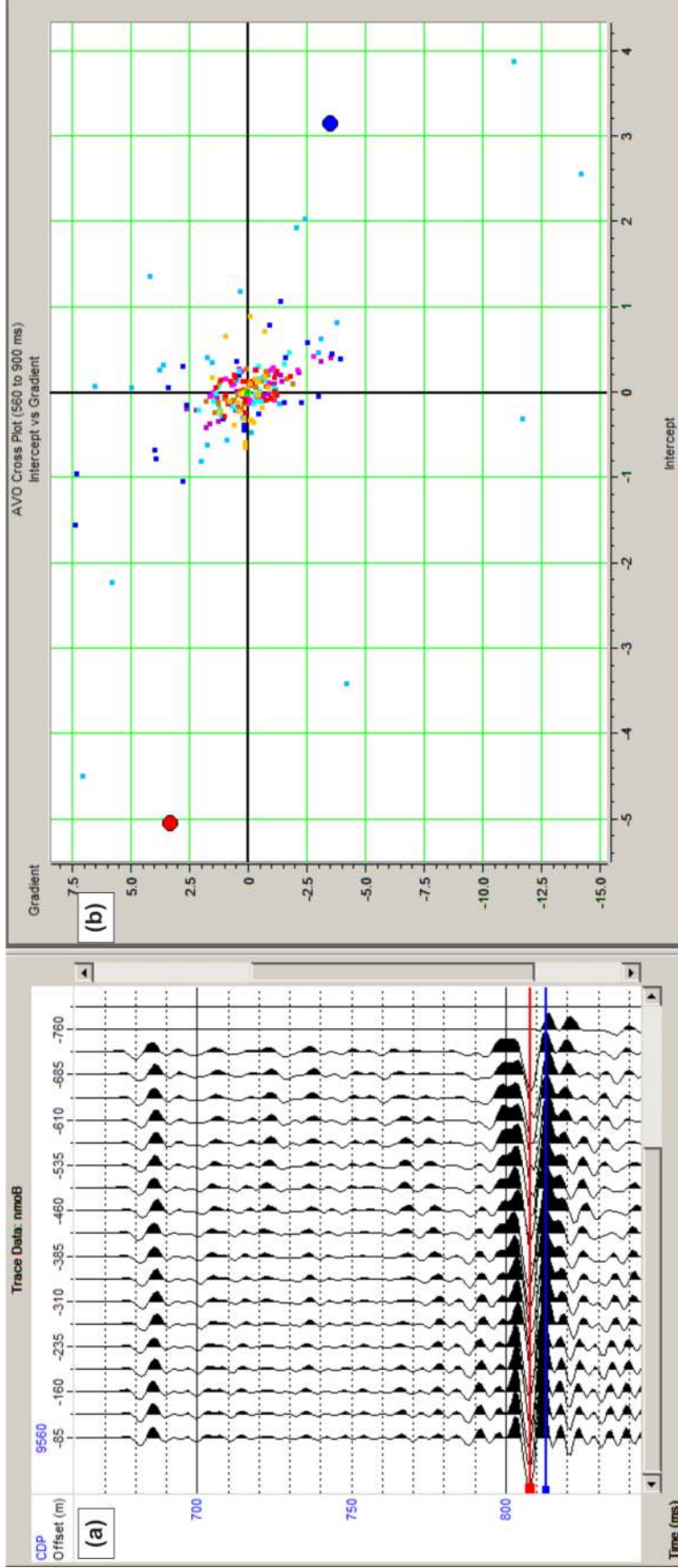
Şekil 5.6 Mar10 hattındaki 9634 numaralı CDP için Gradyent Analizi. (a) CDP grubu, (b) anomali seviyesinin genlik – ofset grafiği



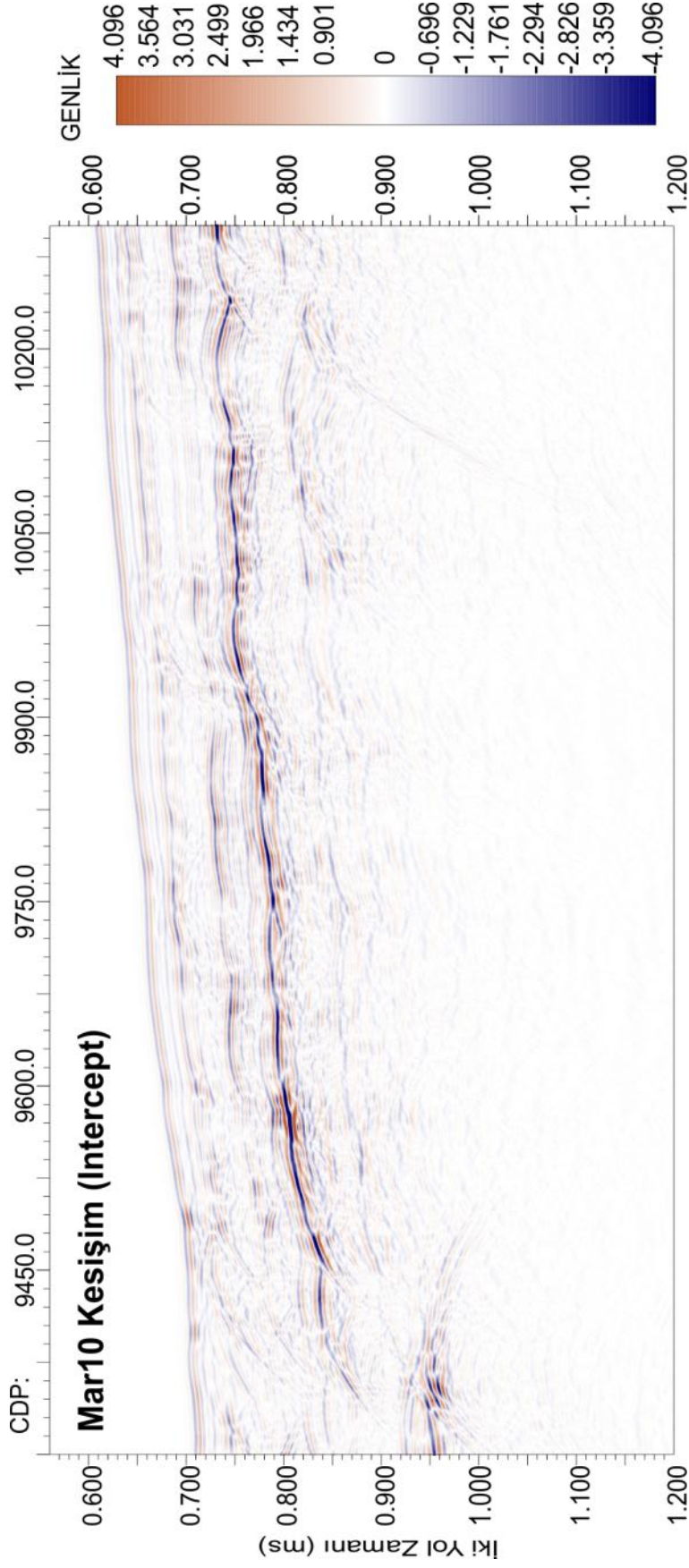
Şekil 5.7 Mar 10 hattındaki 9634 numaralı CDP için Kesişim - Gradyent çapraz çizdirim grafiği. (a) CDP grubu, (b) çapraz çizdirim grafiği



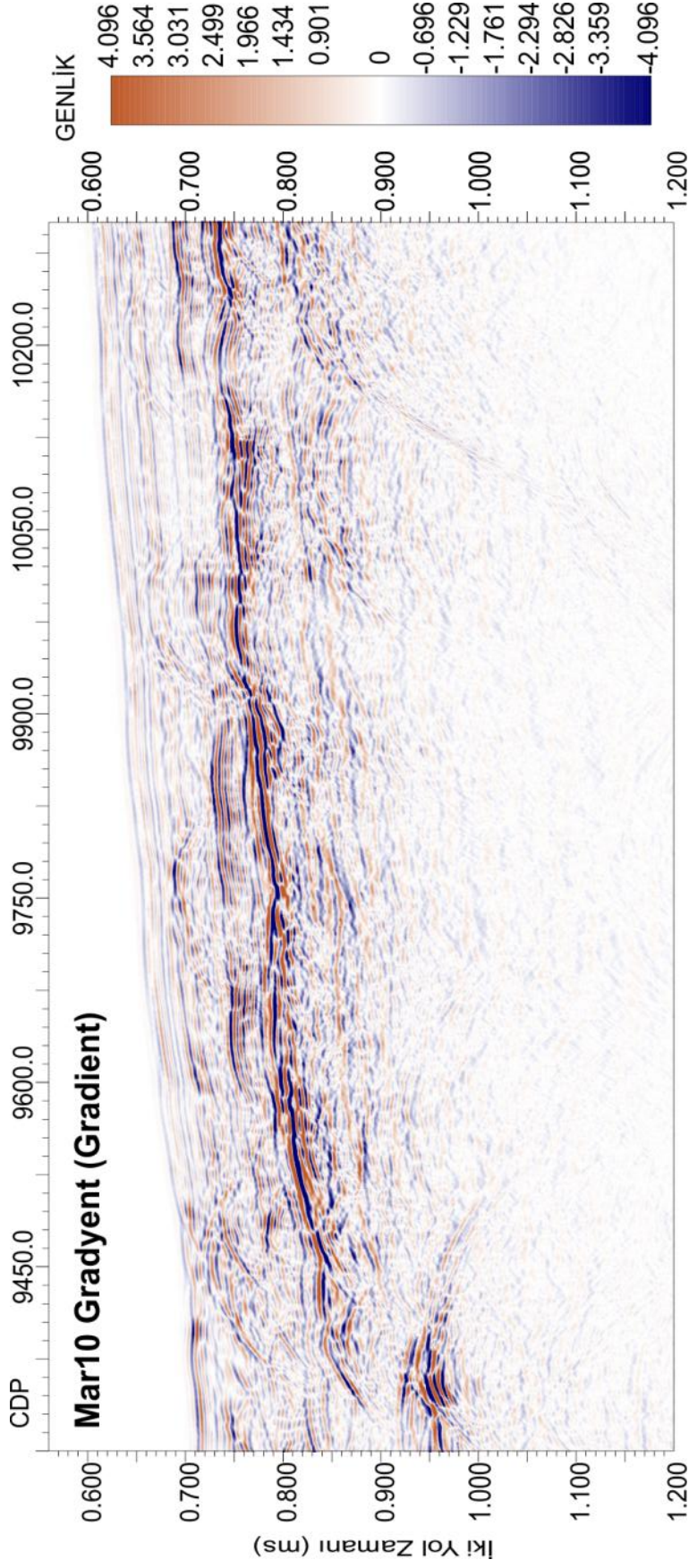
Şekil 5.8 Mar10 hattındaki 9560 numaralı CDP için Gradyent Analizi. (a) CDP grubu, (b) anomali seviyesinin genlik – ofset grafiği



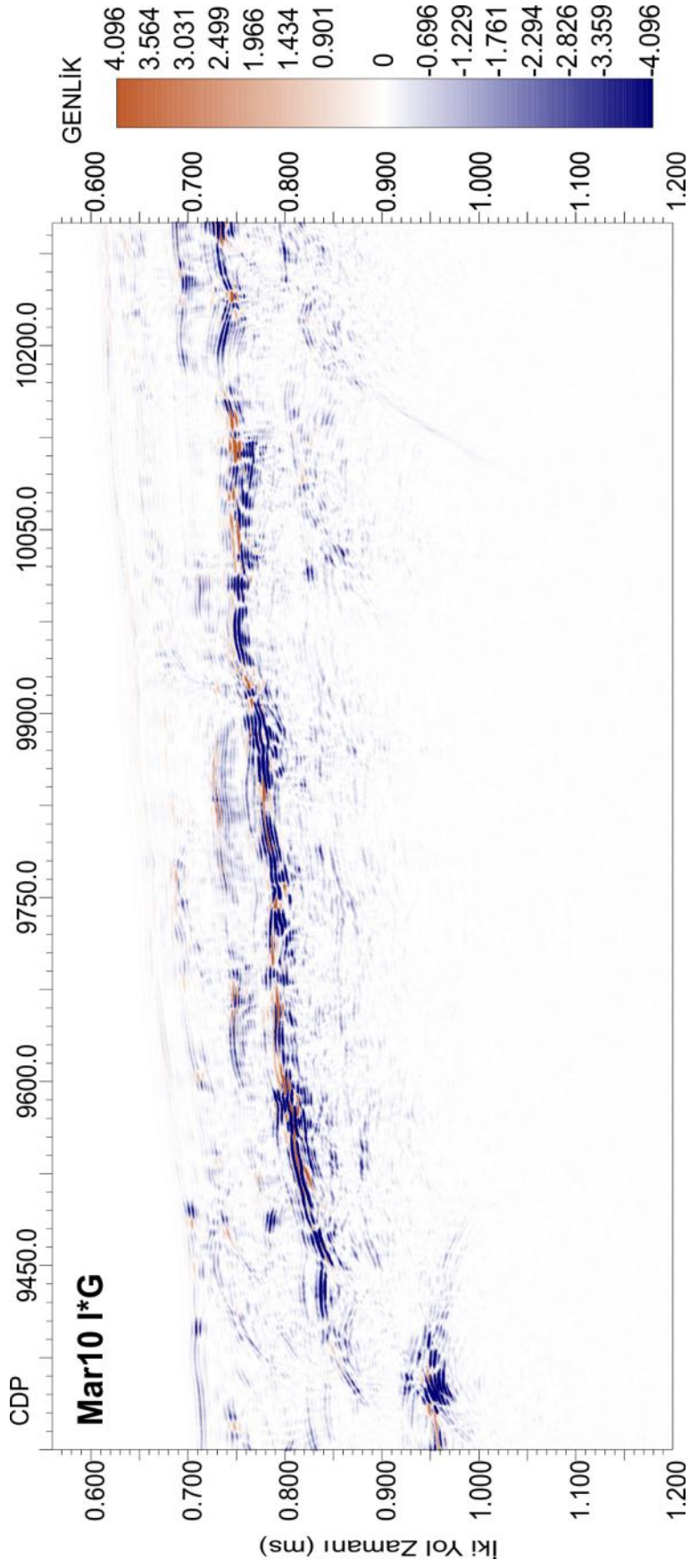
Şekil 5.9 Mar10 hattındaki 9560 numaralı CDP için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği. (a) CDP grubu, (b) çapraz çizdirim grafiği



