

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK YÖNTEMLERLE GAZ HİDRATLARIN ARANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Mine GÜRELİ

Anabilim Dalı : Jeofizik Mühendisliği
Programı : Jeofizik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Emin DEMİRBAĞ

HAZİRAN 2008

SİSMİK YÖNTEMLERLE GAZ HİDRATLARIN ARANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mine GÜRELİ

(505051405)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Emin DEMİRBAĞ

Diğer Jüri Üyeleri Yrd.Dç. Dr. Neslihan OCAKOĞLU (İ.T.Ü.)

Yrd.Dç. Dr. Şenol YAMANLAR (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Tez çalışması süresince gerek teorik gerek uygulama alanlarında bilgilerini sunan, çalışmalarında bana yardımcı olan ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Emin Demirbağ'a sonsuz saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Tez kapsamında program yazılımında bana yardımcı olan arkadaşım M.Boğaçhan Akalın'a teşekkür ederim.

Akademik eğitimim boyunca bilgileriyle ve tecrübeleriyle bana yol gösteren emeği geçen İ.T.Ü Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince ve tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve tez çalışmamı bitirmem için bana destek veren, telkinde bulunan Serdar Namal'a ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2008

Mine GÜRELİ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. HİDROKARBON KÖKENLİ ENERJİ KAYNAKLARI	4
2.1. Hidrokarbonlar ve Özellikleri	5
2.1.1. Alifatik Hidrokarbonlar	6
2.1.1.1. Alkanlar	7
2.1.1.2. Alkenler	9
2.1.1.3. Alkinler	9
2.1.2. Aromatik Hidrokarbonlar	10
2.2. Kömür	11
2.3. Petrol	14
2.4. Doğal Gaz	15
3. GAZ HİDRATLAR	17
3.1. Gaz Hidratların Tanımı Ve Özellikleri	17
3.2. Gaz Hidrat Oluşumu ve Duraylılık Koşulları	19
3.3. Gaz Hidratların Önemi Ve Bulunduğu Yerler	24
3.4. Gaz Hidratlardan Gaz Üretim ve Taşınma Yöntemleri	28
3.5. Gaz Hidratların Jeofizik Belirtileri ve Aranmasında Kullanılan Yöntemler	31
4. SİSMİK YANSIMA VE AVO ANALİZİ	38
4.1 Sismik Yansımaya Yöntemi	38
4.1.1 Akustik Empedans ve Yansımaya Katsayıları	40
4.1.2. Zoeppritz Denklemleri	42
4.1.2.1 Zoeppritz Denklemlerinde Yapılan Yaklaşımlar	45
4.2. AVO Analizi	48
4.2.1 AVO Analizinde Kayaçların Petrofizik Özellikleri	50
4.2.3. AVO Analizine Hazırlıkta Veri-İşlem Aşamaları	52
4.2.3.1. Süzgeç Uygulaması	54
4.2.3.2. Genlik Kazanımı	54
4.2.3.3. Bozuk Verilerin Ayıklanması (Editing)	54
4.2.3.4. Atış - Alıcı Statik Düzeltmesi	54
4.2.3.5. Geometri Düzenini Oluşturulması	55
4.2.3.6. Dekonvolusyon	55

4.2.3.7. Atış Düzeninde Ortak Yansıma Noktası Düzenine Geçilmesi (Sorting)	55
4.2.3.8. Dinamik Düzeltme (NMO)	56
4.2.3.9. Hız Analizi	57
4.2.3.10. Yığılma İşlemi (Stacking)	58
4.2.3.11. Sismik Göç İşlemi (migration)	59
4.2.4. AVO Verisinin Modellenmesi Ve Yorumu	59
4.2.5. AVO Verisinin MATLAB Programında Modellenmesi	61
4.2.6. AVO Analizinde Super Gather Oluşturulması	67
4.2.7. AVO Sismik İz Nitelikleri Analizi	69
4.3. Sismik İz Nitelikleri Analizi	72
4.3.1. Karmaşık Sismik İz Nitelikleri Analizi	72
4.3.1.1. Yansıma Gücü	73
4.3.1.2. Anlık Frekans	78
4.3.1.3. Anlık Faz	80
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR	93
EKLER	98
ÖZGEÇMİŞ	100

KISALTMALAR

CDP	: Common Depth Point
CMP	: Common Mid Point
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NMO	: Normal Moveout
RMS	: Root Mean Square
BSR	: Bottom-Simulating Reflector
AVO	: Amplitude-Versus-Offset
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
S/G	: Sinyal/Gürültü Oranı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 MTA-İTÜ-Cambridge Üniversitesi ekibi tarafından MTA Sismik1 gemisi kullanılarak 1998 yılında toplanan sismik verilerin toplama parametreleri	3
Tablo 2.1 Alifatik hidrokarbonların özellikleri.....	6
Tablo 3.2 Gaz hidrat yapıları ve özellikleri.....	19
Tablo 3.3 Dünyada organik karbon rezervleri.....	25
Tablo 3.4 Doğal gaz hidratlar çökellerindeki metan gaz ölçümleri.....	25
Tablo 3.5 Sedimanların hidrat içeriğine göre değişen fiziksel parametreleri..	32
Tablo 4.1 Model 1'e ait sismik parametreler.....	63
Tablo 4.2 Model 2'e ait sismik parametreler.....	64
Tablo 4.3 Model 3'e ait sismik parametreler.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: MTA-İTÜ-Cambridge Üniversitesi ekibi tarafından MTA Sismik-1 gemisi kullanılarak 1998 yılında toplanan sismik hatların yerlerini gösteren harita.....	3
Şekil 2.1	: Hidrokarbonların sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.2	: Bazı alkanların moleküler yapıları ve kimyasal formülleri.....	7
Şekil 2.3	: Benzenin moleküler yapısı.....	11
Şekil 2.4	: Benzenin mono türevleri ve bazı aromatik bileşiklere örnekler.....	11
Şekil 2.5	: Kömür Çeşitleri.....	12
Şekil 2.6	: Kömür Çeşitleri ve Özellikleri.....	13
Şekil 2.7	: 2006 yılı sonu itibariyle ülkelerin kömür rezerv dağılımları bin milyon ton cinsinden.....	14
Şekil 2.8	: 2006 yılı sonu itibariyle ülkelerin petrol rezerv dağılımları bin milyon varil cinsinden.....	15
Şekil 2.9	: Trakya havzasının potansiyel petrol ve doğal gaz alanları.....	16
Şekil 2.10	: 2006 yılı sonu itibariyle ülkelerin doğal gaz rezerv dağılımları trilyon metreküp cinsinden.....	16
Şekil 3.1	: Vancouver adasında ve Meksika körfezinde deniz dibine ait gaz hidrat örnekleri.....	17
Şekil 3.2	: Gaz hidratların SI, SII ve SH yapıları.....	18
Şekil 3.3	: Metan gazı ve gaz hidratların oluşumu.....	21
Şekil 3.4	: Metan hidratın faz diyagramı.....	22
Şekil 3.5	: Arktik permafrost bölgelerindeki hidrat faz diyagramı.....	23
Şekil 3.6	: a) Derin kıtasal şelflere ait hidrat duraylılık faz diyagramı, b) Kutupsal alt enlemlerdeki gaz hidrat durağanlık faz diyagramı.....	24
Şekil 3.7	: Dünyada Organik Karbon Dağılımı.....	24
Şekil 3.8	: Dünya genelinde bilinen ve olası gaz hidrat dağılımları.....	27
Şekil 3.9	: Karadeniz’de tahmini gaz hidrat rezervlerinin yeri.....	27
Şekil 3.10	: Gaz hidrattan doğal gaz elde edilmesinde kullanılan yöntemler.....	29
Şekil 3.11	: Gaz hidratların üretim ve tüketim alanları	30
Şekil 3.12	: Gaz hidrat aramalarında uygulanan jeofizik yöntemler.....	32
Şekil 3.13	: Arktik bölgelerden Kanada Mallik’de yapılan kuyu logu kayıtları.....	33
Şekil 3.14	: Kanada-Mallik’de yapılan sismik yansıma kayıtlarında BSR’ın görünümü.....	34
Şekil 3.15	: Malik alanına ait gaz hidrat çalışmalarında sismik kesitte gaz hidrat durağanlık zonu ve serbest gaz	34
Şekil 3.16	: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 07	35

	numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitte BSR seviyesinin görüldüğü kısım.....	
Şekil 3.17	: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 07 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitte BSR seviyesinin görüldüğü kısmın yorumlanmış hali.....	35
Şekil 3.18	: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 14 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitte BSR seviyesinin görüldüğü kısım.....	36
Şekil 3.19	: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 14 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitin BSR seviyesinin görüldüğü kısmın yorumlanmış hali.....	36
Şekil 3.20	: AVO analizlerinde faz değişimi.....	37
Şekil 4.1	: Dalga yayılım diyagramı.....	39
Şekil 4.2	: Farklı iki ortam için Snell Yasası ışın geometrisi.....	40
Şekil 4.3	: Zoeppritz denklemlerinin matris formda gösterimi.....	43
Şekil 4.4	: Yatay bir ara yüzle birbirinden ayrılan akustik/elastik ortamda ara yüzeye gelen P düzlem dalgasına göre oluşan yansıma ve iletim dalgalarının gösterimi.....	43
Şekil 4.5	: Zoeppritz denklemlerinin sıvı/katı ortamlar için matris formda gösterimi.....	45
Şekil 4.6	: Seçilen sismik parametrelere göre genlik-ofset eğrileri Zoeppritz denklemleri ve yapılan yaklaşımlara göre çizdirilmiştir.....	46
Şekil 4.7	: Shuey denkleminin grafiksel ifadesi.....	48
Şekil 4.8	: Seçilen sismik parametrelere göre genlik-ofset eğrileri Zoeppritz denklemleri ve yapılan yaklaşımlar.....	49
Şekil 4.9	: Petrol ve doğal gaz araştırmaları için yapılan kuyu çalışmalarından Gassman çalışmalarına örnek.....	52
Şekil 4.10	: Hat boyunca kaynak-alıcı, orta nokta ve ofset koordinatları arasındaki bağıntının iki boyutlu olarak gösterimi.....	56
Şekil 4.11	: Dinamik düzeltmenin şematik olarak gösterimi.....	57
Şekil 4.12	: CMP yığımının ve hız analizinin şematik olarak gösterimi. Solda farklı ofset ve zaman aralıklı.....	58
Şekil 4.13	: CMP yığımı ve hız analizinin şematik gösterimi.....	58
Şekil 4.14	: Zoeppritz yansıma katsayıları şeyl üzerindeki kum birimlerine örnek Rp değerlerinin dağılımı.....	61
Şekil 4.15	: MATLAB yazılımı altında çalışılan düz çözüm modellem yazılımını kısaca gösteren akışdiagramı.....	62
Şekil 4.16	: MATLAB programında oluşturulan Model 1 ve modele ait yansıma katsayısı-geliş açısı grafiği.....	63
Şekil 4.17	: MATLAB programında oluşturulan Model 2 ve modele ait yansıma katsayısı-geliş açısı grafiği.....	65
Şekil 4.18	: MATLAB programında oluşturulan Model 3 ve modele ait yansıma katsayısı-geliş açısı grafiği.....	66
Şekil 4.19	: BSR seviyesinin 07 numaralı hatta super gather işlemi sonucunda 1471–1478 CDP grubunda AVO anamolisi olarak görünümü.....	68
Şekil 4.20	: BSR seviyesinin 07 numaralı hatta deniz tabanından itibaren yüksek genliklerin görünümü.....	69
Şekil 4.21	: 07 numaralı hatta ait ANGSTK modülü ile hazırlanan dosya.....	70
Şekil 4.22	: 07 numaralı hatta ait ANGATTR modülü ile hazırlanan dosya.....	70