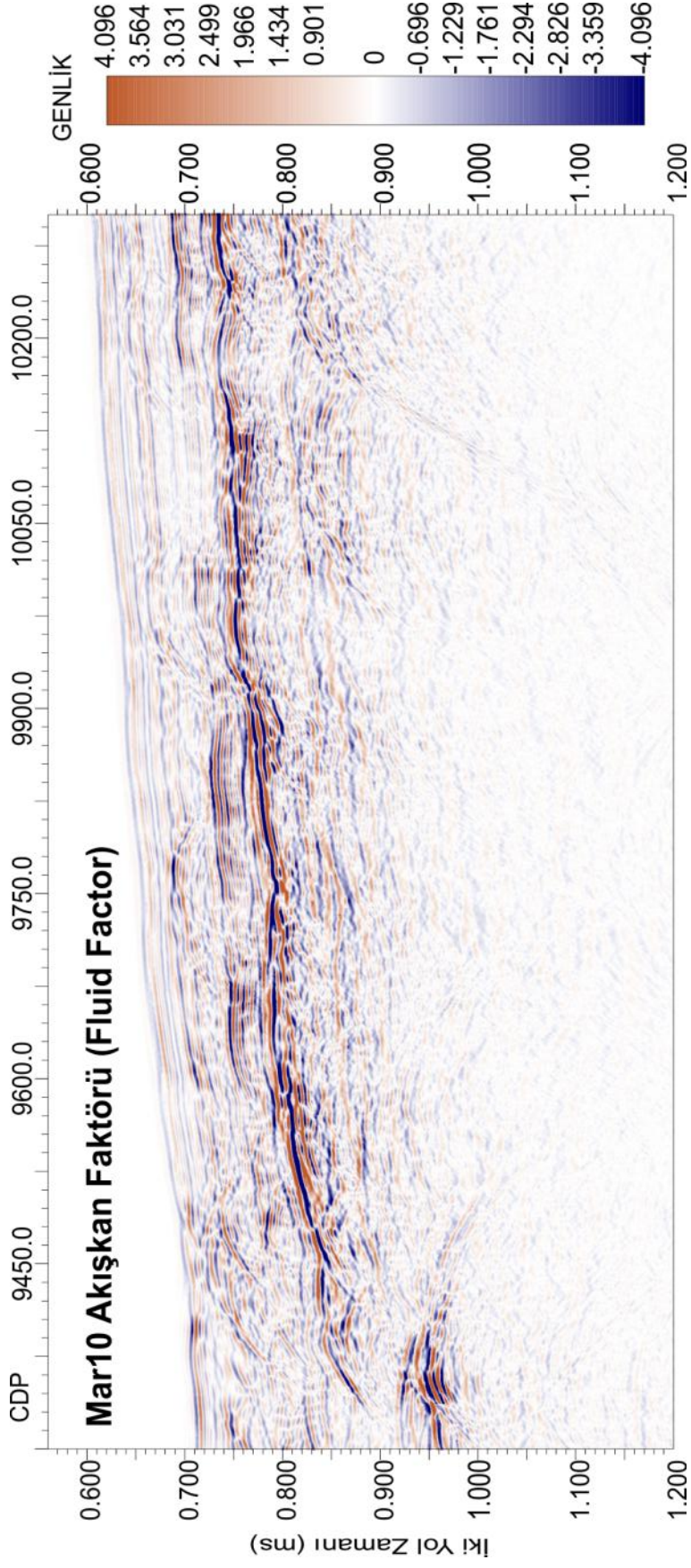
Şekil 5.10 Mar10 sismik hattının Kesişim (Intercept) yığma kesiti



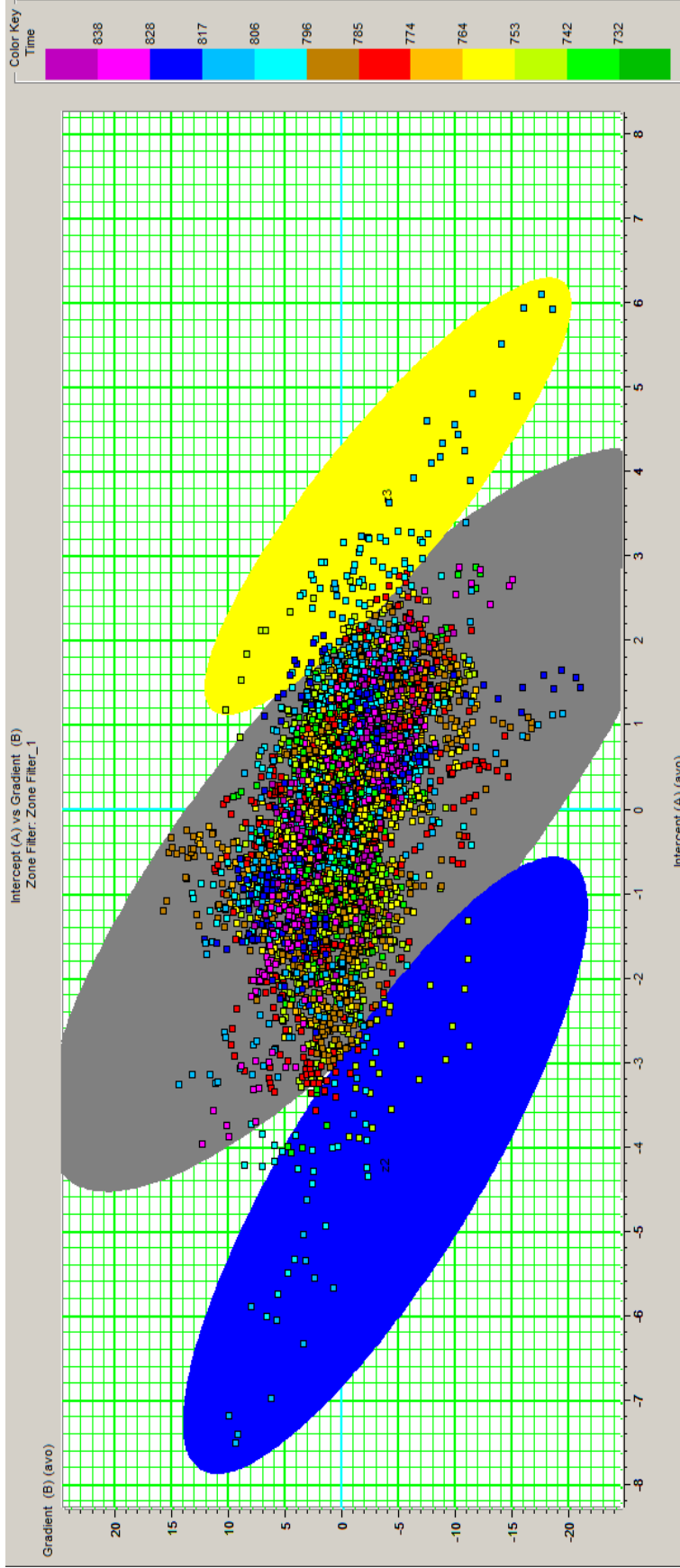
Şekil 5.11 Mar10 sismik hattının Gradyent (Gradient) yığına kesiti



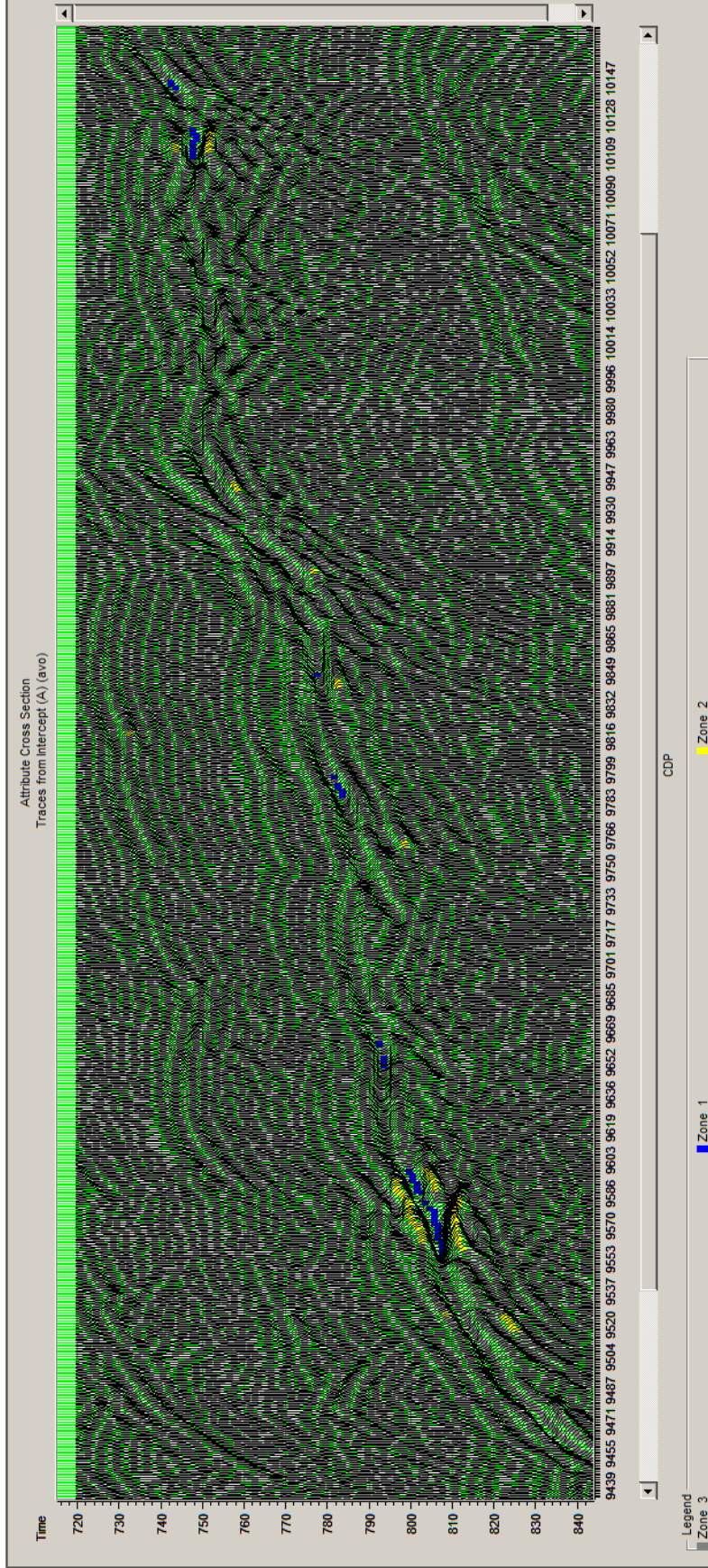
Şekil 5.12 Mar10 sismik hattının I*G (Kesişim * Gradyent) yığma kesiti



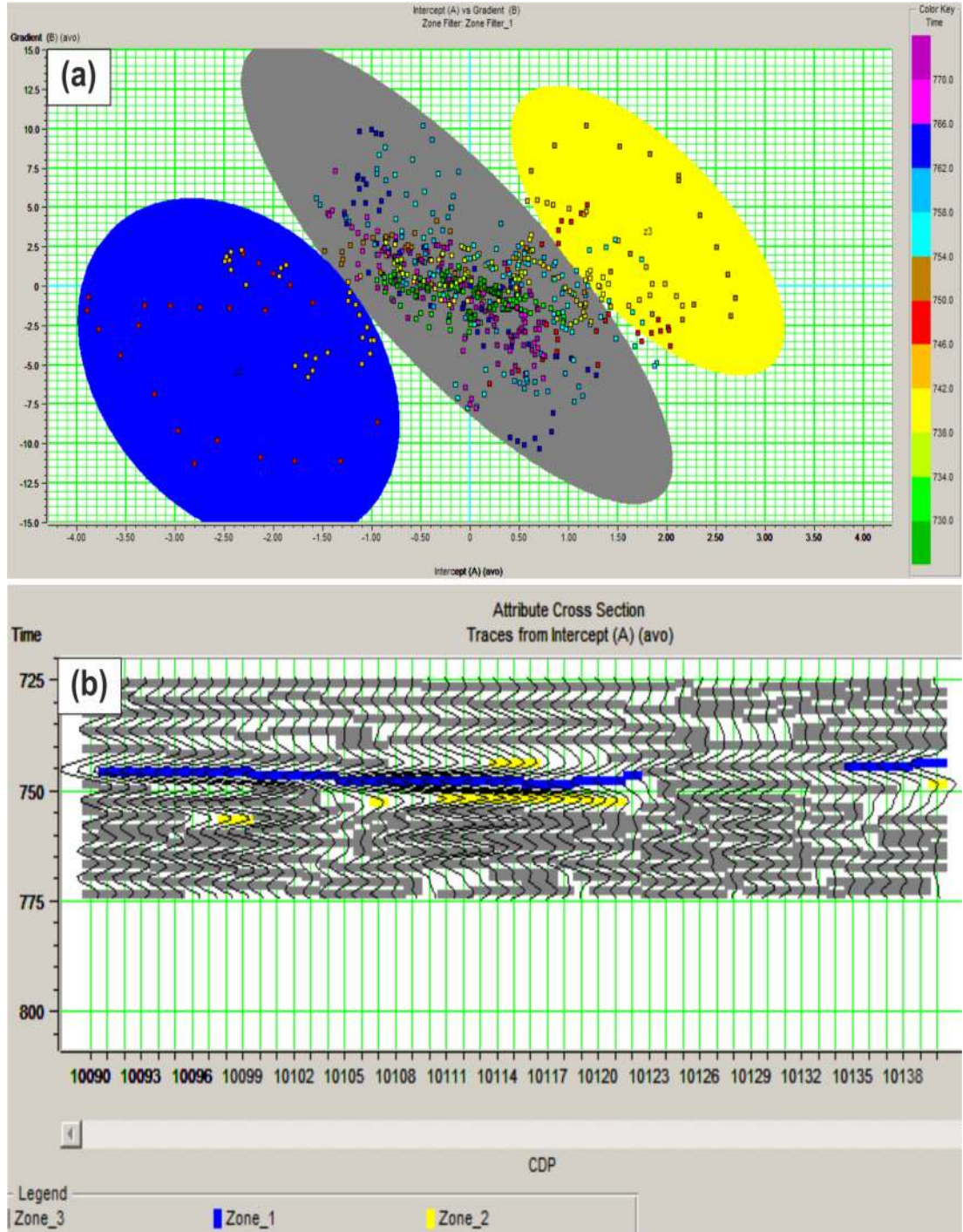
Şekil 5.13 Mar10 sismik hattının Akışkan Faktörü (Fluid Factor) yığma kesiti



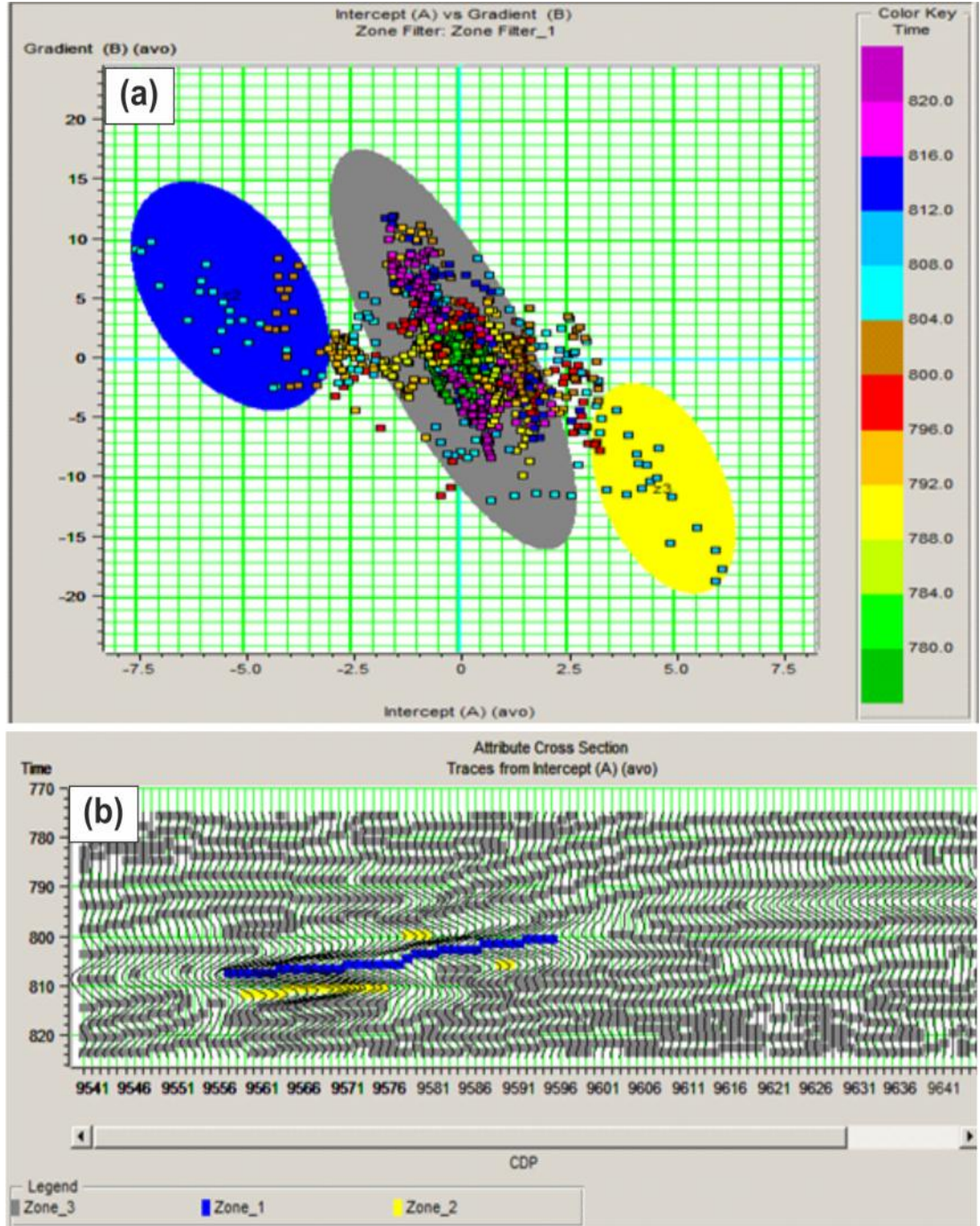
Şekil 5.14 9300 – 10300 numaralı CDP'ler arasında kalan kısmın 700 ms – 800 ms zaman aralığı için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği. Mavi alan AVO anomalisinin üst kısmını, sarı alan AVO anomalisinin alt kısmını ve gri alan ise ana trendi göstermektedir.



Şekil 5.15 Marl10 sismik hattı için çapraz çizdirim grafiğinde belirlenen AVO anomalilerinin sismik izler üzerindeki konumu. Mavi renk AVO anomalisinin üst kısmını, sarı renk AVO anomalisinin alt kısmını ve gri renk ana trend içerisinde yer alan değerleri göstermektedir.



Şekil 5.16 (a) 10090 numaralı CDP'den 10140 numaralı CDP'ye kadar 725 ms – 775 ms zaman aralığında bulunan AVO anomali için çapraz çizdirim grafiği ve (b) seçilen alanların sismik izler üzerindeki konumu. Mavi alan AVO anomalişinin üst kısmını, sarı alan AVO anomalişinin alt kısmını ve gri alan ana trend içerisindeki değerleri göstermektedir.



Şekil 5.17 (a) 9540 numaralı CDP'den 9660 numaralı CDP'ye kadar 775 ms – 825 ms zaman aralığında bulunan AVO anomalisi için çapraz çizdirim grafiği ve (b) seçilen alanların sismik izler üzerindeki konumu. Mavi alan AVO anomalisinin üst kısmını, sarı alan AVO anomalisinin alt kısmını ve gri alan ana trend içerisindeki değerleri göstermektedir.

5.2 BSR Yansımaları Üzerinde AVO Analizleri

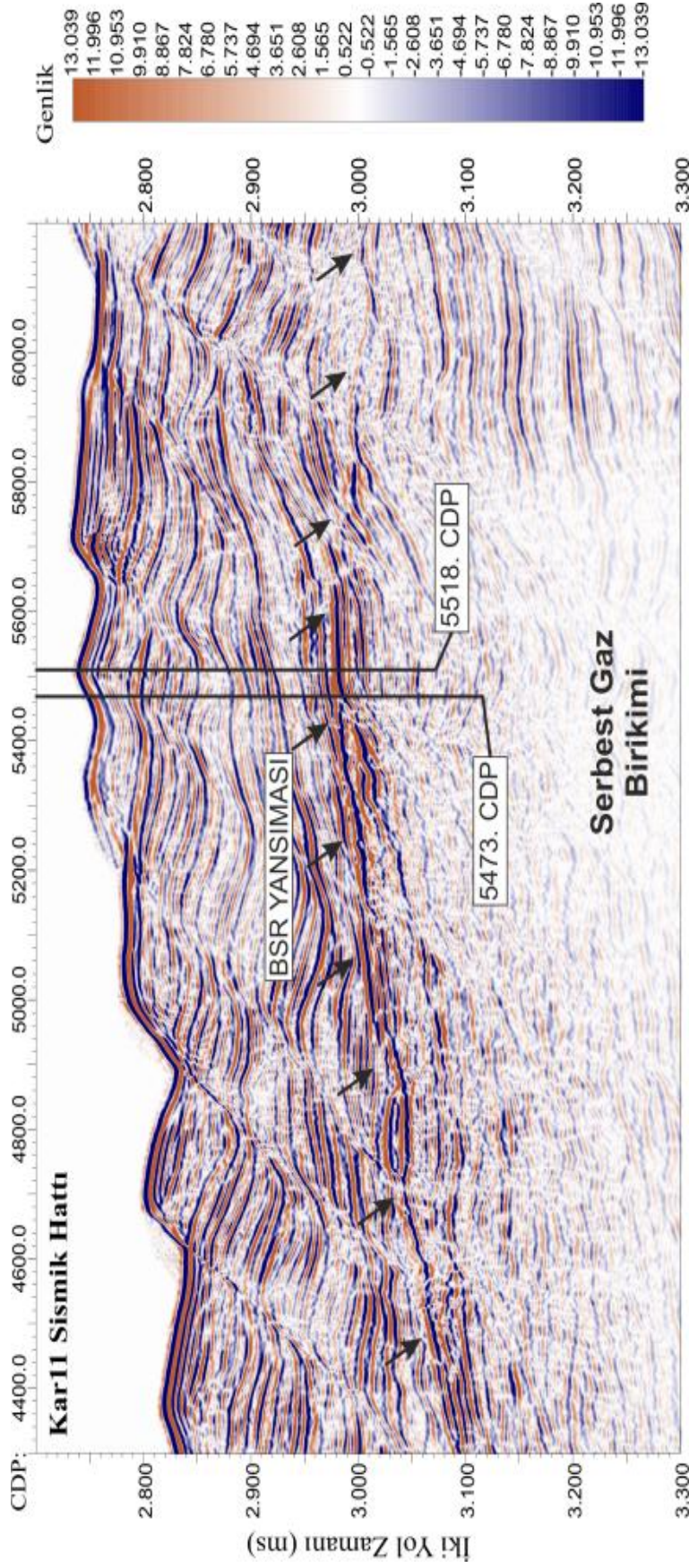
BSR yansıması üzerinde gerçekleştirilen AVO analizi için Karadeniz’de toplanmış Kar11 çok kanallı sismik veri üzerinde uygulama yapılmıştır. Kullanılan hattın veri toplama parametreleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kar11 hattı için veri toplama parametreleri

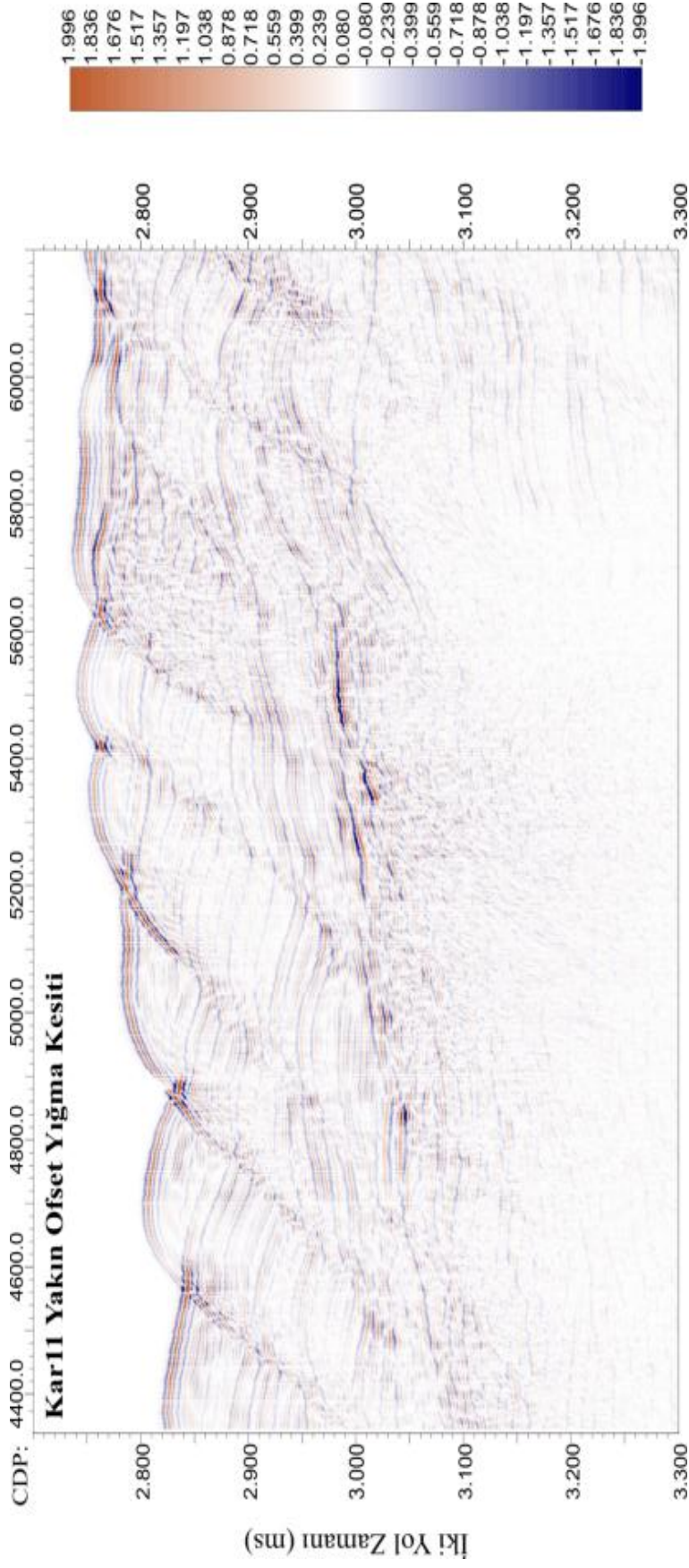
Kanal Sayısı	216
Örnekleme aralığı	1 ms
Streamer derinliği	4 m
Kaynak	GI Gun (45+45)
Kaynak Derinliği	2 m
Minimum Ofset	70 m
Maksimum Ofset	1413.75 m
Atış Aralığı	25 m
Katlanma Sayısı	27
Streamer Uzunluğu	1350 m
Grup Aralığı	6.25 m