Şekil 4.23	: 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti için hazırlanan yığma dosyası...	71
Şekil 4.24	: 07 Numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.....	71
Şekil 4.25	: Sismik izin gösterimi.....	73
Şekil 4.26	: Sismik izde yansıma gücü niteliğinin gösterimi	74
Şekil 4.27	: 07 Numaralı hatta ait yığma kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.....	75
Şekil 4.28	: 07 Numaralı hatta ait sismik yansıma gücü kesiti. BSR seviyesi görüldüğü alan işaretlenmiştir.....	75
Şekil 4.29	: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki yığma kesitinin görünümü.....	76
Şekil 4.30	: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki sismik yansıma... gücü kesitinin görünümü	77
Şekil 4.31	: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki yığma kesitinin görünümü	77
Şekil 4.32	: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki sismik yansıma gücü kesitinin görünümü	78
Şekil 4.33	: 07 Numaralı hatta ait sismik anlık frekans kesiti	79
Şekil 4.34	: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık frekans kesitinin görünümü.....	79
Şekil 4.35	: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık frekans kesitinin görünümü.....	80
Şekil 4.36	: 07 Numaralı hatta ait anlık faz nitelikleri kesiti	81
Şekil 4.37	: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık faz kesitinin görünümü	82
Şekil 4.38	: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık faz kesitinin görünümü.....	82
Şekil 4.39	: 07 Numaralı hatta ait anlık fazın kosinüsü nitelikleri kesiti.....	82
Şekil 4.40	: 07 Numaralı hatta ait anlık fazın sinüsü nitelikleri kesiti.....	83
Şekil 4.41	: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık fazın kosinüsü kesitinin görünümü.....	84
Şekil 4.42	: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık fazın kosinüsü kesitinin görünümü.....	85
Şekil 4.43	: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık fazın sinüsü kesitinin görünümü.....	85
Şekil 4.44	: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık fazın sinüsü kesitinin görünümü.....	86

SEMBOL LİSTESİ

vp_1, vs_1, ρ_1	: Üst ortamın P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğu
vp_2, vs_2, ρ_2	: Alt ortamın P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğu
α_1	: Üst ortamın P dalga hızı
β_1	: Üst ortamın S dalga hızı
ρ_1	: Üst ortamın yoğunluğu
α_2	: Alt ortamın P dalga hızı
β_2	: Alt ortamın S dalga hızı
ρ_2	: Alt ortamın yoğunluğu
θ_1	: P yansıyan sismik dalganın ara yüzeyde normalle yaptığı açı
Φ_1	: P kırılan sismik dalganın ara yüzeyde normalle yaptığı açı
θ_2	: S yansıyan sismik dalganın ara yüzeyde normalle yaptığı açı
Φ_2	: S kırılan sismik dalganın ara yüzeyde normalle yaptığı açı
t	: Zaman
k_s	: Katlama sayısı
k	: Kanal sayısı
g	: Grup aralığı
a	: Atış aralığı
Z	: Akustik empedans
R	: Yansıma katsayısı
R_p	: P dalgasının yansıma katsayısı
R_s	: S dalgasının yansıma katsayısı
T	: İletim katsayısı
T_p	: P dalgasının iletim katsayısı
T_s	: S dalgasının iletim katsayısı
A_t	: Sismik yansıma gücü
q_t	: Sismik izin sanal kısmı
r_t	: Sismik izin gerçel kısmı
θ_t	: Sismik izin fazı
A_t	: Gerçek yansıma eğimi
ω	: Anlık frekans
$\theta(t)$	: Anlık faz

SİSMİK YÖNTEMLERLE GAZ HİDRATLARIN ARANMASI

ÖZET

Tez çalışması kapsamında 07 ve 14 numaralı hatlara ait sismik kesitlerde BSR seviyesinin görüldüğü kısımlara karmaşık sismik nitelik analizleri ve AVO analizi uygulanmıştır. BSR seviyesi 07 numaralı hatta 1085–2485 CDP aralığında, 14 numaralı hatta ise 700–5800 CDP ile 7300–10600 CDP aralıklarında gözlenmiştir. Sismik yansıma verileri MTA-İTÜ-Cambridge Üniversitesi ekibi tarafından 1998 yılında Batı Karadeniz Havzasının güney kesiminde, Bartın – Amasra açıklarında toplanmıştır. Sismik verilerin toplanmasında enerji kaynağı olarak hava tabancası kullanılmış veriler 72 kanalda toplanmıştır. Navigasyon, Global Positioning System; (GPS) Küresel Yer Belirleme Sistemi ile sağlanmıştır. BSR seviyeleri okyanusal kesimlerde oluşan gaz hidratların varlığını gösteren tipik sismik kanıtlardır. Gaz hidratlar, yüksek basınç ve düşük sıcaklık şartları altında bir gaz molekülü ile onu çevreleyen kafes şeklindeki su moleküllerinden oluşan kristal katılardır. Yapılan son ölçümlere göre gaz hidratlar, organik karbon açısından en geniş global rezervdir. Rezervleri geleneksel hidrokarbonlardaki organik karbon miktarından bile daha fazladır. Tez çalışmasında gaz hidrat anamolilerini modellemek için MATLAB programı altından çalışan bir düz çözüm programı yazılmıştır. Program, iki katı ortam arasındaki ara yüzeye ait yansıma genliklerini modellemek için Zoeppritz Denklemlerini kullanmaktadır. Üç farklı yeraltı modeli seçilmiştir. Tüm modellerde üst ortam örtü kayacı olarak kil, alt ortam ise suya doymuş (Model 1), gaz hidrata doymuş (Model 2) ve gaza doymuş (Model 3) kumtaşıdır. Oluşturulan model grafiklerinde Model 1 ve Model 2’de yansıma genlikleri geliş açına bağlı olarak pozitif artan değerler alırken Model 3’de ise negatif artan değerler almaktadır. Ayrıca 07 ve 14 numaralı hatlara ait sismik verilerin bir kısmına BSR seviyesini farklı perspektiflerden görebilmek için karmaşık sismik nitelik analizleri uygulanmıştır. Buradaki amaç, yansıma gücü, anlık frekans, anlık faz, fazın kosinüsü ve fazın sinüsü kesitlerinde gaz hidrat anamolilerini daha iyi gözlemlenebilir hale getirerek yorumlamaya imkan sağlamaktır. İlave olarak 07 numaralı hattın BSR seviyesini daha yüksek çözünürlükte görebilmek için Disco Focus programında gerekli modüller kullanılarak AVO niteliklerinden sıfır ofset kesiti oluşturulmuştur. Yığma öncesi AVO analizlerinde super gather işlemi, BSR seviyesinde genliğin ofsete bağlı değişimi görmek için 07 numaralı hattın CDP verilerine uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda super CDP gather daki genlik değişimi daha belirgin hale gelmiştir. Sonuçlar gösteriyor ki ofsete bağlı yansıma genlik değişimi eğer yeterli ofset uzunluğu sağlanabilmişse direkt gaz hidrat göstergesi kullanılabilir. Tüm analizler ve düz çözüm modellemeler sonucunda ofsete bağlı yansıma katsayılarının değişimi yeterli ofset uzunluğunda veri toplanmışsa direkt gaz hidrat göstergesi olabilir.

INVESTIGATION OF GAS HYDRATES BY SEISMIC METHODS

SUMMARY

In this thesis, the complex seismic attribute analysis and AVO analysis were applied to seismic sections line-14 and line-07 where Bottom-Simulating Reflections (BSR) levels observed. The BSR levels were observed for line 07 between 1085–2485 CDPs and for line 14 between 700–5800 and 7300–10600 CDPs. The seismic data were collected on offshore Bartın-Amasra coast in the southern margin of the Western Black Sea Basin by MTA-ITU-Cambridge University collaboration in 1998. The data were collected by a 72 channel streamer and air gun energy sources. The navigation is provided by a Global Positioning System (GPS) receiver. BSR levels are the typical seismic signature for most oceanic occurrences of gas hydrates. Gas hydrates are crystalline solid compounds consisting of a gas molecule surrounded by a cage of water molecules forming under specific conditions of high pressure and low temperature. By the latest estimates, gas hydrates are the largest global reservoir of organic carbon, even greater than all conventional hydrocarbons. In this thesis, a forward method which runs a MATLAB programme is written to model the gas hydrate anomalies. The programme uses the Zoeppritz Equations to model the reflection amplitude from an interface between two solid medium. Three different subsurface model were chosen. For all models, the upper medium was clay and the lower medium was either water (Model 1), gas hydrate (Model 2) or gas (Model 3) saturated sandstone. The reflection coefficient curves for Model 1 and 2 are all positive with increasing amplitude by incidence angle. On the other hand, the reflection coefficients for Model 3 are all negative values and increasing with incidence angle. Also, complex seismic trace analysis were applied to a part of seismic data from line 07 and line 14 to observe the BSR levels in a different perspective. For this purpose, reflection strength, instantaneous frequency, instantaneous phase, sine of phase, cosine of phase sections are generated and interpreted for feasibility of detecting gas hydrate anomalies. In addition, an AVO attribute, a zero-offset section, was generated for line 07 by means of Disco-Focus software modules to observe the BSR levels in higher resolution. In terms of pre-stack AVO analysis, a supergather process was applied to CDP gathers of line 07 to observe amplitude-versus-offset changes at BSR level. After this process the amplitude changes were became more clear in the super CDP gathers. The results show that change in reflection amplitude with offset may be used as a direct gas hydrate indicator if enough offset lengths are provided. All analysis and forward modelling show that seismic reflection coefficients with offset can be used as a direct gas hydrate indicator provided that the data were collected by satisfactory offset lengths.

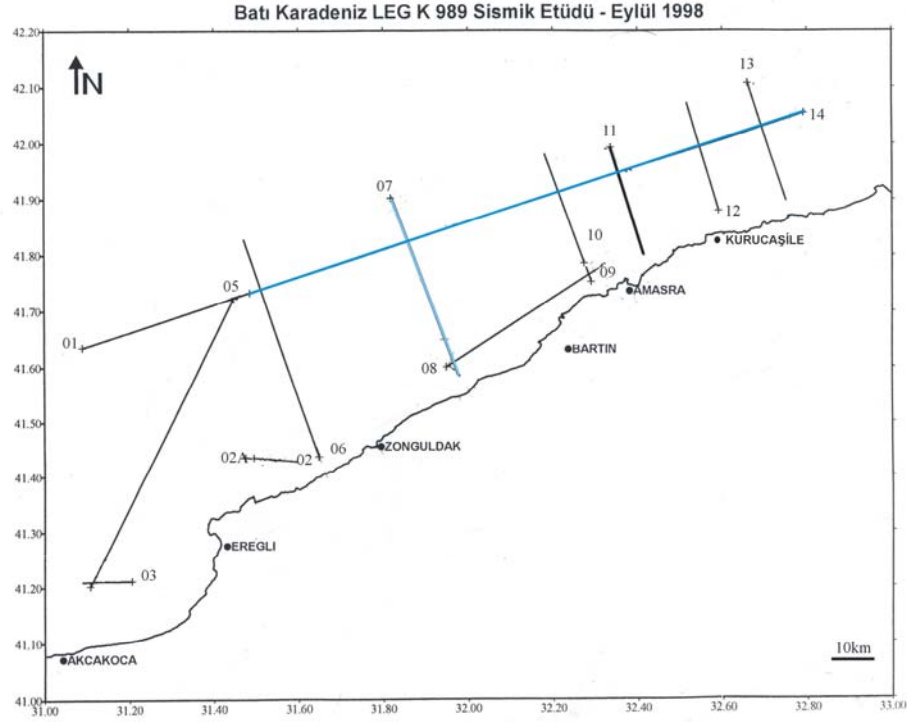
1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus ve gelişen sanayinin enerji gereksinimlerinin karşılanması için ülkelerin sahip olduğu enerji kaynakları büyük önem taşımaktadır. Hidrokarbonların kimyasal özellikleri, oluşumu ve sağladığı enerji miktarı göz önüne alındığında dünya genelinde hidrokarbon kökenli enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılması şüphesiz beklenen bir sonuçtur. Dünya enerji kaynaklarının rezervleri incelendiği takdirde %26'sını kömür, %37'sini petrol ve %23'ünü doğal gaz, %6'sı nükleer ve %8'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu görülmektedir (<http://www.ukidek.org>). Bahsedilen enerji kaynaklarının dışında alternatif enerji kaynakları için yapılan araştırmaların sonuçlarına göre gelecek yılların önemli enerji kaynaklarından birinin gaz hidratlar olacağını söylemek mümkündür.

Gaz hidratlar, yüksek basınç ve düşük sıcaklık şartları altında su molekülleri ile düşük moleküler ağırlıklı gazlardan oluşan görünüş olarak buza benzeyen kristal katılardır. Dünyadaki hidratların çoğu derin deniz tabanı altında binlerce km²'lik alanları kapsayan yerlerde bulunmaktadır. Gaz hidratlar; kuyu örnekleri, jeofizik kuyu logları, laboratuvarında yapılan sedimentoloji ve biyostratigrafi analizleriyle tespit edildiği gibi sismik yöntemlerden tek kanallı ve çok kanallı sismik yansıma yöntemi ile de gaz hidratların yeri tespit edilebilir.

Gaz hidratlar bulundukları sedimentlerin akustik özelliklerini belirgin şekilde değiştirirler. Denizel araştırmalarda BSR (Bottom Simulating Reflector) "Tabana Benzeyen Yansıtıcı" hidrat varlığını işaret eden en önemli kanıttır. BSR, üstte gaz hidrat içeren sedimentler ile altta genellikle serbest gaz içeren sıkışmamış tortul zon arasındaki ara yüzeyden alınan yansımadır. Tez çalışması kapsamında Karadeniz'de Akçakoca-Kurucaşile arasında toplanan sismik yansıma verilerindeki BSR seviyesinin daha iyi görmek amacıyla karmaşık sismik iz nitelikleri analizi ve Amplitude-Versus-Offset (AVO) analizi yapılmıştır. Bu analizleri yapmak için Disco/Focus sismik veri işlem paket programı kullanılmıştır. Karmaşık sismik iz analizlerden yansıma gücü, anlık frekans, anlık faz, fazın kosinüsü, fazın sinüsü kesitleri elde edilmiştir. Bu kesitlerdeki BSR seviyeleri birbirleriyle karşılaştırılarak

yorumlar yapılmıştır. AVO analizinde yine Disco/Focus sismik veri işlem paket programı kullanılmıştır. Analiz için gerekli modüller seçilerek dosyalar hazırlanmış ve 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Kesitte BSR seviyesi incelenerek yorumlanmaya çalışılmıştır. İlave olarak AVO verisinin analizi için farklı gaz hidrat rezervuar modelleri seçilerek düz çözüm yapılmıştır. Bilindiği gibi AVO analizi, genliğin geliş açısına bağlı nasıl değiştiğini inceleyerek fiziksel parametreler hakkında kestirim yapılmasını sağlayan yöntemdir. Bu yöntem sayesinde jeolojik birimler yansılarda daha belirgin hale getirilerek yeraltı modeline ait bilgiler sağlanabilmektedir. Tez çalışmasında uygulanan düz çözüm yöntemi için MATLAB yazılımı altında çalışılan bir modelleme yazılımı yani düz çözüm programı geliştirilmiştir. Sismik yansıma katsayılarını hesaplamak için Zoeppritz denklemleri ve Snell Yasası MATLAB programına uyarlanarak yansıma katsayıları için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Geliş açısı 0 dereceden başlamak üzere ortamın kritik açısı değerine kadar 1 derece artımlarla P ve S dalgaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Programda kullanılan sismik parametreler inceleme alanının jeolojik yapısı göz önüne alınarak seçilmiştir. Hesaplanan yansıma ve iletim katsayıları, geliş açısının fonksiyonu olmak üzere grafikler çizdirilmiştir. AVO analizlerinde genellikle P dalga hızına ait yansıma katsayısının açığa bağlı olarak değişimi incelenmektedir. Bu nedenle oluşturulan farklı yeraltı modellerinde de modele ilişkin P dalgasına ait yansıma katsayısının açığa bağlı değişimi incelenerek yeraltı modeline ait yorumlar yapılmıştır. Yapılan analizler ve düz çözüm modellemeler sayesinde gaz hidratların sismik yöntemlerle aranmasında ne derece yararlı olduğuna dair bilgiler edinilmiştir. Şekil 1.1.'de çalışma alanına ait sismik hatlar görülmektedir. Analizi yapılan sismik hatlar 07 ve 14 numaralı maviyle gösterilen hatlardır. Çalışma alanına ait sismik verilerin veri toplama parametreleri Tablo 1.1.'de verildiği gibidir.



Şekil 1.1: MTA-İTÜ-Cambridge Üniversitesi ekibi tarafından MTA Sismik-1 gemisi kullanılarak 1998 yılında toplanan sismik hatların yerlerini gösteren harita (Damcı, 2004). Tez kapsamında çalışılacak hatlar mavi ile gösterilen 07 ve 14 numaralı hatlardır.

Tablo 1.1: MTA-İTÜ-Cambridge Üniversitesi ekibi tarafından MTA Sismik-1 gemisi kullanılarak 1998 yılında toplanan sismik verilerin toplama parametreleri.

Atış aralığı	50 metre
Ofset aralığı	150 metre
Grup aralığı	12,5 metre
Örnekleme aralığı	2 milisaniye
Kanal sayısı	72
Kayıt uzunluğu	8 saniye

Ham sismik verilere yığma işleminden önce ortak orta nokta (common depth point; CDP) geometrisinin oluşturulması, statik düzeltme, dinamik düzeltme (normal moveout; NMO), atış-alıcı düzeni değişikliği (sort), genlik düzeltmesi, hız analizi işlemleri uygulanmıştır. Yığma (stack) kesitleri oluşturulması amacıyla uygulanan bütün bu veri işlem aşamaları bu tez çalışmasından önce tamamlanmıştır (Demirbağ, 1998).

2. HİDROKARBON KÖKENLİ ENERJİ KAYNAKLARI

Son yıllarda gelişen teknoloji ile dünyada meydana gelen köklü değişimler ve yeni entegrasyonlar, ülke ekonomilerinin birbirleriyle etkileşimine neden olmuştur. Bu etkileşimin en belirgin olduğu alanlardan biri hiç şüphesiz, ekonomik kalkınmanın temeli olan enerji sektörüdür. Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişmesinin, en temel ve sürükleyici gereksinimlerinden biridir. Bugün dünyanın enerji talebi, hem endüstrinin sürekli faaliyetini hem de ulaşım ve haberleşme sistemlerinin büyük bir bölümünün işlemlerini sağladığından her geçen gün artmaktadır. Bu durumda ülkeler yeni enerji kaynakları arayışı içerisine girmiştir (www.obitet.gazi.edu.tr).

Dünya genelinde hızla artan nüfus ve gelişen sanayinin enerji gereksinimlerinin karşılanması için ülkelerin sahip olduğu enerji kaynakları büyük önem taşımaktadır. Dünya üzerindeki enerji kaynakları, klasik enerji kaynakları (yenilenemeyen enerji kaynakları) ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Klasik enerji kaynakları karbon bazlı olarak adlandırabilecek kaynaklardır. Petrol, kömür ve doğal gaz en temel enerji kaynaklarıdır. Fosil kaynaklar olarak adlandırılan bu kaynaklar, meydana gelişleri itibariyle yenilenmeleri çok uzun bir süre aldığından, yenilenemeyen kaynaklar olarak da adlandırılırlar. Dünya enerji üretim kaynaklarının dağılımı 2004 yılı itibariyle incelendiğinde %26'sını kömür, %37'sini petrol ve %23'ünü de doğal gaz, %6'sını nükleer enerji ve %8'ini yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu görülmektedir (<http://www.ukidek.org/bildiriler>). Fosil yakıtların genel dağılımı incelendiğinde, sıvı ve gaz yakıt rezervlerinin dünyanın belirli coğrafi bölgelerinde yoğunlaştığı kömürün ise düzenli bir dağılım gösterdiği ve üretiminin 50'den fazla ülkede gerçekleştiği söylenebilir (**Güngör, 2003**).

Yenilenebilir enerji kaynakları ise enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi olarak tanımlanır. Klasik enerji kaynaklarına alternatif olarak sunulan kaynaklardır. Bunlar güneş, rüzgar, hidrolik ve jeotermal enerji kaynaklarıdır (<http://www.obitet.gazi.edu.tr>). Doğada sürekli var olan faktörlere dayalı olan bu kaynakların en önemli özelliği ise yenilenebilir olmaları ve doğaya zarar

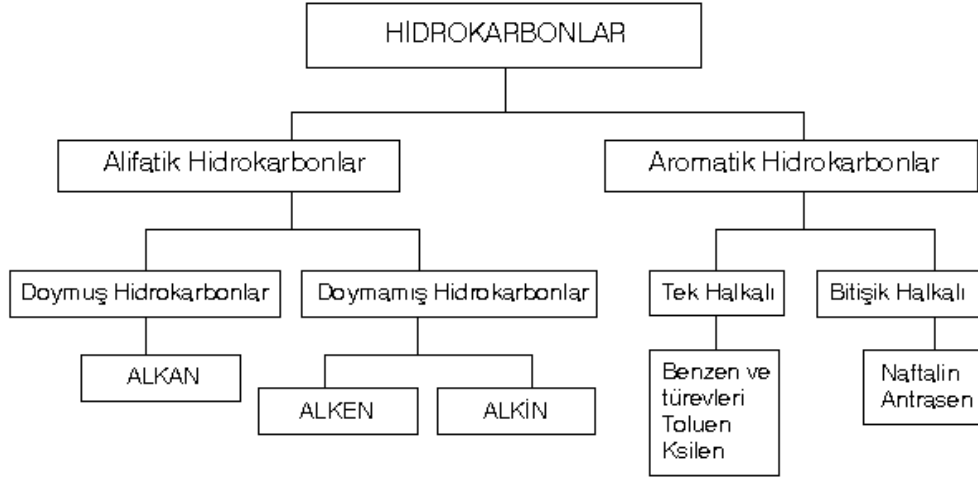
vermemeleridir. Bununla birlikte günümüzde fosil yakıtları esas alan enerji kullanımı; yakıt konusunda dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukların yanında, dünya fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecek yüzyıllarda da öneminin daha da artacağını göstermektedir **(Güngör, 2003)**.