Hattın BSR yansıması içeren kısmının migrasyon kesiti Şekil 5.18’de verilmiştir. AVO analizleri için BSR yansımasının görüldüğü 4300 numaralı CDP ile 6200 numaralı CDP arasında yer alan kısım seçilmiştir. BSR yansıması 2950 ms – 3100 ms arasında olup, 5400 numaralı CDP ile 5650 numaralı CDP arasında 3000 ms de yüksek genlikli ve ters polariteli bir yansıma olarak görülmektedir. BSR yansımasının altında genliklerin soğurulduğu görülmekte ve olasılıkla sıg gaz birikimine işaret etmektedir. Yakın ofset ve uzak ofset yığma kesitleri sırasıyla Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmiştir. Yakın ofset yığma kesiti için 70 - 200 m ofsetleri arasında yer alan tüm izler, uzak ofset yığma kesiti için 1250 - 1400 m ofsetleri arasında yer alan tüm izler yığmaya sokulmuştur. İki kesitteki görülen 5400 numaralı CDP ile 5600 numaralı CDP arasında ve 3000 ms de yer alan anomali, etrafındaki diğer genliklere göre yüksek genlik değerine sahiptir. Anomalinin yakın ofsetteki genlik değerinin uzak ofsetteki genlik değerine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

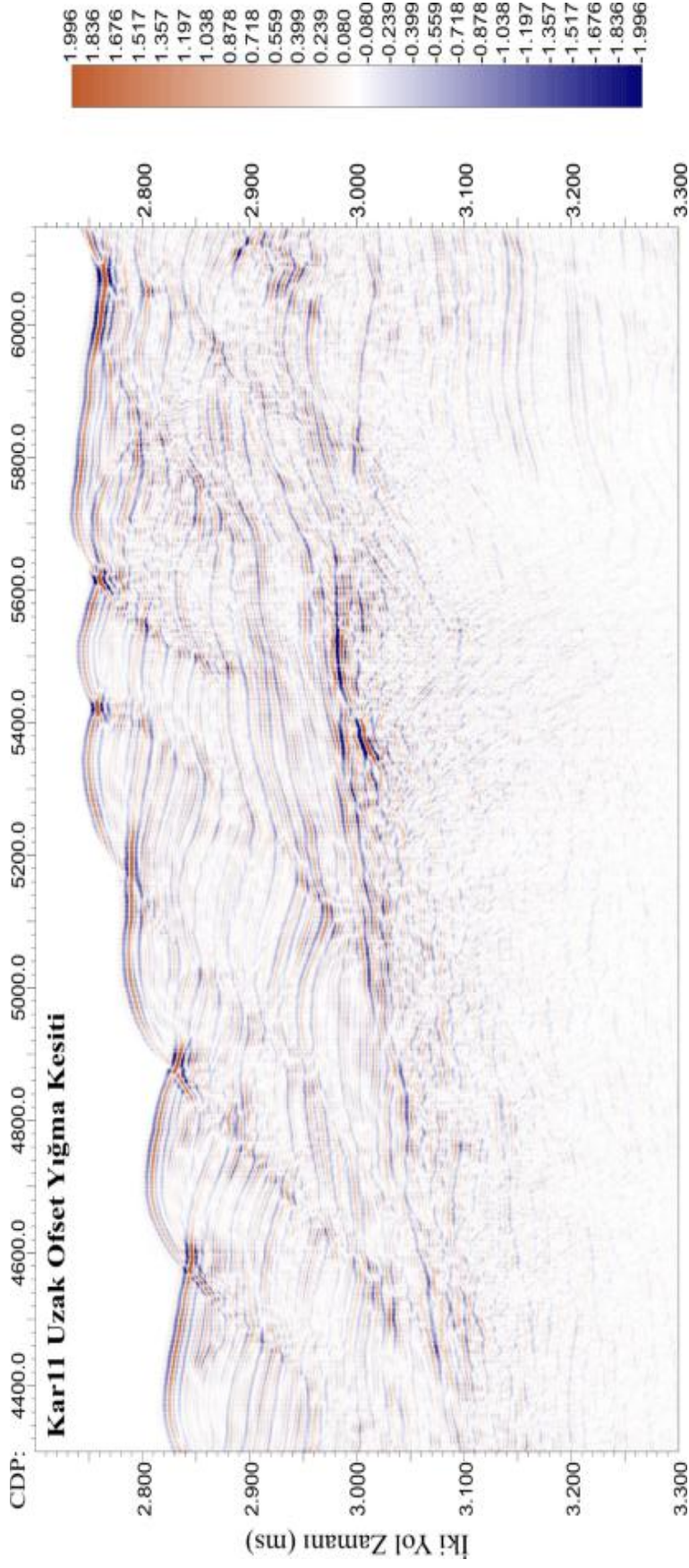
Belirgin anomali üzerinde bulunan 5473 ve 5518 numaralı CDP grubuna gradyent analizi uygulanmıştır. 5473 numaralı CDP’de 2980 ms – 2990 ms arasında ofset artışı ile azalan genliklere sahip AVO etkisi görülmüştür (Şekil 5.21). Kırmızı ile gösterilen seviye üst kısım ve mavi ile gösterilen alt kısım genlik – ofset grafiğinde Sınıf 4 AVO anomalisini işaret etmektedir. Bu CDP grubu için gösterilen Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiğinde kırmızı ve mavi seviye için gösterilen değerler de Sınıf 4 AVO anomalisini doğrulamaktadır (Şekil 5.22). 5518 numaralı CDP grubuna uygulanan gradyent analizinde, kırmızı seviye üst kısım ve mavi seviye alt kısım olmak üzere genlik – ofset grafiğinde Sınıf 3 AVO anomali gözlenmiştir (Şekil 5.23). Aynı CDP grubu için çizdirilen Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiğinde kırmızı ve mavi seviye için hesaplanan değerlerin yer aldığı bölgeler, Sınıf 3 AVO anomalisini doğrulamaktadır (Şekil 5.24). Kar11 hattı için AVO nitelik yığma kesitleri de hesaplanarak çizdirilmiştir. Kesişim yığma kesitinde BSR yansıması üzerinde yakın ve uzak ofset yığma kesitlerindeki gibi yüksek genlikli anomali görülmektedir (Şekil 5.25). Yakın ve uzak ofset yığma kesitlerinden farklı olarak BSR yansıması anomali 5200 numaralı CDP den 5600 numaralı CDP ye kadar 3000 ms civarında anomali göstermektedir. Gradyent yığma kesitinde ise kesişim yığma kesitinde olduğu gibi 5200 numaralı CDP ile 5600 numaralı CDP arasında 3000 ms civarında anomali Kesişim yığma kesitine göre ters polariteli olarak görülmektedir (Şekil 5.26). I*G yığma kesitinde BSR yansımasının 5200 numaralı CDP ile 5600 numaralı CDP arasında 3000 ms civarında yüksek pozitif ve negatif değerler görülmektedir (Şekil 5.27). Akışkan faktörü yığma kesitinde benzer şekilde 5200 numaralı CDP ile 5600 numaralı CDP arasında 3000 ms civarında yüksek genlikli anomali görülmektedir (Şekil 5.28). Gradyent analizlerinde AVO anomali veren CDP gruplarından ve nitelik yığma kesitlerindeki anomalilerden yola çıkarak Kesişim ve Gradyent nitelikleri için 5400 numaralı CDP ile 5580 numaralı CDP arasında 2970 – 3000 ms zaman aralığı için çapraz çizdirim grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.29). Mavi alan içerisindeki değerler AVO anomalisinin üst kısmı olup Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomali davranışı göstermektedir. Gri elips ile gösterilmiş ana trende göre mavi alana simetrik olan sarı alan içerisindeki değerler AVO anomalisini alt kısmını göstermektedir. Çapraz çizdirim grafiği üzerinde seçilen alanların sismik izde nereye karşılık geldiği Şekil 5.30’da verilmiştir.



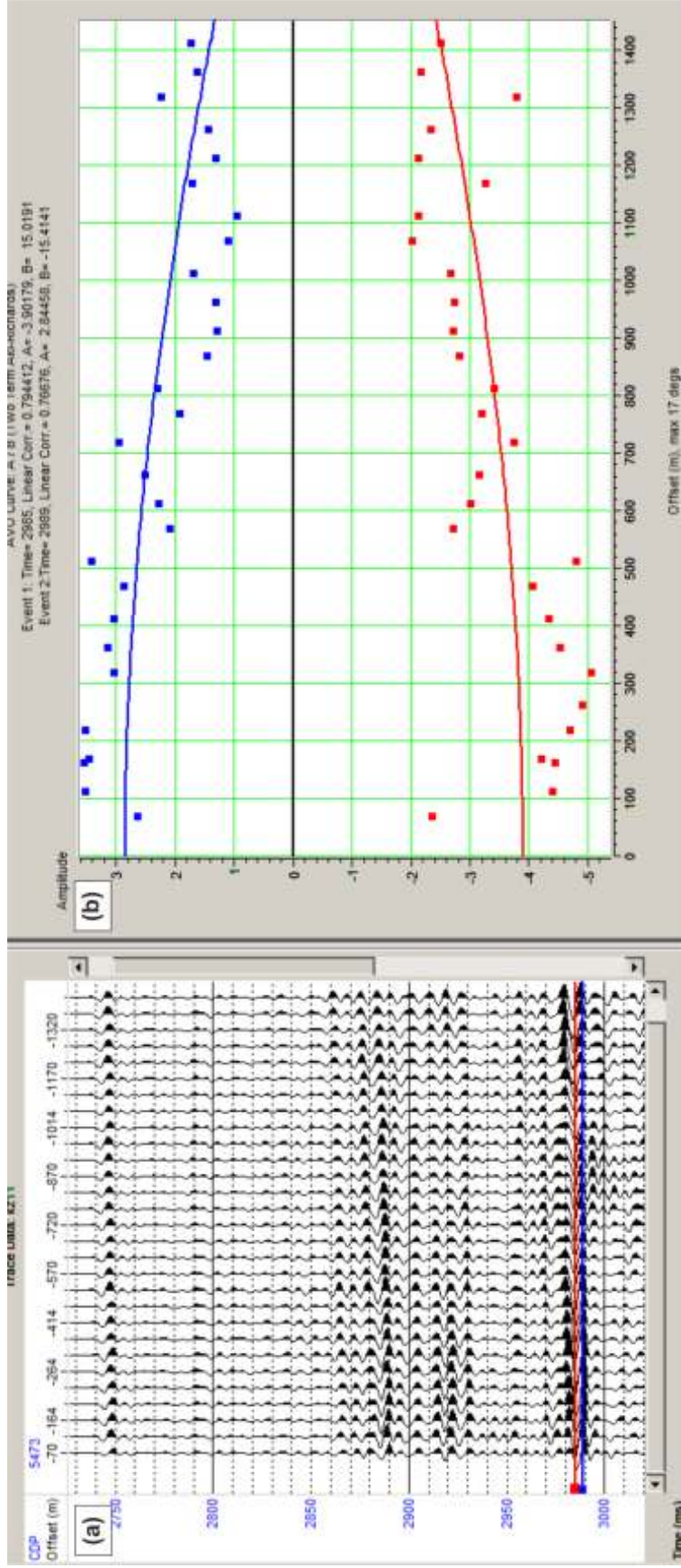
Şekil 5.18 Kar11 sismik hattı için BSR yansımalarının görüldüğü migrasyon kesiti. Gradyent analizi yapılan 5473 ve 5518 numaralı CDP'lerin kesit üzerindeki konumu