Buraya kadar bahsedilen enerji kaynaklarının dışında alternatif enerji kaynakları için yapılan hidrokarbon araştırmaları sonuçlarına göre dünyadaki hidrat dağılımı ve rezervleri göz önüne alındığında gelecek yılların önemli enerji kaynaklarından birinin gaz hidratlar olacağını söylemek mümkündür. Gaz hidratlar, doğal gaz (genellikle metan) ve suyun karışımından şekillenen, buz benzeri kristalleri olan katı maddedir. Genellikle denizel tortullarda sığ derinliklerde (700 m'den başlayan su derinliklerinde ve deniz tabanından başlayarak 1000 m derinliklere kadar) doğal olarak oluşmaktadırlar **(Ergün ve diğ., 2001)**. Dünyadaki hidratların çoğu derin deniz tabanı altında binlerce km²'lik alanları kapsayacak şekilde dağılmışlardır. Ancak, gaz hidrat üretiminde, gaz hidratın olduğu ortamda çözünmesini sağlayacak termal enerji kritik olup henüz çözüme kavuşturulamadığından, karasal gaz hidratlardan gaz üretimi 2010–2015 yılından önce olası görülmemektedir **(Grauls, 2001)**. Teknik ve jeolojik belirsizlikler nedeniyle, denizel gaz hidratlardan gaz üretiminin de 2030 yılından önce olamayacağı öngörülmekte, bu nedenle günümüzde ilgi daha çok gaz hidrat zonunun altında biriken serbest gaza yönelmektedir **(Grauls, 2001)**. Bununla birlikte gaz hidratlar, gelecekte önemli bir enerji kaynağı olduğu kadar diğer fosil yakıtlar gibi yakıldığında sera gazı açığa çıkardığı için bu yönüyle de dünya çapında günümüzde ve gelecekte de iklim değişiminde önemli bir rol oynayacağını söylemek mümkündür.

2.1. Hidrokarbonlar ve Özellikleri

Hidrokarbonlar; yapısında temel element olarak yalnızca karbon ve hidrojen (C_xH_y) atomlarından oluşan organik bileşiklerdir. Yapısal özelliklerine bağlı olarak alifatik hidrokarbonlar ve aromatik hidrokarbonlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Alifatik hidrokarbonlar, karbon atomlarının hidrojen atomlarıyla yaptığı bağ sayısına göre doymuş ve doymamış olmak üzere ikiye ayrılırken aromatik hidrokarbonlar da hidrojen ve karbon atomlarının bağlanma şekillerine göre tek halkalı ve bitişik halkalı olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 2.1.'de hidrokarbonların sınıflandırılması

şematik olarak gösterilmiştir. Hidrokarbonların isimlendirilmesinde moleküldeki karbon sayısı ve bağ türü önemlidir. Karbon sayısı ön ekte, bağ türü ise son ekte ifade edilir.



Şekil 2.1: Hidrokarbonların sınıflandırılması.

2.1.1. Alifatik Hidrokarbonlar

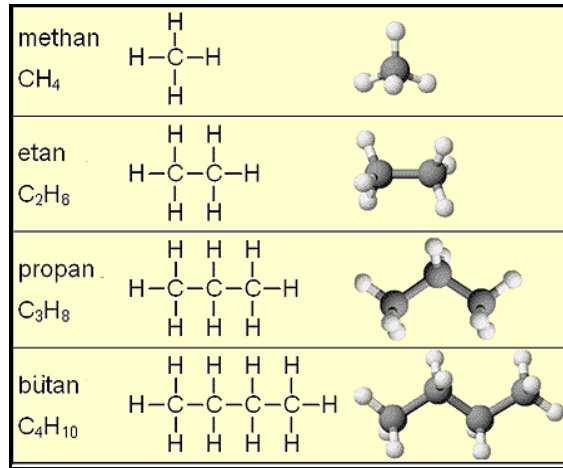
Alifatik hidrokarbonlar; molekül yapılarında çeşitli atomların birbirlerine kovalent bağ ile bağlanarak oluşmuş düz veya dallanmış zincir şeklindeki organik bileşikler ve bunların türevleridir. Karbon içeriğine bağlı olarak 4 karbon atomu içerenler gaz, 5-17 karbon atomu içerenler sıvı, 18 ve daha fazla karbon atomu içeren alifatik hidrokarbonlar ise katı halde bulunurlar (Shell, 1959). Alifatik hidrokarbonlar; alkanlar, alkenler ve alkinler olmak üzere 3'e ayrılırlar. Tablo 2.1'de alifatik hidrokarbonların sınıflandırılması ve genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1: Alifatik hidrokarbonların özellikleri.

ÖZELLİKLER	ALKAN	ALKEN	ALKİN
Doymuşluk	Doymuş	Doymamış	Doymamış
Genel formülü	C_nH_{2n+2}	C_nH_{2n}	C_nH_{2n-2}
Adlandırmada aldığı ek	-an	-en, -ilen	-in
C atomları arasındaki bağ	Tekli bağ	Çiftli bağ	Üçlü bağ
Hibritleşme	sp^3	sp^2	sp

2.1.1.1. Alkanlar

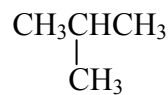
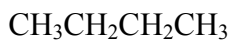
Alkanlar, doymuş hidrokarbonlardır. Karbonlar arasındaki tüm bağlar tek bağdan oluşan sigma bağıdır. Karbonlar sp^3 hibritleşmesi yapmıştır. Genel formülleri C_nH_{2n+2} 'dir (n: karbon sayısı). Alkanlar düz zincir yapıda veya halka yapıda olabilirler. Halkalı alkanlar C_nH_{2n} formülü ile gösterilirler. Halkalı alkanlar aynı sayıda karbon içeren alkanın isminin önüne -siklo eki konulması ile isimlendirilir. Örneğin siklobütan, siklopropan, siklopentan ve sikloheksan. Alkanlar, bir homolog seri meydana getirir ve bu seride birbirini takip eden bileşikler arasında (CH_2) kadar fark vardır. Doymuş olduklarından sadece yer değiştirmesi tepkimesi verirler. Alkanların isimlerinde karbon sayısından sonra “-an” ekini alırlar. Örneğin; metan (CH_4), etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}). Şekil 2.2’de bazı alkanlara örnekler verilmiştir. Doğada karşılaşılan hidrat gaz bileşenleri içerisinde metan yaygın olarak görülen alkandır. Bunun dışında giderek azalan miktarlarda etan, propan ve bütan da görülebilir.



Şekil 2.2: Bazı alkanların moleküler yapıları ve kimyasal formülleri (Purdy, 1958).

Alkanlarda İzomeri

Kapalı formülleri aynı (aynı sayıda karbon ve hidrojen içeren), açık formülleri (geometrik yapıları) farklı olan alkanlara birbirinin izomeri denir. İzomerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklıdır.



n-bütan

Kaynama noktası: $-0,4^\circ C$

Erime noktası: $-160,9^\circ C$

izobütan

Kaynama noktası: $-10,2^\circ C$

Erime noktası: $-139^\circ C$

Doğal gaz hidratlar metan hidrat formunda olup alifatik hidrokarbon içerirler. Metan, kimyasal formülü CH_4 olan en basit alkan üyesidir. Uygun basınç ve sıcaklık şartlarında gaz halinde olup serbest halde yada petrolde çözülmüş olarak bulunur. Havadan daha hafif bir gaz olan metan gazı suda oldukça az miktarda çözünebilir. Bununla birlikte doğal gazın bir bileşeni ve sağladığı enerji bakımından önemli bir yakıt olduğu söylenebilir. Oksijen varlığında bir mol metanın yanmasıyla bir mol CO_2 ve iki mol H_2O açığa çıkar. Metan gazı, gaz hidratların çözünmesi ve fosil yakıtların (kömür, petrol, doğal gaz) yakılması sırasında sera gazı etkisi gösterdiğinden iklim değişikliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Alkanların Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

- Alkanların doğadaki en önemli kaynağı petroldür.
- Alkanlar doymuş hidrokarbonlardır. C–C ve C–H bağları çok kuvvetlidir.
- Alkanlar suda çözünmezler. Organik çözücülerde çözünürler.
- Renksiz, tatsız ve kokusuzdurlar.
- Yanma, parçalanma ve yer değiştirme tepkimeleri verebilirler. Uzun zincirli alkanların katalitik kırılmasıyla çeşitli petrol ürünleri oluşurken termal kırılmasıyla serbest radikaller oluşur.
- Doymuş hidrokarbon olan alkanlar, kararlı bileşikler olduklarından katılma tepkimesi vermezler. Ancak güneş ışığında halojenlerle yer değiştirme tepkisi verirler.
- Alkanlar yeterli miktarda oksijen içinde tam yandıklarında karbon dioksit (CO_2), su (H_2O) oluşur ve ısı enerjisi açığa çıkar. Yandıklarında yüksek enerji verdiklerinden bir çoğu yakıt olarak kullanılır.
- Alkanların yetersiz oksijen nedeniyle tam olmayan yanmaları sonucunda karbon monoksit (CO), aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler ve is şeklinde karbon meydana gelir; bunlar da önemli hava kirletici maddelerdir.
- Molekülleri arasında van de Waals bağları vardır. Moleküldeki karbon sayısı arttıkça molekülün kaynama noktası yükselir. Aynı sayıda karbon içeren alkanlarda dallanma arttıkça kaynama noktası düşer.
- Yoğunlukları suyun yoğunluğundan küçüktür (Shell, 1959).

2.1.1.2. Alkenler

Alkenler doymamış hidrokarbonlardır. Olefinler olarak da adlandırılır. Genel formülleri C_nH_{2n} 'dir. Karbon atomları arasında en az bir tane çift bağ vardır. Çift bağın olduğu karbonlar sp^2 hibritleşmesi, tek bağın olduğu karbonlar ise sp^3 hibritleşmesi yapar. Karbon sayısının latincesinin sonuna -en ve -ilen eki getirilerek adlandırılır. Örneğin eten (C_2H_4), propen (C_3H_6), büten (C_4H_8) ve penten (C_5H_{10}). Alkenler düz zincir veya halkalı yapıda olabilirler. Halkalı alkenler, isimlendirilmelerinde alken isminin önüne -siklo eki getirilerek siklo büten, siklopenten şeklinde adlandırılır (Shell, 1959).

Alkenlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

- Alkenlerin moleküler yapısında karbon sayısı arttıkça kaynama noktası yükselir. Cis izomerlerinin kaynama noktası trans izomerlerinkinden yüksektir.
- Homolog sıra oluştururlar.
- Yanma tepkimelerinde CO_2 ve H_2O açığa çıkar.
- Alkenler, π (pi) bağı içerdiklerinden katılma tepkimeleri verebilirler. Alkenlere hidrojen katılması ile alkanlar meydana gelir.
- Alkenlere renkli olan brom (Br) ve iyot (I) gibi halojenlerin katılması sonucunda alken halojenürler (dihalojen alkanlar) meydana gelir ve halojenin rengi kaybolur; bu da çift bağın varlığını göstermesi bakımından önemlidir.
- Alkenlerdeki çift bağ açılarak karbonlara farklı maddeler katılabilir. Böylece alkenler doymuş hale gelirler.
- Yükseltgenme özellikleri vardır. Sulu $KMnO_4$ çözeltisi ile yükseltgenirler.
- Küçük moleküllü alkenler kendi aralarında birleşerek büyük moleküllü polimer bileşikler oluştururlar. Bu etkileşmeye polimerleşme denir. Polietilen, polipropilen ve teflon polimer bileşiklere örnek olarak verilebilir. Alkenlerin polimerizasyon reaksiyonları, değişik mekanizmalarla gerçekleşir ve sonuçta endüstriyel açıdan önemli ürünler oluşur (Purdy, 1958).

2.1.1.3. Alkinler

Alkinler, alkanlardan bir hidrojen ayrılması sonucu oluşan bleşiklerdir. Dallanmış yapıdaki alkanların en uzun karbon zincirine bağlı olup doymamış hidrokarbonlardır. Genel formülleri C_nH_{2n-2} 'dir. Karbon zincirinde üçlü bağın olduğu alkinler sp hibritleşmesi yapmışlardır. Bu bağlardan bir tanesi sigma, diğerleri π (pi) bağıdır.

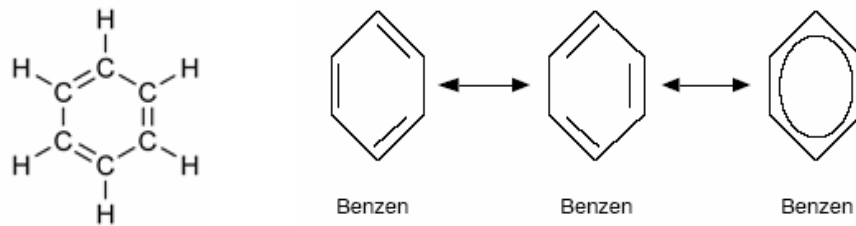
Alkinlerin isimlendirilmesinde aynı sayıda karbon taşıyan alkanların sonundaki –an eki kaldırılarak yerine –in eki getirilmesi şeklinde olur. Örneğin; etin (C_2H_2), bütün (C_4H_6), propin (C_3H_4) ve pentin (C_5H_8) (**Purdy, 1958**).

Alkinlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

- Alkinlerin erime ve kaynama noktaları aynı sayıda karbon taşıyan alkan ve alkenlere göre dahi yüksektir.
- Suda çözünmezler, ilk üç üyesi gazdır.
- Homolog sıra oluştururlar.
- Yanma reaksiyonlarında CO_2 ve H_2O açığa çıkar.
- Katılma tepkimesi verirler.
- Alkinlerde üçlü bağ taşıyan karbonlara bağlı hidrojenler asidik karakter gösterirler. Alkenlerde olduğu gibi polimer bileşikler oluştururlar.
- Asetilen (Etin) önemli bir endüstriyel bileşiktir; parlak bir alevle yanar ve büyük miktarda ısı açığa çıkar (**Purdy, 1958**).

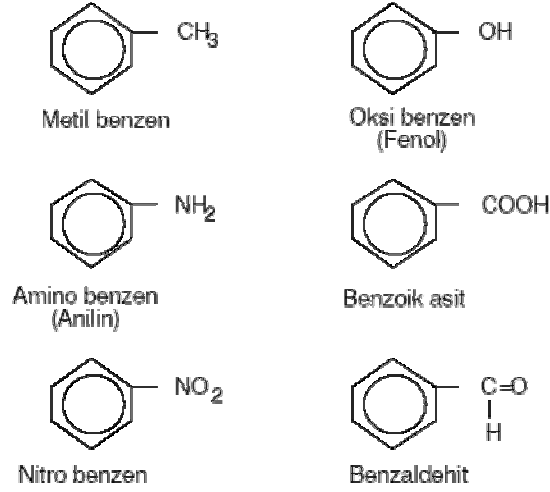
2.1.2. Aromatik Hidrokarbonlar

Aromatik hidrokarbonlar, özel bir doymamışlık gösteren benzen (C_6H_6) ve türevlerinden oluşan halkalı bileşiklerdir. Benzenle birlikte önemli iki aromatik hidrokarbon naftalin ve antresendir. Benzen halkasında 6 tane karbon atomu birbirine halka şeklinde bağlanmışlardır. Aromatik bileşikler sp^2 hibritleşmesi gösterirler. Her karbon atomuna bir hidrojen atomu bağlanmıştır. Benzen halkasında çift bağlar olmasına rağmen katılma tepkimesi vermeye elverişli değildir. Aromatik hidrokarbonlardan hidrojenin ayrılmasıyla oluşan gruplara aril grubu denir. Belirli karbon atomları arasında kolaylıkla kırılabilen π (pi) bağları içermediklerinden, benzen ve diğer aromatik bileşikler kolay katılma tepkimesi vermezler, yer değiştirme tepkimeleri verirler (**Purdy, 1958**).



Şekil 2.3: Benzenin moleküler yapısı (**Purdy, 1958**).

Benzen molekülünden bir hidrojenin ayrılıp yerine bir yada fonksiyonel grubun bağlanmasıyla benzenin mono türevleri, iki hidrojenin ayrılmasıyla di türevleri ve üç hidrojenin ayrılmasıyla tri türevleri oluşur. Benzenin türevleri adlandırılırken halkaya bağlı grubun adından sonra benzen eki getirilir.



Şekil 2.4: Benzenin mono türevleri ve bazı aromatik bileşiklere örnekler (**Purdy, 1958**).

Hidrokarbonların kimyasal özellikleri, oluşumu ve sağladığı enerji miktarı göz önüne alındığında dünya genelinde hidrokarbon kökenli enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılması şüphesiz beklenen bir sonuçtur. Hidrokarbonların ve dolayısıyla petrol ve gazın yeraltında nasıl oluştuğu kesinlikle bilinmemekle birlikte, 20. yüzyılın başından beri süregelen bilimsel araştırma sonuçları, tüm hidrokarbonların yaşamını yitirmiş canlıların artıklarının durgun deniz ve göl gibi ortamların tabanında birikmesiyle oluşmaya başladıklarını ortaya koymaktadır.

2.2. Kömür

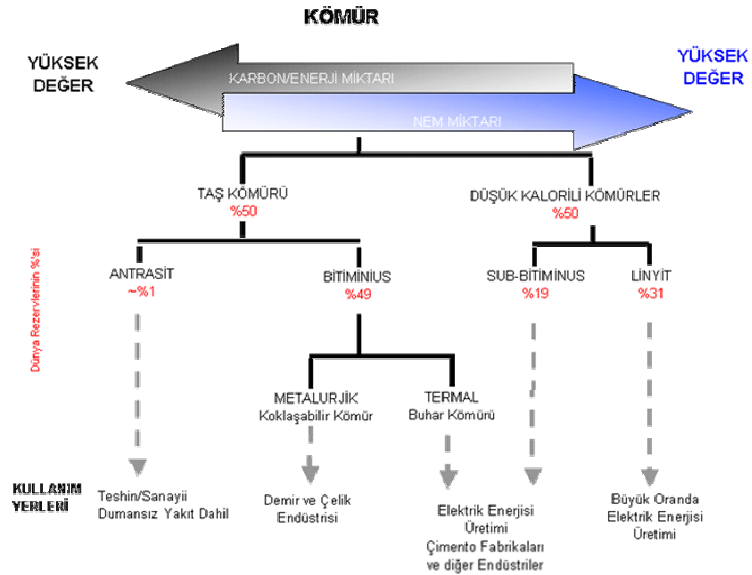
Kömür; bitkisel kökenli organik maddeler ve inorganik bileşenlerden oluşan tortul bir "kayaç"tır. Bataklıklarda bitki ve ağaç kalıntılarının üst üste yığılmasıyla çökmesi ve milyonlarca yıllık bir süreç içerisinde kimyasal ve fiziksel etkilerle değişime uğraması sonucu oluşur (<http://www.tki.gov.tr>).



Şekil 2.5: Kömür çeşitleri (Anaç, 2003).

Kömürleşme; bir kömürü oluşturan organik madde birikimine, basınç ve sıcaklık etkidiğinde bu maddede meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerin tümüdür. Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterirler (Dağıstan, 2006).

Organik olgunluklarına göre kömürleri; linyit, albitümlü, kömür, bitümlü kömür ve antrasit olarak gruplandırmak mümkündür. Şekil 2.6’de kömür çeşitleri, özellikleri ve kullanım alanları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Kömür Çeşitleri ve Özellikleri (Anaç, 2003).

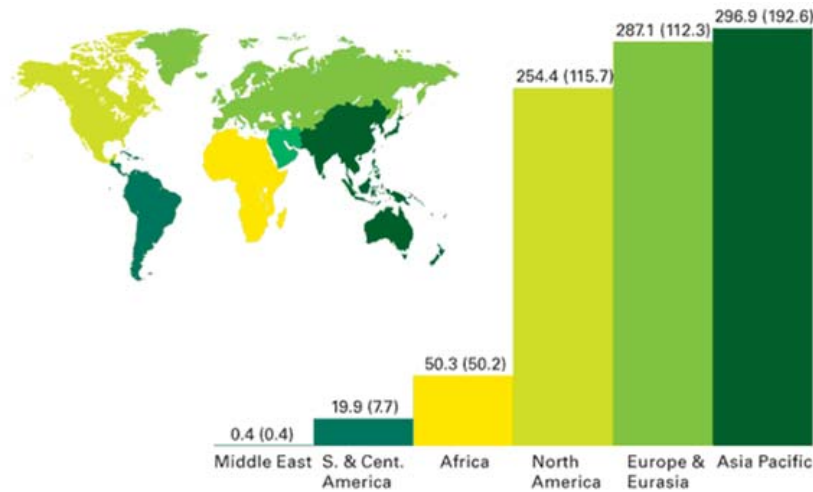
Kömür, Dünya’da güvenilir aynı zamanda düşük maliyetlerle elde edilebilen fosil yakıt olduğundan tüm dünyada günlük hayatta kullanım açısından önemlidir.

Dünya'da 50 den fazla ülkede üretilmekte olup, kömür rezervleri diğer fosil yakıtlar gibi (petrol ve doğal gaz) Dünya'nın belli bir bölümünde değil tüm dünyada yaygın bir şekilde bulunmaktadır **(Güngör, 2003)**.

Maden kömürü kaynakları bakımından zengin olmayan ülkemizde başlıca çıkarım alanı olarak Karadeniz Bölgesinde Zonguldak, Ereğli, Amasra havzası dikkati çeker. Birinci zamanın karbonifer devrine ait araziler içinde görülen taşkömürü Karadeniz sahili boyunca 180–200 km. uzunluğunda bir saha dahilindedir **(Tanoğlu, 1971)**.

Ülkemiz maden kömürü yataklarının azlığına karşın linyit kömürü rezervi bakımından oldukça zengindir. Neojen göl havzalarında oluşan linyit, Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında hemen hemen her bölgede bulunur. Türkiye'deki başlıca linyit yatakları; Karaisalı (Adana), Merzifon ve Suluoava, Mengen (Bolu), Kükürtlü Eynez ve Işıklar (Soma-Manisa), Uluçayır (Divriği-Sivas), Gülşehir (Nevşehir) şeklinde sıralanabilir **(Tanoğlu, 1971)**.

Dünya'da kömür rezervleri ve üretim miktarları incelendiğinde kömür rezervleri açısından en büyük paya 296,6 bin milyon ton taşkömürü ve 192 bin milyon ton bitümlü kömür rezervi ile Asya Pasifik ülkelerinin, ikinci sırada 287,1 bin milyon ton ile Avrupa-Avrasya ülkelerinin ve 0,4 bin milyon ton ile en az paya Orta Doğu ülkelerinin sahip olduğu görülmektedir (BP, 2006 İstatistikleri).



Şekil 2.7: 2006 yılı sonu itibariyle ülkelerin kömür rezerv dağılımları bin milyon ton cinsinden. Antrasit ve bitüm kömüre rezervleri parantez içinde gösterilmiştir **(BP, 2006 istatistikleri)**.

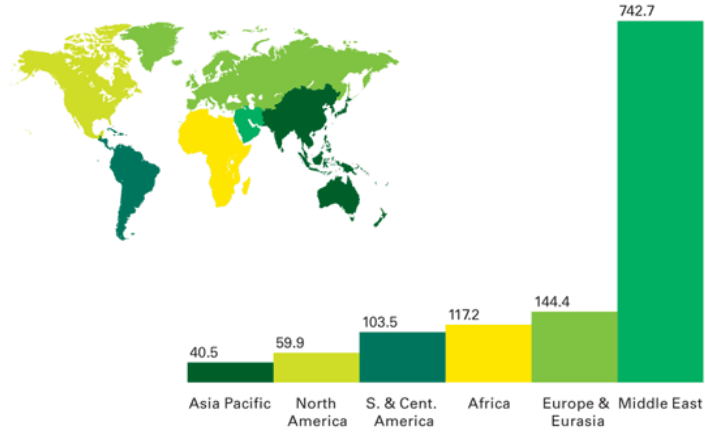
2.3. Petrol

Petrol, milyonlarca yıldan bu yana denizlerde yaşayan ya da suların denizlere sürüklediği bitki kalıntılarının uygun şartlar altında (sıcaklık, basınç ve mikroorganizmaların etkisiyle) başkalaşmasıyla oluşan fosil yakıttır (<http://www.pmo.org.tr>).