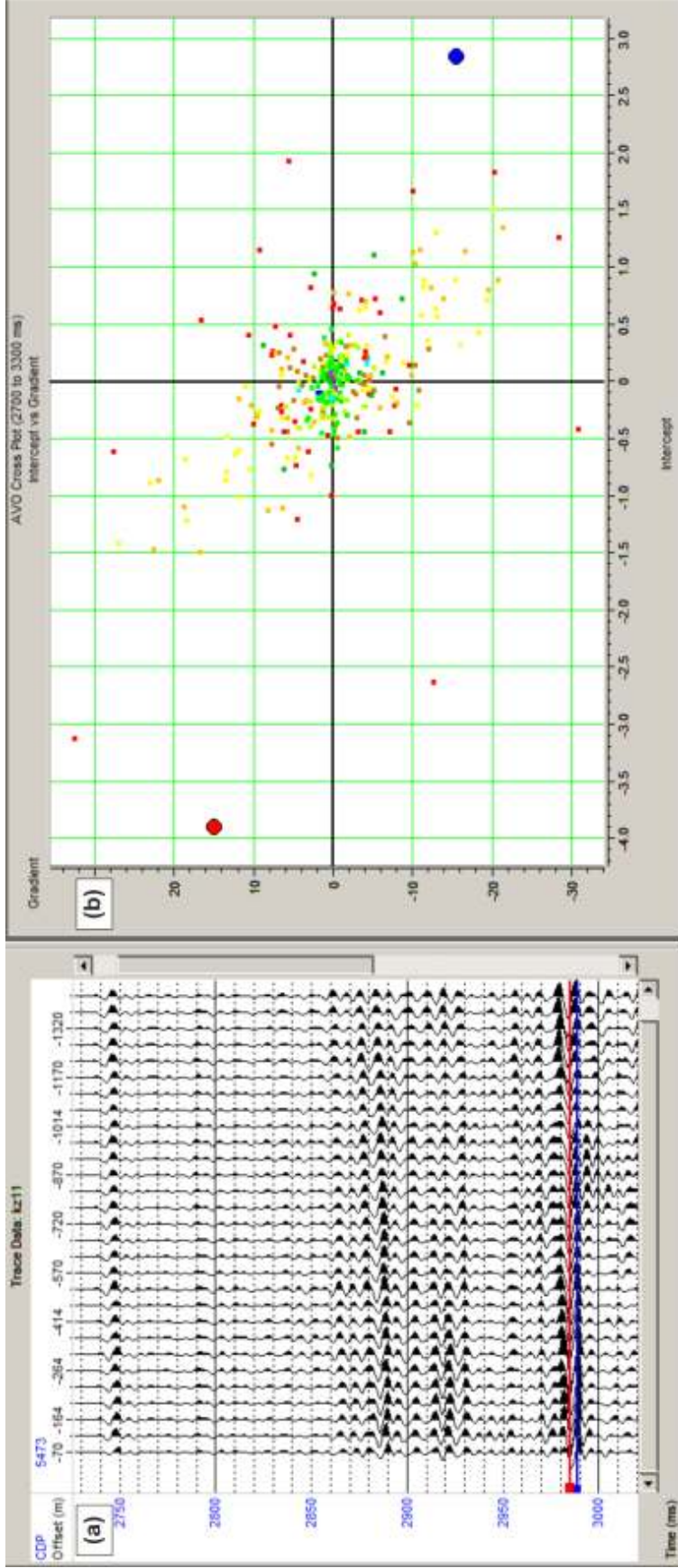
Şekil 5.19 Kar11 hattı için yakın ofset yığma kesiti. Kesitin oluşturulmasında 70 – 200 m ofsetleri arasındaki izler kullanılmıştır.



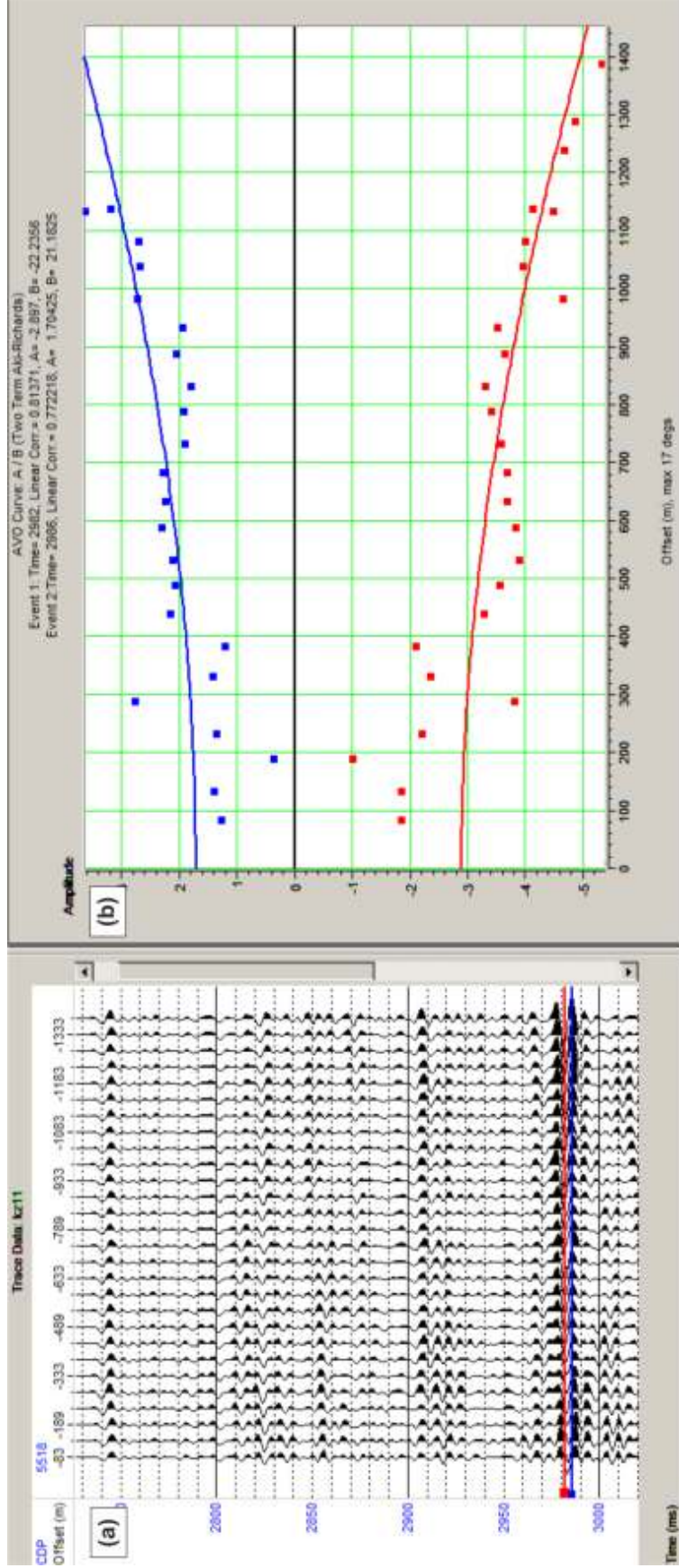
Şekil 5.20 Kar11 hattı için uzak ofset yığma kesiti. Kesitin oluşturulmasında 1250 - 1400 m ofsetleri arasındaki izler kullanılmıştır.



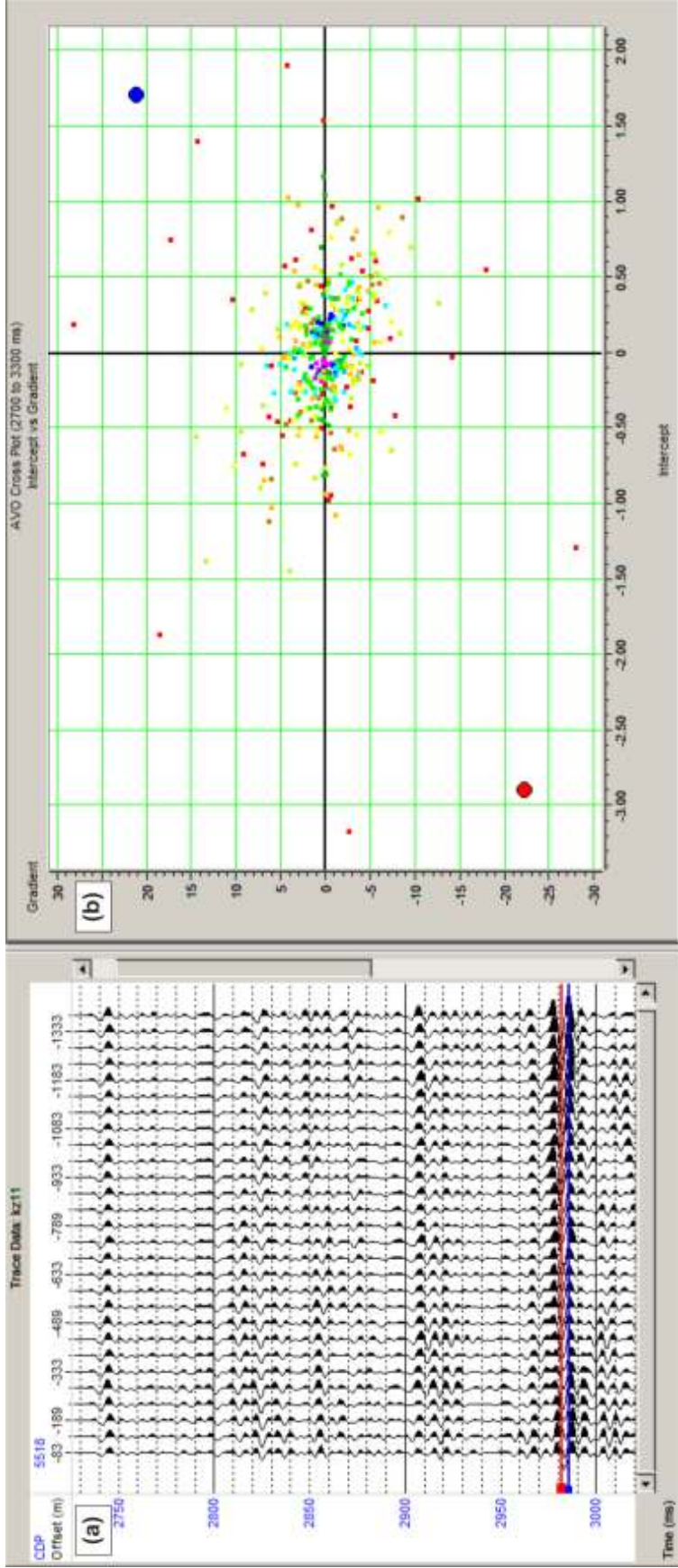
Şekil 5.21 Kar11 hattının 5473 numaralı CDP grubu için Gradyent Analizi. (a) CDP grubu, (b) BSR yansımalarının genlik – ofset grafiği



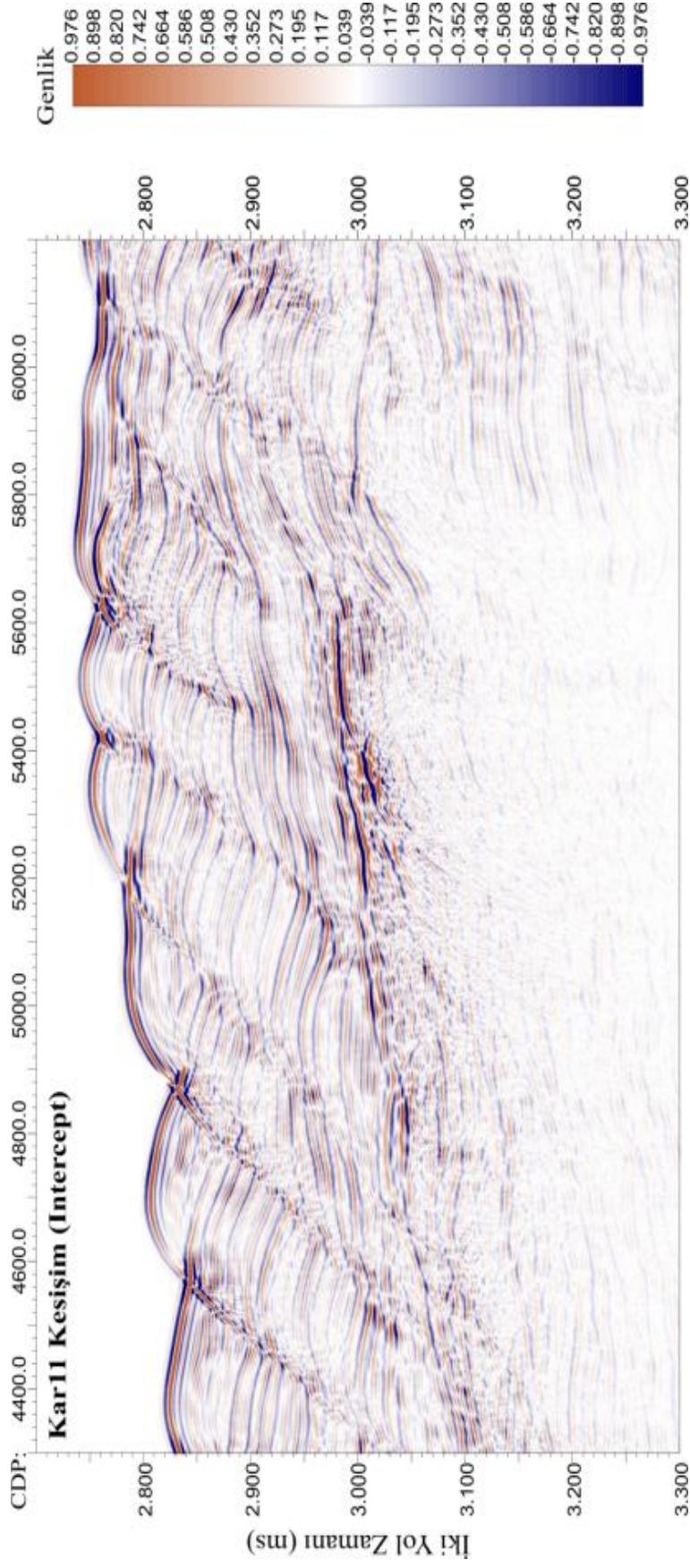
Şekil 5.22 Kar11 hattının 5473 numaralı CDP grubu için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği. (a) CDP grubu, (b) çapraz çizdirim grafiği



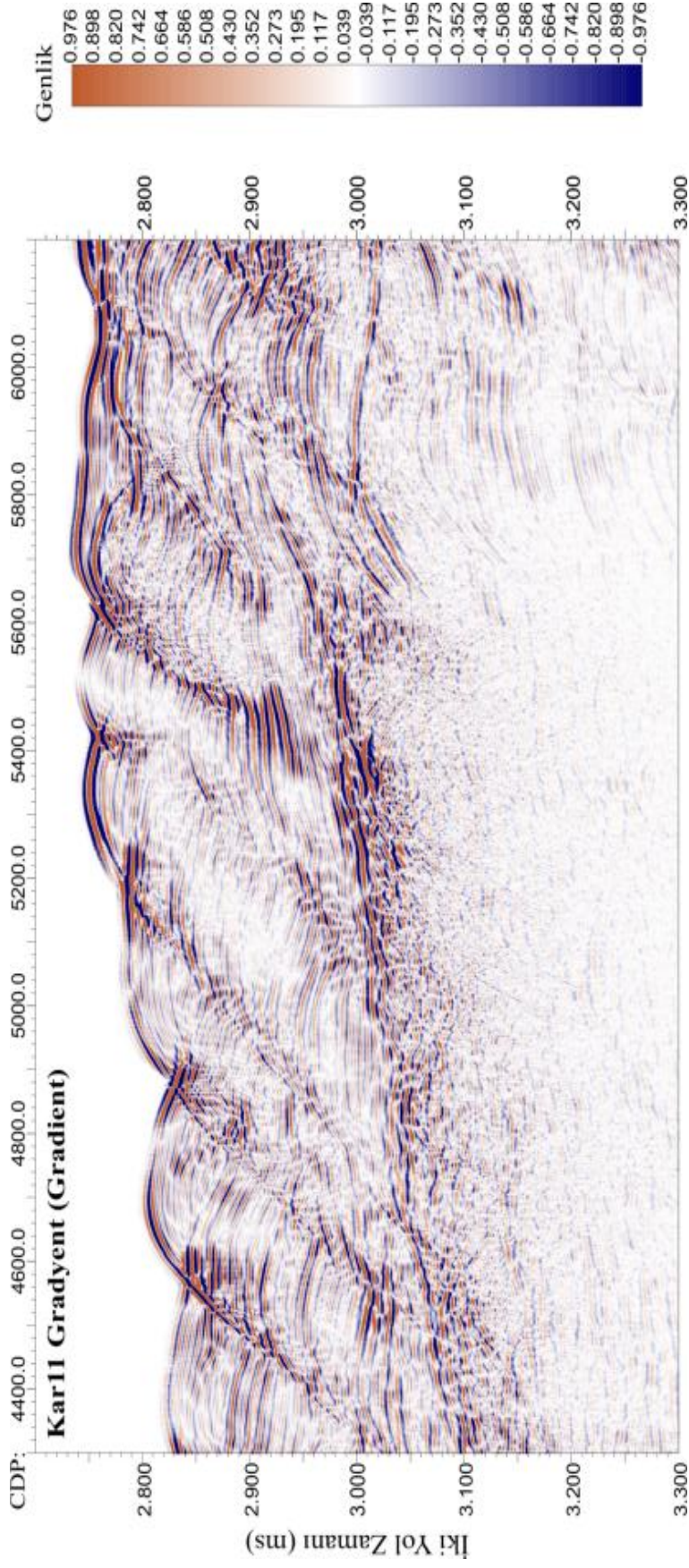
Şekil 5.23 Kar11 hattının 5518 numaralı CDP grubu için Gradyent Analizi. (a) CDP grubu, (b) BSR yansımalarının genlik – ofset grafiği



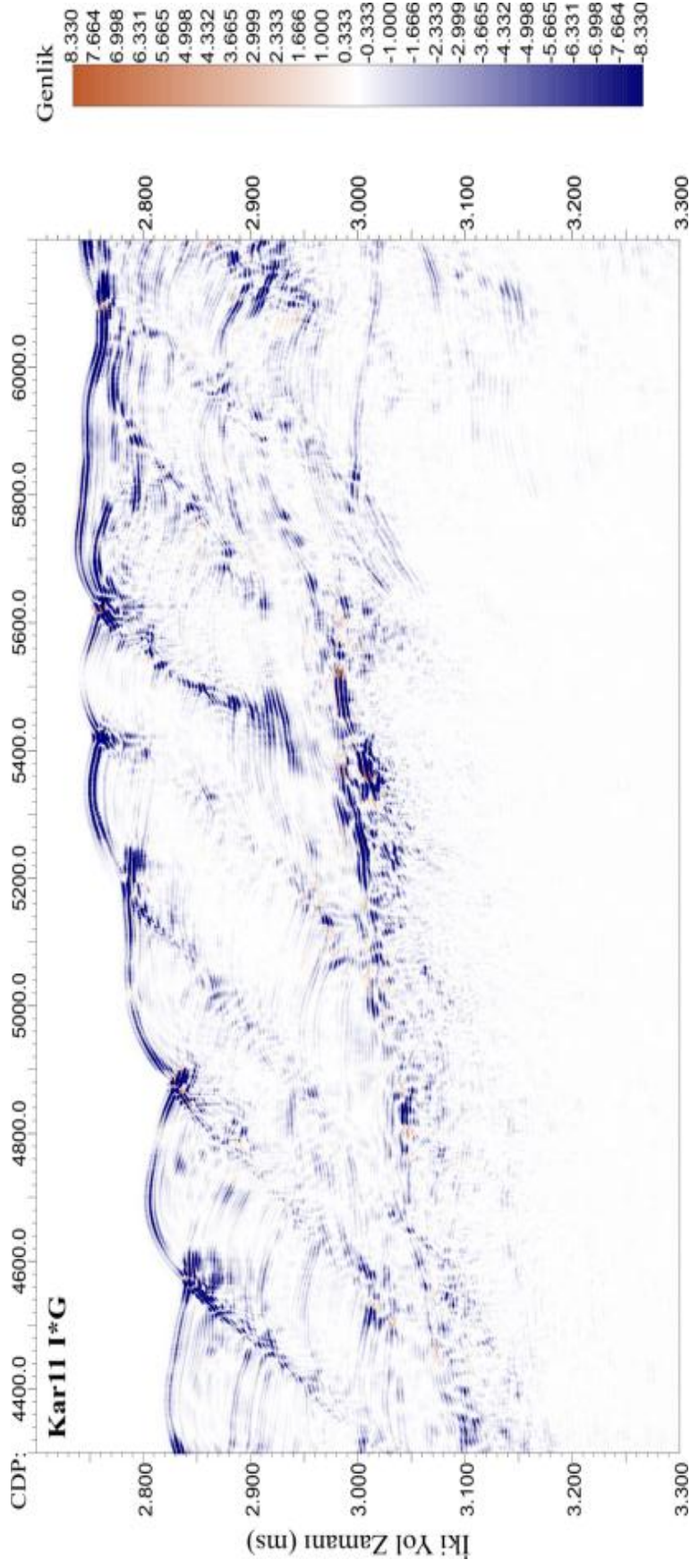
Şekil 5.24 Kar11 hattının 5518 numaralı CDP grubu için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği. (a) CDP grubu, (b) çapraz çizdirim grafiği



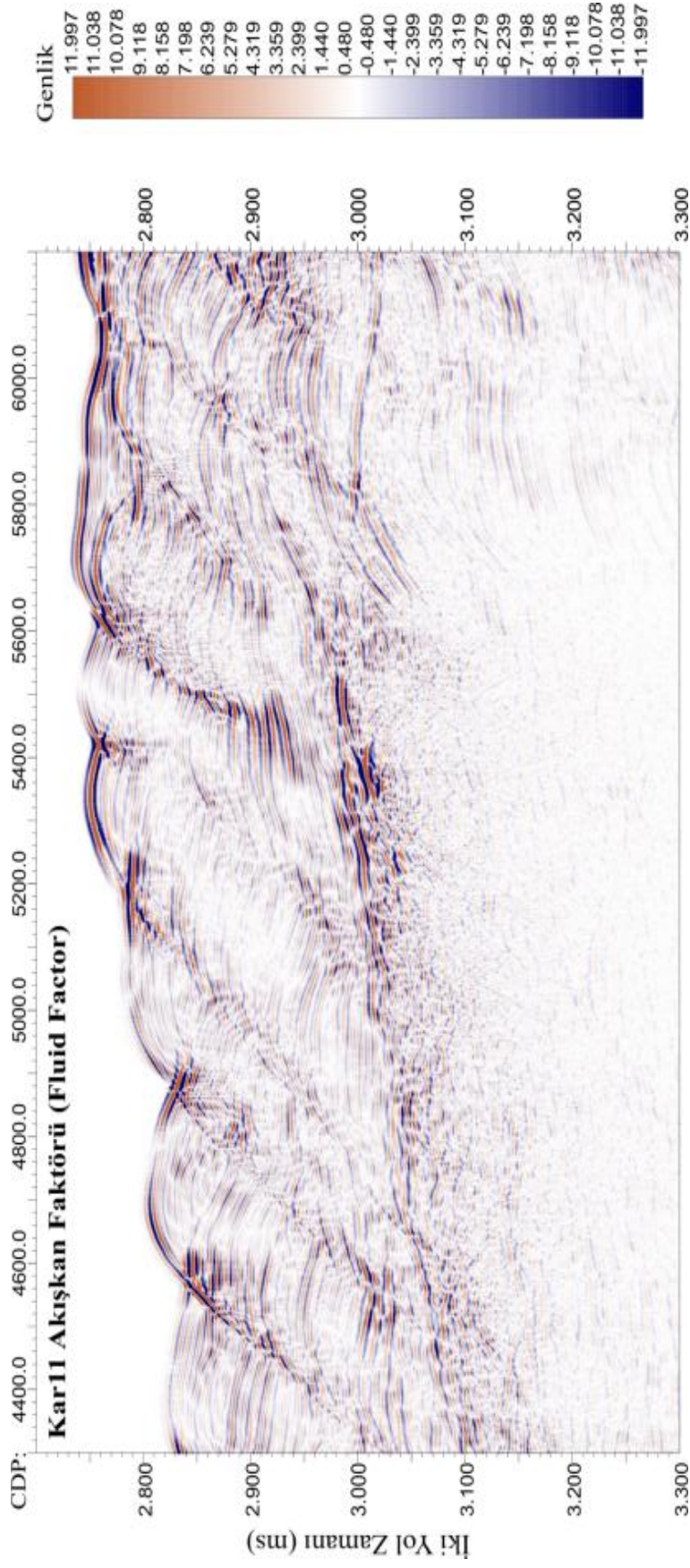
Şekil 5.25 Kar11 sismik hattının Kesişim (Intercept) yığma kesiti



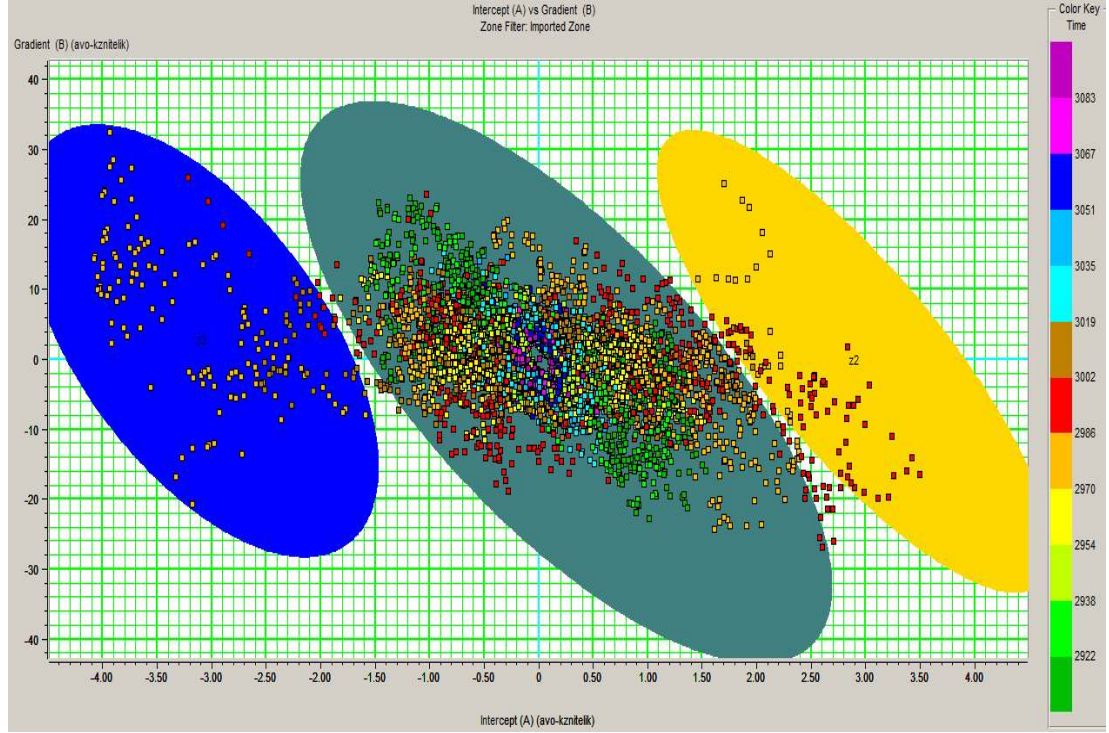
Şekil 5.26 Kar11 sismik hattının Gradyent (Gradient) yığma kesiti