Petrol, sayısı binlerce ifade edilebilecek hidrokarbonların karışımından meydana geldiğinden, her zaman sabit bir kimyevi bileşimi yoktur. Ortalama elementel bileşimleri ise karbon % 84, hidrojen % 12, oksijen %1 olup çok az miktarda da kükürt içerir. Petrolün kimyasal yapısı farklı uzunluklardaki hidrokarbon zincirlerinden oluşmuştur. Bu zincirler petrolün arıtım sürecinde, damıtma sayesinde ayrıştırılarak benzin, jet yakıtı, kerosen gibi günlük yaşamda kullanılan pek çok ara madde ve akaryakıt ürünlerin elde edilmesini sağlar (<http://www.petrol.itu.edu.tr>).

Her yenilenemez enerji kaynağında olduğu gibi petrol rezervleri de sınırlı olmakla beraber uzun yıllar yetecek petrol rezervleri mevcuttur ve yeni rezervler de yeraltında keşfedilmeyi ve üretilmeyi beklemektedir. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde petrol, derin deniz diplerinde ve yer yapısının daha karmaşık olduğu bölgelerde dahi aranmakta ve üretilmektedir. 1954 yılından günümüze Türkiye'de 200'e yakın şirket arama ve işletme faaliyetlerinde bulunmuş, bunlardan 27 tanesi halen faaliyetlerine devam etmektedir. Türkiye'de petrol; Kilis'ten Siirt'e uzanan Güneydoğu Anadolu bölgesinde, Trakya'da üretilmekte ve Ege'de (Manisa/Alaşehir) yeni keşfedilmekle beraber, Doğu Anadolu'da, Tuz Gölü yakınında, Karadeniz ve Akdeniz'de petrol potansiyeli tahmin edilmektedir (<http://www.pmo.org.tr>).

Dünya'da petrol rezervleri ve üretim miktarları incelendiğinde petrol rezervleri açısından en büyük paya 742,7 bin milyon varil cinsinden Orta Doğu ülkelerinin ikinci sırada 144,4 bin milyon varil ile Avrupa-Avrasya ülkelerinin ve 40,5 bin milyon varil ile Asya Pasifik ülkelerinin en az paya sahip olduğu görülmektedir (BP, 2006 İstatistikleri).



Şekil 2.8: 2006 yılı sonu itibariyle ülkelerin petrol rezerv dağılımları bin milyon varil cinsinden (BP, 2006 İstatistikleri).

2.4. Doğal Gaz

Doğal gaz da petrol gibi karbon bazlı bir fosil yakıttır. Oluşumu petrol ile aynıdır. Doğal gaz; metan (CH_4), etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan bir karışımdır. Yeraltında yalnız başına veya petrol ile birlikte bulunabilir. Doğal gazın yanması durumunda karbondioksit, su buharı ve azot oksitler oluşur (<http://www.petrol.itu.edu.tr>).

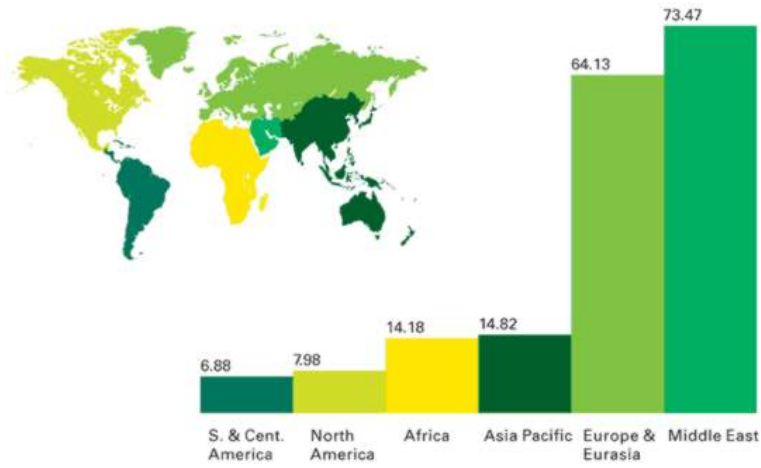
Ülkemizde doğal gaz rezervleri ve üretiminde önemli bir paya sahip olan yer Trakya Havzası'dır. Trakya havzasında yapılan çalışmalardan elde edilen olumlu sonuçlara göre havzanın tamamı doğal gaz açısından potansiyel bölge olarak görülmüş ve araştırma faaliyetleri yoğunlaştırılmıştır (Gürgey ve diğ., 2005). Şekil 2.9'da Trakya havzasının potansiyel petrol ve doğal gaz alanları gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Trakya havzasının potansiyel petrol ve doğal gaz alanları. A-B ve C-D jeolojik kesitler için seçilen doğrultulardır (Gürgey ve diğ., 2005).

Dünyada doğal gaz kaynaklarının bölgesel dağılımına bakıldığında rezervlerin petrole göre daha geniş bir alanda dağıldığı görülmektedir. Ortadoğu Bölgesi petrol rezervlerinin % 65'ine sahip olduğu halde doğal gaz rezervlerinin %35'ine sahip bulunmaktadır. Sınırlı petrol rezervlerine sahip bazı bölgeler doğal gaz kaynaklarının daha büyük bir kısmına sahiptirler **(BP, 2006 İstatistikleri)**.

Dünya'da doğal gaz rezervleri ve üretim miktarları incelendiğinde doğal gaz rezervleri açısından en büyük paya 73,47 trilyon metreküp cinsinden Orta Doğu ülkelerinin ikinci sırada 64,13 trilyon metreküp ile Avrupa-Avrasya ülkelerinin ve 6,88 trilyon metreküp ile Güney Amerika en az paya sahip olduğu görülmektedir **(BP, 2006 İstatistikleri)**.



Şekil 2.10: 2006 yılı sonu itibariyle ülkelerin doğal gaz rezerv dağılımları trilyon metreküp cinsinden **(BP, 2006 İstatistikler)**.

3. GAZ HİDRATLAR

3.1. Gaz Hidratların Tanımı Ve Özellikleri

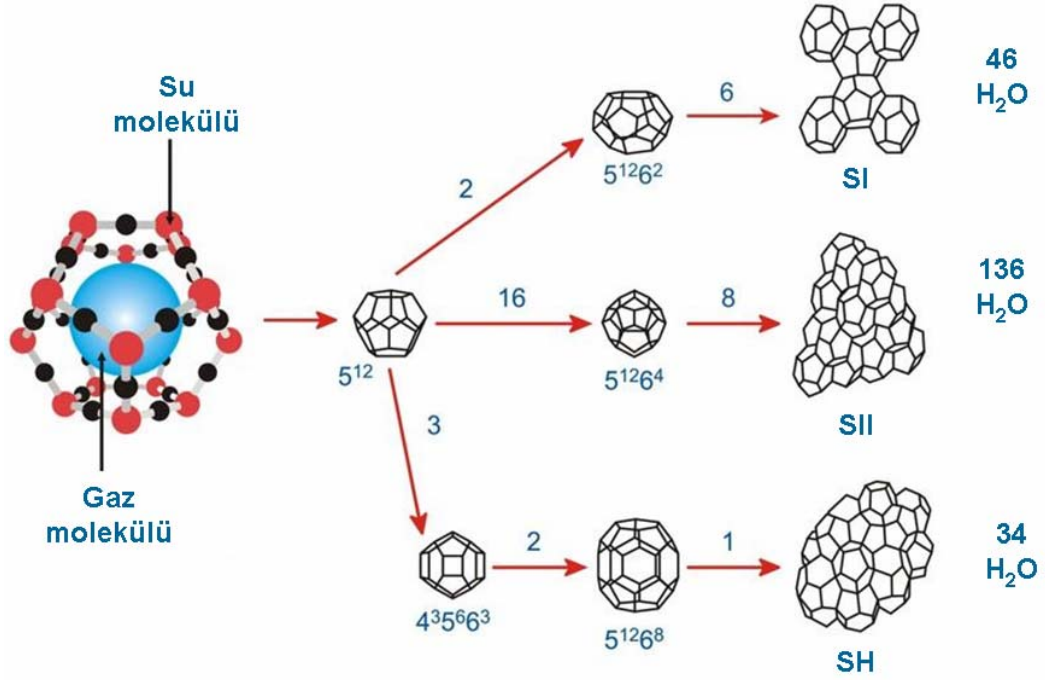
Gaz hidratlar, su molekülleri ile düşük moleküler ağırlıklı gazların su molekülleri tarafından oluşturulan bir kafes içerisine hapsolmasıyla oluşan görünüş olarak buza benzeyen kristal katılardır. En genel halde 8 metan molekülü ile 46 su molekülünden oluşan gaz hidratta, su molekülleri kafes görevi yaparak farklı bileşimdeki gazları (CO_2 , H_2S ve genellikle metan) tutmaktadır (**Grauls, 2001**). Genellikle metan gazından oluşan gaz hidratların bileşiminde etan, propan, bütan gibi hidrokarbon gazları veya karbondioksit, hidrojen sülfür gibi hidrokarbon kökenli olmayan gazlar da bulunmaktadır. Bu gazlar yüksek basınç ve düşük sıcaklık şartları altında metan ile birleştiklerinde metan-etan, metan-propan, metan- CO_2 ve metan- H_2S olmak üzere farklı bileşimlerde gaz hidratları oluşturmaktadırlar (**Ergün ve diğ., 2000**). Şekil 3.1’de deniz dibinde oluşmuş gaz hidrat örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.1: Vancouver adasında ve Meksika körfezinde deniz dibine ait gaz hidrat örnekleri (**Hyndman ve Dallimore, 2001**).

Gaz ve su molekülleri arasında hiç bir kimyasal bağ yoktur, su molekülleri birbirlerine güçlü H bağları ile bağlı iken, gaz molekülleri su molekülleri ile van der Waals tipi kuvvet ile etkileşim halindedir. Su hidrojen bağında pozitif kutup bir moleküle iki negatif kutup konuk moleküle dönüktür. Bu mekanizma doğrultusunda, her bir su molekülü diğer dört tanesi ile etkileşimdedir (**Sloan, 1998**). Katı hidrat fazı çok fazla miktarda tekrar eden elemanlardan oluşur. Yapının kristal kafesinde tekrar

eden en küçük birim, ‘birim hücre’ olarak adlandırılır. Gaz hidrat yapıları birim hücrelerindeki yapı boşluklarının çeşidi ve sayısına göre sınıflandırılırlar. Günümüzde doğal gaz hidratlarının yapı I (SI), yapı II (SII) ve yapı H (SH) olarak adlandırılan üç değişik kristal yapı oluşturabildikleri bilinmektedir. Hangi yapının oluşacağı hidrati oluşturan gaz moleküllerinin büyüklüklerine bağlıdır (Carroll, 2003).



Şekil 3.2: Gaz hidratların SI, SII ve SH yapıları (Sloan, 1998).

Hidrattaki su molekülleri, polihedron veya boşluk benzeri şekilde yönlendirilirler. Sadece birkaç çeşit boşluk oluşabilir. SI, iki farklı boşluk oluşturur. Küçüğü 5¹² boşluğu, 12 beşgenden oluşur. Büyüğü 5¹² 6² boşluğu, 12 beşgen ve 2 altıgenden meydana gelir. Bir SI birim hücresinde, 2 adet 5¹² ve 6 adet 5¹² 6² boşluğu bulunur. SI yapısı da iki farklı boşluktan oluşur. Küçüğü 5¹² boşluğudur. Büyüğü 12 beşgen ve 4 altıgenden oluşan 5¹² 6⁴ boşluğudur. SI yapıdaki hidratta küçük ve büyük boşluklarında genellikle metan, karbondioksit ve hidrojen sülfür bulunurken etan gazı sadece büyük boşluklarda bulunur.

Bir SII birim hücresinde, 16 adet 5¹² ve 8 adet 5¹² 6⁴ boşluğu vardır. SI hidrati birim hücre başına 46 su molekülüne sahipken, SII yapısı 136 su molekülüne sahiptir. SI yapıdaki hidratta nitrojen küçük ve büyük boşluklarında bulunurken propan ve izobütan sadece büyük boşluklarda bulunur.

SH yapısı, üç farklı boşluktan oluşur. En küçüğü 5^{12} boşluğudur. Orta büyüklükteki boşluk, 3 kare, 6 beşgen ve 3 altıgenden oluşan $4^3 5^6 6^3$ boşluğudur. En büyüğü $5^{12} 6^8$ boşluğu, 12 beşgen ve 8 altıgen oluşmaktadır. Bir SH birim hücresinde, 3 adet 5^{12} , 2 adet $4^3 5^6 6^3$ ve 1 adet $5^{12} 6^8$ boşlukları yer alır (Sloan, 2000).

SH yapıdaki gaz hidratlarda boşluklarında metilbütan, sikloheksan, dimetilpentan, sikloheptan gibi özel gazlar içerir. Ön çalışmalar SH hidratının, bazı çok bileşenli sistemlerde en kararlı hidrat yapısını oluşturabildiklerini göstermiştir. Tablo 3.1’de üç farklı gaz hidrat yapısı ve özellikleri verilmiştir (Carroll, 2003).

Tablo 3.1: Gaz hidrat yapıları ve özellikleri (Sloan, 2000).

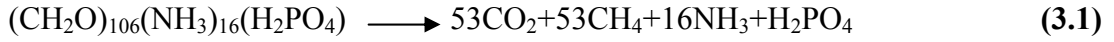
Özellik	SI (Structure I)		SII (Structure II)		SH (Structure H)		
	Küçük	Büyük	Küçük	Büyük	Küçük	Orta	Büyük
Tanımlama	5^{12}	$5^{12} 6^2$	5^{12}	$5^{12} 6^4$	5^{12}	$4^3 5^6 6^3$	$5^{12} 6^8$
Birim hücredeki boşluk sayısı	2	6	16	8	3	2	1
Ortalama boşluk yarıçapı	3,95	4,33	3,91	4,73	3,91	4,06	5,71
Yarıçaptaki değişme miktarı, %	3,4	14,4	5,5	1,73	--	--	--
Koordinasyon numarası	20	24	20	28	20	20	36
Birim hücredeki su miktarı	46	--	136	--	34	--	--

Gaz hidratlar, genellikle denizde ve karada sürekli olarak donmuş (permafrost) bölgelerde, kutupsal alanlarda, kıtasal yamaç ve şelflerde, pasif ve aktif kıtasal marjinlerde, okyanus tabanı tortullarında düğüm (yumru), mercek ya da tabaka şeklinde bulunurlar. Gaz hidratlar, sedimentlerin boşluklarını doldurarak çimento görevi yaptığı için oluşumu ve ayrışması durumunda tortulların duraylılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle denizel yamaç kaymaları üzerinde potansiyel etkileri olduğundan bu bölgelerdeki sedimanlarda metan üretimi ve taşınımı kitlesel eğim kopmalarına neden olabilir. Ayrıca gaz hidratta depolanan metan gazı, atmosferdeki diğer gazlara göre daha hızlı okside olmasına rağmen sera etkisi özelliğine sahip olduğundan (karbondioksit göre 30 kat daha etkili) uzun dönemde küresel iklim değişiklikleri üzerinde önemli rol oynar (Ergün ve diğ., 2000).

3.2. Gaz Hidrat Oluşumu ve Duraylılık Koşulları

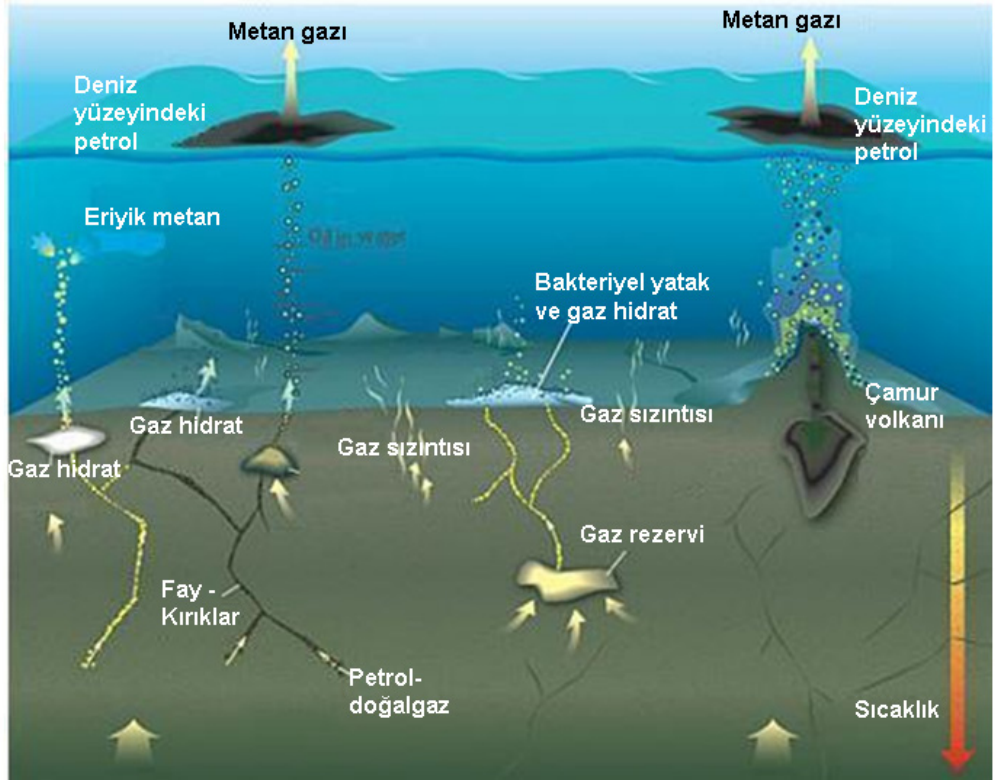
Denizel ve karasal ortamlarda gaz hidratların oluşabilmesi için yüksek oranda metan üretimi ve uygun basınç ve sıcaklık koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle gaz hidrat oluşumunda metan gazı büyük önem taşır. Denizel ve karasal ortamlarda bulunan metan gazı, iki şekilde oluşur: Bunlardan birincisi organik

maddece zengin katmanların bakteriler ve diğer canlı organizmalar tarafından biyolojik alterasyona uğraması şeklindedir. Alterasyon sonucu açığa çıkan metan gazına biyojenik metan gazı denir. Biyojenik metan gazı, sedimanların su içeren boşluklarında hapsolarak uygun basınç ve sıcaklık koşulları gerçekleştiği takdirde metan hidrata dönüşürler. **Sloan (1998)** tarafından üretilen metan gazı çıkışını ve biyolojik alterasyonu gösteren denklem aşağıda gösterilmiştir



Metan gazı, ikinci olarak petrol ve doğal gaz üreten kaynak kayanın aktivitesi sonucu fay sistemleri ve kırıklar tarafından sığ kesimlere taşınması ile gerçekleşir. Bu şekilde oluşan metan gazına termojenik metan denir. Termojenik metan, deniz yüzeyine doğru göçü sırasında hidrat duraylılık zonuna rastladığı takdirde burada yüksek basınç ve düşük sıcaklık şartları altında metan hidrata dönüşür (<http://gsc.nrcan.gc.ca/gashydrates>).

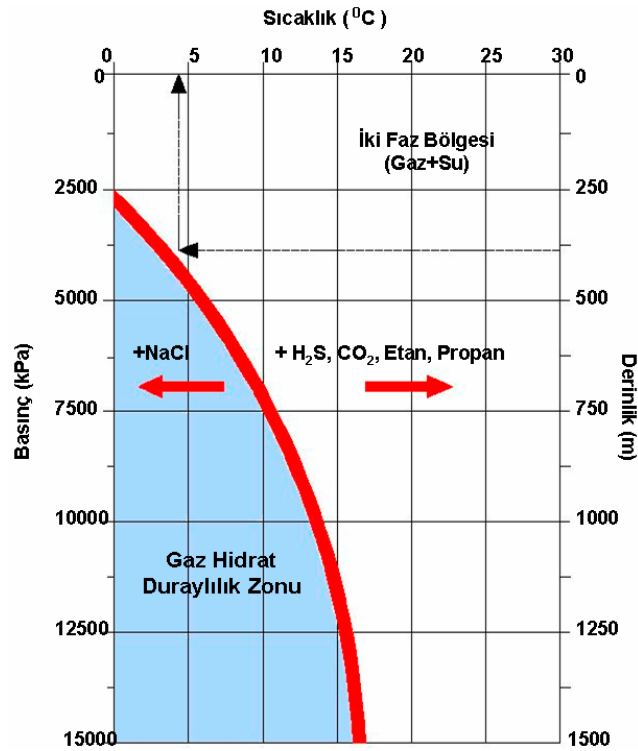
Binlerce yıl boyunca deniz tabanı altındaki derin tortullar içinde bulunan bakterilerin, organik maddelerce zengin katmanlar aracılığıyla birikmesiyle meydana getirdikleri biyojenik alterasyon sonucunda metan gazı bol miktarda açığa çıkar. Gaz hidratların kristallendiği geçirgen tortullarda gazın yoğunlaşabilmesi için hızlı bir gaz taşınımına ihtiyaç vardır. Gaz hidrat oluşumunda hidrat zonu içerisine akışkan (gaz ve su) göçü, fay ve kırık sitemlerinin aktivitesi ile gerçekleşir. Gaz kabarcıkları yukarıya doğru çıkarken su içeren tortullarda birikmeye başlarlar. Metan gazı düşük sıcaklıkta ve yüksek basınç altında hidrat oluşumunu sağlar. Sedimanların boşluklu yerlerinde çimentolanmayla düğüm (yumru) veya tabakalar şeklinde meydana gelir. Gaz hidrat, kutup bölgelerinde sığ sularda, okyanus ortası sedimanlarda ve basınç ile sıcaklık koşulları uygun olduğu kıtasal eğim bölgelerindeki sedimanlarda bulunmaktadır (www.dynatog.who.edu/gas_hydrates/). Şekil 3.3’de gaz hidrat oluşumu ve metan gazı çıkışları şematik olarak gösterilmiştir



Şekil 3.3: Metan gazı ve gaz hidratların oluşumu
(www.dynatogwhoi.edu/gas_hydrates/).

Gaz hidratlar, temelde yüksek basınç ve düşük sıcaklık koşulları altında oluşur ve stabil kalır. Bu koşullara “termobarik koşullar” adı verilir. Denizel veya karasal ortamlarda gaz hidrat oluşumu, yüksek oranda metan gazı üretimi ve uygun termobarik koşulların sağlanması durumunda gerçekleşir. Bununla birlikte hidratın kimyasal bileşimi, suyun tuzluluğu, taban sıcaklığı ve jeotermal/hidrobarik gradyent gaz hidrat oluşumunu etkileyen faktörler arasındadır. Bu nedenle hidrat oluşumu ve rezerv miktarı denizel ve karasal ortamlarda farklılık gösterir. Örneğin gaz hidratlar pasif ve aktif kıtasal marjinlerde, marjinal denizlerin derin sularında kutupsal alanlarda geniş çapta bulunurken okyanus çukurlarında derin basenlerde yaygın değildir. Gaz hidrat duraylılık zonu (Hydrate Stable Zone, HSZ), üst sınırı deniz tabanı ile sınırlı alt sınırı ise serbest gazla sınırlı olan jeolojik alana verilen isimdir. Gaz hidrat duraylılık zonunun taban derinliği jeotermal gradyen tarafından belirlenir. Bu zonun tabanından itibaren sıcaklık koşullarının gaz hidrat duraylılık koşullarını aşması nedeniyle daha derinlerde gaz hidrat oluşmaz. Gaz hidrat zonunun kalınlığının tam olarak belirlenememekte beraber hidrat oluşumunda ifade edilen koşullar sağlandığı takdirde gaz hidrat zonunun kalınlığının su derinliği ile arttığını söylemek mümkündür (Ergün ve diğ., 2000).