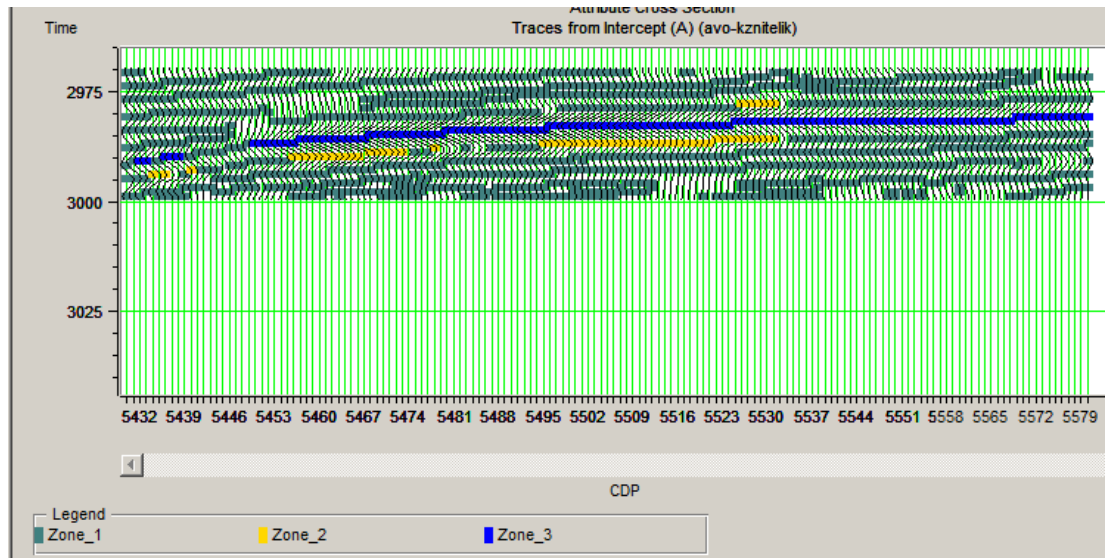
Şekil 5.27 Karlı sismik hattının I*G (Kesişim * Gradyent) yığma kesiti



Şekil 5.28 Kar11 sismik hattının Akışkan Faktörü (Fluid Factor) yığma kesiti



Şekil 5.29 5400 - 5600 numaralı CDP'ler arasında kalan kısmın 2970 ms – 3000 ms zaman aralığı için Kesişim – Gradyent çapraz çizdirim grafiği. Mavi alan AVO anomalisinin üst kısmını, sarı alan AVO anomalisinin alt kısmını ve gri alan ise ana trendi göstermektedir.



Şekil 30. Kar11 sismik hattı için çapraz çizdirim grafiğinde belirlenen AVO anomalilerinin sismik izler üzerindeki konumu. Mavi renk AVO anomalisinin üst kısmını, sarı renk AVO anomalisinin alt kısmını ve gri renk ana trend içerisinde yer alan değerleri göstermektedir.

BÖLÜM ALTI

TARTIŞMA ve YORUM

6.1 Sentetik Modeller Üzerinde AVO analizleri

Zoeppritz denklemlerine yaklaşımlardan en önemlileri olan Aki-Richards, Shuey ve Bortfeld arasında Sınıf 3 AVO anomalisi için çizdirilen yansıma katsayısı – geliş açısı grafiğinden görüldüğü üzere Aki-Richards yaklaşımı Zoeppritz çözümüne en yakın yaklaşım olduğundan modelleme aşamalarında bu yaklaşım kullanılmıştır.

AVO Sınıflarını tanımlamak için oluşturulan modellerde yer alan zayıf yansıtıcılar için üretilen sentetik CDP’lerde Sınıf 1 AVO anomalileri (Şekil 23) ile Sınıf 2 AVO anomalileri Şekil (Şekil 2.7) birbirine benzerlik göstermektedir. Haase (2004) Zoeppritz denklemlerine yaklaşımlar üzerine yaptığı modelleme çalışmasında bunu vurgulamıştır. Sınıf 3 AVO anomalilerinde güçlü yansıtıcılar için üretilen sentetik CDP’lerde genliğin ofsete bağlı artışı net bir şekilde gözlenememektedir (Şekil 2.9) ancak yansıma katsayısı-geliş açısı grafiğinde (Şekil 2.10) genliğin ofsete bağlı negatif yönde artışı açıkça görülmektedir Benzer şekilde güçlü yansıtıcı için oluşturulan Sınıf 4 AVO anomalisine sahip sentetik CDP (Şekil 2.16) üzerinde genliğin ofset ile azaldığını kestirmek oldukça zordur. Yansıma katsayısı – geliş açısı grafiğinde görüldüğü üzere modelleme için kullanılan Aki – Richards yaklaşımı 30 derecen sonra doğru değerler göstermemektedir. Hem Sınıf 1 ve Sınıf 2 AVO anomalilerinin bazı durumlarda birbirine benzer davranış göstermesi, hem güçlü yansıtıcı yüzeyden gelen Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalisinin CDP’ler üzerinde net olarak görülememesi AVO analiz aşamalarında CDP ler üzerinden ve sadece gradyent analizlerine güvenerek bir AVO sınıflaması yapılmasının doğru olmadığını işaret etmektedir. AVO nitelikleri yığma kesitlerinin ve çapraz çizdirim grafiklerinin önemi burada ortaya çıkmaktadır.

Tuzlu suya doymun kum ve gazlı kum için yapılan modelleme çalışmalarında tuzlu suya doymun kum ara yüzeylerinin gazlı kum ara yüzeylerine göre daha düşük yansıma katsayıları ve daha az eğimlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bunun anlamı tuzlu suya doymun kumların kesişim ve gradyent değerlerinin daha az olması gerektiğidir. Bu nedenle, AVO analizlerinde çapraz çizdirim grafiklerinde gaz anomalileri tuzlu su anomalilerinden ayrılabilir.

Mar10 ve Kar11 hatları üzerinde gözlemlenen anomaliler bulunduğu zaman aralığı yaklaşık olarak iki yol zamanında 10 ms civarındadır. Bu yaklaşık olarak 7,5 m kalınlığa karşılık gelmektedir. Anomalinin olduğu kısımlardaki baskın frekans 120 Hz ve hızı yaklaşık olarak 1550 m/s dir. Buna göre sismik sinyalin dalga boyu 12 m civarında hesaplanmıştır ve bilindiği üzere teoride dalga boyunun dörtte biri kalınlığındaki tabakalar sismik yöntemle ayırt edilebilir. Bu durum, veri setlerimiz için 3 metrelik ayrırlılığa karşılık geldiğinden Mar10 ve Kar11 hatlarında görülen anomalilerin ince tabaka etkisinden kaynaklanmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

6.2 Mar10 Hattı Üzerinde AVO analizleri

Mar10 sismik kesitinde (Şekil 5.1) 9300 numaralı CDP den 10300 numaralı CDP ye kadar olan alanda 750 ms ile 850 ms arasında yer alan yüksek genlikli parlak nokta anomalisinin polaritesi deniz tabanına göre ters olduğundan ve yansımanın altında yer alan genliklerin sönümlenmiş olmasından dolayı, yansımanın altında bir sık gaz birikimi olduğu düşünülmüştür ve bu yüzden parlak nokta üzerinde AVO analizleri uygulanmıştır. Parlak nokta anomalisinin ofset artışı ile değişiminin olup olmadığını kesit üzerinden görmek amacıyla yakın ofset (Şekil 5.2) ve uzak ofset (Şekil 5.3) yığma kesitleri oluşturulmuştur. Yakın ofset yığma kesitinde anomali etrafındaki diğer genliklere göre yine yüksek genlik göstermiştir. Uzak ofset yığma kesitinde genlik farkı daha net şekilde gözükmemektedir. İki kesit karşılaştırıldığında anomali üzerindeki genlik farkı net bir şekilde gözükmemektedir. Uzak ofset yığma kesitinde genlik değerleri daha büyük, yakın ofset kesitinde ise oldukça küçüktür. Yığma kesitlerine bakarak bu değişimin sebebini ofsete bağlı artan genlikler yani Sınıf 3 AVO anomalisi olarak yorumlamak mümkündür. Yakın ve uzak ofset yığma kesitlerinin yorumu, Nam ve Fink (2008)'in Norveç kuzey denizinde üretim sahasında yer alan bir gaz anomalisinde yaptığı çalışmada yer alan yakın ve ofset yığma kesitleri ile genlik değişimini görüntülemesi sonucu bulduğu Sınıf 3 AVO anomalisi sonuçlarına oldukça benzemektedir.

Mar10 hattı için yapılan Gradyent analizlerinde 10135 numaralı CDP (Şekil 5.4) de Sınıf 3 ve 9634 numaralı CDP (Şekil 5.6) ile 9560 numaralı CDP'lerde (Şekil 5.8) Sınıf 4 AVO anomalisi vermektedir. Uygulanan gradient analizlerinde AVO anomalisinin alt ve üst kısmındaki yansımalar olması gerektiği gibi hemen hemen birbirinin simetriğidir. Aynı CDP noktaları için uygulanan çapraz çizdirim grafiğinde 10135 numaralı CDP (Şekil 5.5) AVO anomalisinin alt ve üst kısımlarının bulunduğu alanlar Sınıf 3 AVO anomalisini doğrulamaktadır. 9634 numaralı CDP (Şekil 5.7) ile 9560 numaralı CDP (Şekil 5.9)'ler için uygulanan çapraz çizdirim grafiklerinde alt ve üst seviyeler Sınıf 4 AVO anomalisini doğrulamaktadır. Aynı parlak nokta anomalisi üzerinde farklı sınıf AVO anomalileri görülmüştür.

AVO nitelik yığma kesitlerinde Mar10 hattı için Kesişim yığma kesitinde (Şekil 5.10) sıfır ofsetteki genlik değerleri parlak noktanın olduğu seviyede etrafına göre yüksek çıkmıştır. Sıfır ofsetteki genliklerin büyük olması Sınıf 1, 3 ve 4 AVO anomalilerinde görülmektedir. Dolayısıyla sadece kesişim yığma kesitinden yola çıkarak Sınıf 2 AVO anomalisinin var olmadığı söylenebilir. Mar10 hattının Gradyent yığma kesitinde (Şekil 5.11) gradyent genlik değerleri etrafına göre daha yüksektir. I*G nitelik kesitinde (Şekil 5.12) anomali üzerinde 10070 numaralı CDP ile 10150 numaralı CDP arasında pozitif genlik değerleri görülmüştür ve bu kesişim ve gradyent değerlerinin negatif olmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Sınıf 3 anomalisinde I*G niteliği her zaman pozitif değer vermektedir. 9450 numaralı CDP ve 9600 numaralı CDP arasında I*G değeri negatif olduğundan Sınıf 4 AVO anomalilerinin I*G nitelik sonucunu göstermektedir. Bu iki sonuç yapılan Gradyent analizleri ile karşılaştırıldığında Sınıf 3 ve Sınıf 4 anomalilerinin varlığı I*G yığma kesiti ile kesinleşmiştir. Veeken ve Rauch-Davies (2006) I*G niteliği ile parlak nokta anomalisi üzerinde benzer sonuçlar bularak, I*G kesitlerinin hidrokarbon tespitiindeki önemini vurgulamışlardır.

Akışkan faktörü yığma kesitinde (Şekil 5.13) parlak nokta anomalisinin tamamının genliği etrafına göre büyüktür. Akışkan faktöründe anomalinin etrafındaki genliklerden yüksek genliklere sahip olması, çapraz çizdirimde ana trendi oluşturan

genliklerden uzakta olması anlamına gelir ve bu da gaz birikimi olduğunun bir göstergesidir. Anomalinin olduğu seviye çapraz çizdirim grafiğinde çizdirildiğinde Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalileri görülmektedir (Şekil 5.14). Şekil 5.15 de çapraz çizdirim grafiğinde seçilen bölgelerin sismik izler üzerinde nereye ait oldukları gösterilmiştir. Beklendiği üzere anomali üstünde Gradyent analizinde ve I*G kesitinde ayrı anomali veren kısımlar için çapraz çizdirim grafiği ayrı çizdirildiğinde Sınıf 3 (Şekil 5.16) ve Sınıf 4 (Şekil 5.17) anomalileri net bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Belirgin anomaliler üzerinde uygulanan çapraz çizdirim grafiklerinde AVO sınıflarının belirlenmesi ve gaz anomalilerinin ana trendden ayrılmasında daha net sonuçlar aldığı görülmüştür.

6.3 Kar11 Hattı Üzerinde AVO analizleri

Kar11 sismik hattı üzerinde bulunan BSR yansıması ile diğer tabakaların genlikleri arasında fazla bir fark yoktur. Ancak 5500 numaralı CDP ile 5700 numaralı CDP arasında BSR yansıması oldukça yüksek genlikli ters polarite vermesi ve alt kısmında kalan genliklerin soğurulması nedeniyle BSR yansımasının altında serbest gaz varlığından söz edilebilir (Şekil 5.18). Diaconescu ve diğ. (2001) BSR genliklerinin üzerindeki genliğin yüksek olması ve ofsete bağlı değişiminden dolayı altında serbest gaz birikimi olacağını öne sürmüştür. Dolayısıyla AVO analizi için BSR üzerinde en yüksek genlik veren nokta dikkate alınmıştır. Yakın (Şekil 5.19) ve uzak (Şekil 5.20) ofset yığma kesitleri arasında genlik farkının olması ofsete bağlı olarak genliğin değişimini göstermektedir. 5473 numaralı CDP (Şekil 5.21) de uygulanan gradyent analizi Sınıf 4 AVO anomalisini göstermekte olup, çok yakınında bulunan 5518 numaralı CDP (Şekil 5.23) de Sınıf 3 AVO anomalisini göstermektedir.

Kesişim (Şekil 5.25) ve gradyent (Şekil 5.26) yığma kesitlerinde serbest gaz birikimi olduğu düşünülen kısımların genlik değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Ancak gradyent kesitinden AVO sınıfları hakkında kesin bir bilgi vermek mümkün olmamakla beraber I*G yığma kesitinde (Şekil 5.27) hem negatif hem pozitif değerler gözlenmektedir. Bu durum genelde ortamda birden fazla AVO Sınıfı olduğunu göstermektedir. Anomali üzerinde gerçekleştirilen gradyent analizlerinde

Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalilerine rastlanması I*G yığma kesitinde çıkan negatif ve pozitif değerleri açıklamaktadır. Russell ve diğ. (2011) yaptığı çalışmada kullandıkları I*G kesitinde Sınıf 3 AVO anomalisi için pozitif değerler bulmuşlardır. Dolayısıyla ortamda var olan tek bir tip AVO anomalisi için I*G kesitinin net sonuç verdiği gözükmemektedir. Akışkan faktörü kesiti (Şekil 5.28) BSR yansımasının genelinde anomali vermezken serbest gaz birikimi olduğu düşünülen kısımda çok yüksek genlikli bir anomali vermektedir. Bu durum, buradaki genlik değerlerinin, çevre genlik değerlerinin oluşturduğu trendin çok dışında yer aldığını göstermektedir. 5400 numaralı CDP ile 5600 numaralı CDP arasında çizdirilen çapraz çizdirim grafiğinde (Şekil 5.29) Sınıf 4 ve Sınıf 3 AVO anomalileri net bir şekilde görülmektedir ve seçilen kısımlar sismik iz üzerinde çapraz çizdirim grafiği için belirlenen aralığın tümünde görülmektedir. Bundan dolayı 5400 numaralı CDP ile 5600 numaralı CDP arasında yer alan BSR yansıması üzerindeki yüksek genlikli yansımanın altında yer alan serbest gaz birikiminden kaynaklanmaktadır. Chaudhuri ve diğ.(2002) yaptıkları çalışmada BSR yansıması üzerinde bazı yerlerde yüksek genlikli ve ters polariteli yansıma gözlemlenmiş ve bunun serbest gaz birikimlerinin yanı sıra sıkılaşmamış sedimanlardan kaynaklandığını söylemiştir. Aynı çalışmada, BSR üzerinde bulunan yüksek genlikli anomali için .kesişim – gradyent çapraz çizdirim grafiğinde açık şekilde gözlemlenebilen anomaliler yakalanamamıştır.

AVO analizi uygulanan Mar10 ve Kar11 hatlarının ikisinde de Sınıf 4 ve Sınıf 3 anomalileri tespit edilmiştir. İki ayrı AVO anomalisinin aynı kısımda yer alabileceğini Sbar ve Johnson (2010) yaptıkları çalışmada parlak nokta üzerinde çapraz çizdirim grafiklerinde benzer Sınıf 4 ve Sınıf 3 AVO anomalisi olduğunu tespit ederek göstermişlerdir. Aynı zamanda Nam ve Fink (2008) üretim sahasında yer alan parlak nokta anomalisi üzerinde Sınıf 3 ve Sınıf 4, Young (2007) ise Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalisini benzer parlak nokta anomalisi üzerinde çapraz çizdirim grafikleri ile görüntülemişlerdir. Bu çalışmalarla karşılaştırıldığında, özellikle Mar10 ve Kar11 hattında çapraz çizdirim grafiklerinde yer alan anomaliler çok daha belirgindir.

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR

Tez kapsamında yapılan sentetik modelleme çalışmalarında Zoeppritz denklemlerine yaklaşımlar incelenmiş ve modelle çalışmaları için Aki-Richards yaklaşımı seçilmiştir. 1B AVO sınıfları modelleme çalışmalarında güçlü yansıtıcılar için oluşturulan Sınıf 3 ve Sınıf 4 sentetik CDP’lerde genliğin ofsete bağlı artışı net şekilde görülemediğinden, yansıma katsayısı – geliş açısı grafiklerinden yorum yapmanın daha doğru olduğu görülmüştür. Aynı zamanda zayıf yansıtıcılar için oluşturulan modellerde Sınıf 1 ve Sınıf 2 AVO anomalileri sentetik CDP’ler üzerinde benzer şekilde görüldüğünden, bu iki sınıfın ayrımının çapraz çizdirim grafiklerinde daha kolay olacağı görülmüştür. Tuzlu suya doymun kum ve gazlı kum için yapılan 1 B modelleme çalışmalarında tuzlu içeren sedimanların genliklerinin ofsete bağlı olarak çok küçük oranlarda değişim gösterdiği, gazlı kum içeren sedimanların genliklerinin ofsete bağlı olarak büyük oranda değişim gösterdiği yansıma katsayısı – geliş açısı grafiklerinde ortaya konmuştur. Sentetik CDP’ler üzerinde tuzlu suya doymun kum ve gazlı kum modellerinde büyük bir fark gözlenmemiştir.

Mar10 sismik hattında parlak nokta anomali yansımasının üzerinde yapılan AVO analizleri sonucunda, yakın ve uzak ofset kesitleri ile AVO anomalisi gözlenmiş, gradıent analizlerinde ve çapraz çizdirim grafikleri üzerinde Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalilerinin varlığı ortaya konmuştur. AVO anomalisi gösteren yansıması nitelik yığma kesitlerinde de anomali vererek ortamda sığ gaz birikimi olduğunu göstermiştir.

Kar11 sismik hattı için çizdirilen yakın ve uzak ofset yığma kesitleri sonucunda BSR üzerindeki en yüksek genlikli seviye ortaya çıkarılmıştır. Nitelik yığma kesitleri ise BSR yansıması üzerinde daha geniş bir alanda anomali vermiştir. En yüksek genliğin olduğu kısımlara uygulanan gradıent analizleri ve çapraz çizdirim grafiğı sonucunda Sınıf 3 ve Sınıf 4 AVO anomalilerine rastlanmıştır. BSR yansıması üzerindeki yüksek genlikli kısmın altındaki genliklerin soğurulduğu kısımda serbest gaz birikimi olduğu ortaya konmuştur.

REFERANSLAR

- Aki, K., Richards, P.G. (1980). Quantitative Seismology Theory and Methods. *W. H. ve Co.*
- Borfeld, R. (1961). Approximation to the Reflection and Transmission Coefficients of Plane Longitudinal and Transverse Waves. *Geophys. Prosp.*, 9, 485-503.
- Buland, A., Landro, M., Andersen, M., Dahl, T. (1996). AVO inversion of Troll Field data. *Geophysics* vol 61(6), 1580-1602.
- Castagna, J.P. and Swan, H.W. (1997). Principles of AVO crossplotting. *The Leading Edge*, 16, 337-342.
- Castagna, J. P., Swan, H. W. and Foster, D. J. (1998). Framework for AVO gradient and intercept interpretation. *Geophysics*, 63 , 948-956.
- Chand, S., Minshull, T. A. (2003). Seismic constraints on the effects of gas hydrate on sediment physical properties and fluid flow: a review. *Geofluids* – 3, 275 – 289.
- Chaudhuri, D., Lohani, NC., Chandra, S., Sathe, AV. (2002). AVO attributes of a bottom simulating reflector: east coast of India. *SEG Int'l Exposition and 72nd Annual Meeting*
- Chen, M. P., M. Riedel, R. D. Hyndman, and S. E. Dosso. (2007). AVO inversion of BSRs in marine gas hydrate studies. *Geophysics*, 72 (2), C31 – C43.
- Demirbağ, E. (1990). Estimation of seismic parameters from multifold reflection seismic data by generalized linear inversion of Zoeppritz equations. 1-20.

- Diaconescu, C., C., Kieckhefer, R., M., Knapp, J., H. (2001). Geophysical evidence for gas hydrates in the deep water of the South Caspian Basin, Azerbaijan. *Marine and Petroleum Geology* 18, 209 – 221.
- Dondurur, D. (2009). Deniz Sismiğinde Veri İşlem. *JFMO Eğitim Yayınları No:11*, 74-104,145-214.
- Ecker, C., Lumley, D. E. (2001). Seismic AVO analysis of methane hydrate structures. *Stanford Exploration Project, Report 80*, 1-14
- Esmailpour, S., Riahi, M. A., Emamzadeh, A. and Sokooti, R. (2010). Seismic AVO Modeling Using In situ Samples for Reservoir Study. *Journal of the Earth & Space Physics, Vol 36, no 2*, 1-10.
- Fred J. Hilterman. (2001). Seismic Amplitude Interpretation. *Distinguished Instructor Short Course Series No:4*.
- Foster, D. J., Keys, R. G. and Lane F. D. (2010). Interpretation of AVO anomalies. *Geophysics vol 75 no 5*, 75A3 – 75A13.
- Graul, M.(2001). AVO:Yesterday, Today, and (a peek at) tomorrow. *Texseis Inc., Houston, U.S.A.*
- Haase, A. B. (2004). Modelling of linearized Zoeppritz approximations. *CREWES Research Report, Volume 16*.
- Knott, C.G. (1899). Reflection and Refraction of Elastic Waves with Seismological Applications. *Phil. Mag.*, 48, 64-97.
- Kvenvolden, K. A. (1998). A primer on the geological occurrence of gas hydrate, in J. P. Henriot, and J. Mienert, eds., Gas hydrates: Relevance to the world margin

- stability and climate change. *Geological Society, London, Special Publications*, 137, 9–30.
- Nam, N., Fink, L. (2008). From Angle Stacks to Fluid and Lithology Enhanced Stacks. *International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics*, 41.
- Ojha, M., Sain, K., ve Minshull, T., A. (2010). Assessment of gas-hydrate saturations in the Makran accretionary prism using the offset dependence of seismic amplitudes. *Geophysics*, 75, no. 2, C1 – C6.
- Ramos, A. C. B., ve Castagna, J. P. (2001). Useful approximations for converted-wave AVO. *Geophysics vol 66. No. 6*, 1721 – 1734.
- Ross, C. P. (2000). Effective AVO crossplot modeling: A tutorial. *Geophysics vol 65 no 3*, 700-711.
- Russell, B., H., Grady, D., and Hampson, D., P. (2011). Linearized AVO and poroelasticity. *Geophysics vol 76 no 3* C19 – C29.
- Russell, B., Ross, C., Lines, L. (2002). *The Leading Edge (March 2002)* 268 – 314.
- Rutherford, S. R., and Williams, R. H. (1989). Amplitude-versus-offset in gas sands. *Geophysics*, 54, 680-688.
- Simm, R., White, R., Uden, R. (2000). The anatomy of AVO crossplots. *The Leading Edge – February 2000*, 150-155
- Sloan, E. D. (1998). Clathrate hydrate of natural gases. *Marcel Dekker, Inc.*
- Shuey, R., T. (1985). A Simplification of The Zoeppritz Equations. *Geophysics*, 50, 609-614.

- Veeken, P., Rauch-Davies, M. (2006). AVO attribute analysis and seismic reservoir characterization. *First Break volume 24, February* 41-51.
- Young, K., T., Tatham, R., H.(2007). Multiple AVO analysis techniques to evaluate pore fluid saturant of “bright spots” in stacked sections, Columbus Basin, Offshore Trinidad. *SEG/Sag Antonio 2007 Annual Meeting* 283 – 287.
- Yuan, T., G. D. Spence, R. D. Hyndman, T. A. Minshull, and S. C. Singh. (1999). Seismic velocity studies of a gas hydrate bottom-simulating reflector on the northern Cascadia continental margin, Amplitude modeling and full waveform inversion. *Journal of Geophysical Research*, 104, 1179–1191.
- Zoeppritz, K. (1919). On The Reflection and Propagation of Seismic Waves. *Gottinger Nachrichten*, 1, 66-84.