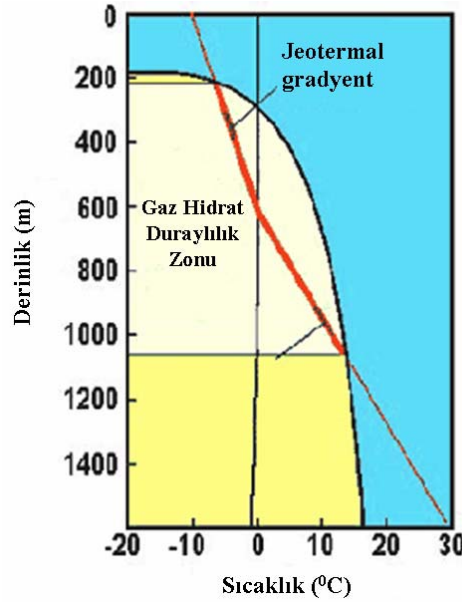
Şekil 3.4’de gaz hidratın duraylılık koşuluna ait faz diyagramı gösterilmiştir. Diyagramda görüldüğü üzere gaz hidrat oluşumu için gereken basınç değerinde bir düşüş ve/veya sıcaklıkta bir yükselme olduğunda, gaz hidrat yapısı ayrılarak su ve metan gazı olarak iki faz durumuna geçmektedir. Genellikle metan gazından oluşan gaz hidrat bileşiminde belirli miktarlarda etan, propan gibi ağır hidrokarbon gazlarının veya CO₂ ya da H₂S’nin eklenmesiyle denge eğrisi sağa (yüksek sıcaklık/düşük basınç), gaz hidrat oluşturan suyun tuzluluğu arttığında ise sola (düşük sıcaklık/yüksek basınç) kaydığı görülmektedir. Saf metan hidratlar, metan-etan, metan-propan, metan-CO₂ ya da metan-H₂S karışımından oluşan hidratlara göre daha yüksek basınç ve düşük sıcaklıklarda duraylıdırlar.



Şekil 3.4: Metan hidratın faz diyagramı (Ergün ve diğ., 2000).

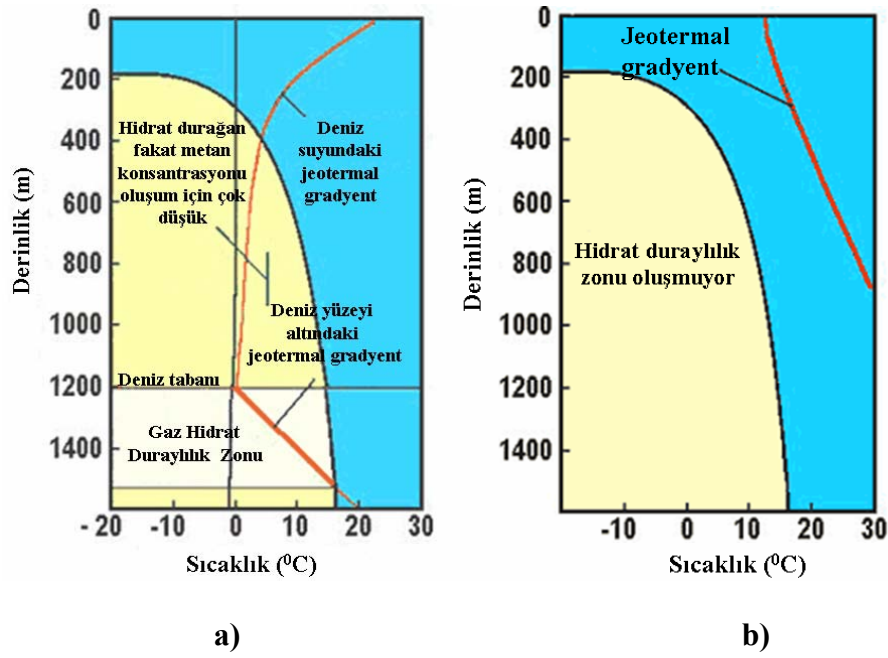
Bununla birlikte karada donmuş bölgelerde (permafrost) ve deniz tabanı tortullarında oluşan gaz hidratlar, gaz sıcaklığı, su tuzluluğu ve jeotermal/hidrobarik gradyente bağlı olarak farklı sıcaklık ve derinliklerde durağanlaşırlar (<http://marine.usgs.gov>). Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da arktik permafrost bölgelerinde ve kıtasal marjinlerin derin sularında oluşan gaz hidrat duraylılık zonuna ait Derinlik (m)-Sıcaklık (°C) faz diyagramları gösterilmiştir. Şekil 3.5’de görüldüğü üzere kırmızı ile gösterilen jeotermal gradyenin sol tarafında kalan alan hidrat duraylılık zonudur. Diyagramda,

arktik permafrost bölgelerde oluşan gaz hidrat duraylılık zonunun üst sınırı yaklaşık 200 m derinlikte olup alt sınırının ise 1000 m den biraz fazla olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 3.5: Arktik permafrost bölgelerindeki hidrat faz diyagramı (<http://marine.usgs.gov>).

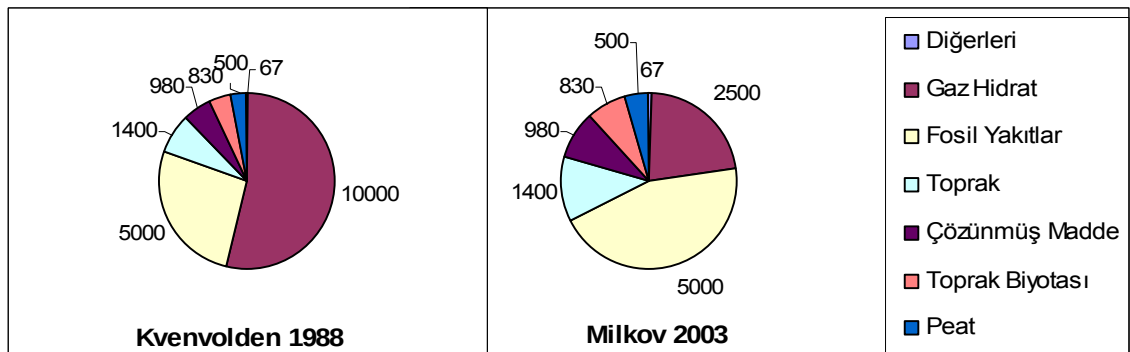
Şekil 3.6' da derin kıtasal şelflerde ve kutupsal ait enlemlerde gaz hidrat duraylılık faz diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.6a'da derin kıtasal şelflere ait hidrat duraylılık faz diyagramı gösterilmektedir. Deniz yüzeyi seviyesinin 1200 m olarak kabul edildiği diyagramda sıcaklığın deniz yüzeyine kadar derinlikle azaldığı, okyanus tabanında ise neredeyse 0°C olduğu görülmektedir. Deniz yüzeyinden itibaren daha derinlere doğru gidildikçe sıcaklığın tekrar arttığı görülmektedir. Gaz hidrat zonunun üst sınırı yaklaşık 400 m'den itibaren başlayıp alt sınırının ise 1500 m'de sona erdiği görülmektedir. Buna göre 400 m den itibaren gaz hidrat sedimanlarda, deniz yüzeyinde tümsek ya da tepecik şeklinde oluştuğunu söylemek mümkündür. Ayrıca diyagramda okyanus tabanında hidrat oluşumunu sağlayan, bakteriler tarafından meydana gelen biyolojik aktivitelerin olmaması ve sediman çökeliminin hızlı bir şekilde meydana gelmemesi bu bölgelerde metan konsantrasyonun çok az olmasına rağmen hidrat zonunun durağan kaldığı görülmektedir. Şekil 3.6b'de kutupsal alt enlemlerde sıcaklık değerinin gaz hidrat oluşumu için uygun olmamasından dolayı bu bölgelerde hidrat duraylılık zonu oluşmamaktadır. Bu olaylar da kıtasal marjnlere göre okyanus tabanında çok büyük miktarlarda gaz hidrat oluşamamasını açıklamaktadır.



Şekil 3.6: a) Derin kıtasal şelflere ait hidrat duraylılık faz diyagramı, b) Kutupsal alt enlemlerdeki gaz hidrat duraylılık faz diyagramı (<http://marine.usgs.gov>).

3.3. Gaz Hidratların Önemi Ve Bulunduğu Yerler

Gaz hidratlar, içerdikleri büyük metan hacmi nedeniyle geleceğin enerji kaynağı olabilirler. Standart basınç ve sıcaklık koşullarında, 1 m³ gaz hidrat yaklaşık olarak 164 m³ gaz ve 0.8 m³ su içermektedir (Sloan, 1998). Denizel gaz hidratlarda depolanan gaz miktarının küresel kestirimleri 0.2x10¹⁵ m³'den 7600x10¹⁵ m³'e değişim göstermektedir (Milkov ve Sassen, 2002). Kvenvolden (1999)'a göre denizel gaz hidratlarda depolanan gaz hacmi 21x10¹⁵ m³'dür. Bu değer, tüm dünyada fosil kaynaklardan üretilen gaz hacminin yaklaşık 50 katıdır (0.436x10¹⁵ m³). Dünyadaki organik karbon miktarının ise 2 katı değerindedir. Şekil 3.7'de dünyadaki organik karbon dağılımları farklı referanslar ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Dünyada organik karbon dağılımı (Kvenvolden 1988 ve Milkov 2003).

Tablo 3.2’de Dünyadaki organik karbon rezervleri ve bulundukları yerler **Kvenvolden (1988)**’nin çalışmalarına göre kilogram ve trilyon ton cinsinden verilmiştir.

Tablo 3.2: Dünyada organik karbon rezervleri (**Kvenvolden, 1988**).

Rezerv	10¹³ Kilogram
Gaz Hidrat (kıyıda ve kıyıdan uzak)	10000
Fosil Yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz)	5000
Toprak	1400
Suda Çözünmüş Organik Madde	980
Toprak Biyotası	830
Peat	830
Çökelmiş Organik Madde	60
Atmosfer	3,6
Deniz Biyotası	3

Dünyadaki en büyük doğal gaz birikimleri gaz hidrat formunda olup, bunlar hem karada donmuş (permafrost) bölgelerde hem de deniz tabanı tortullarında geniş çapta bulunurlar. Gaz hidratlar pasif ve aktif kıtasal marjinlerde, marjinal denizlerin derin sularında, kutupsal alanlarda ve yaklaşan marjinlerin yığılma kamalarında geniş çapta bulunmaktadır. Gaz hidratlar okyanus çukurluklarında derin basenlerde yaygın değildir, iç ve marjinal denizlerde, kıtasal yamaç ve şelflerde oluşurlar (**Ergün ve diğ., 2000**). Tablo 3.3’de farklı yaklaşım ve kabullere göre doğal gaz hidratlar çökellerindeki metan gaz ölçümleri (100000, trilyon ft³) verilmiştir.

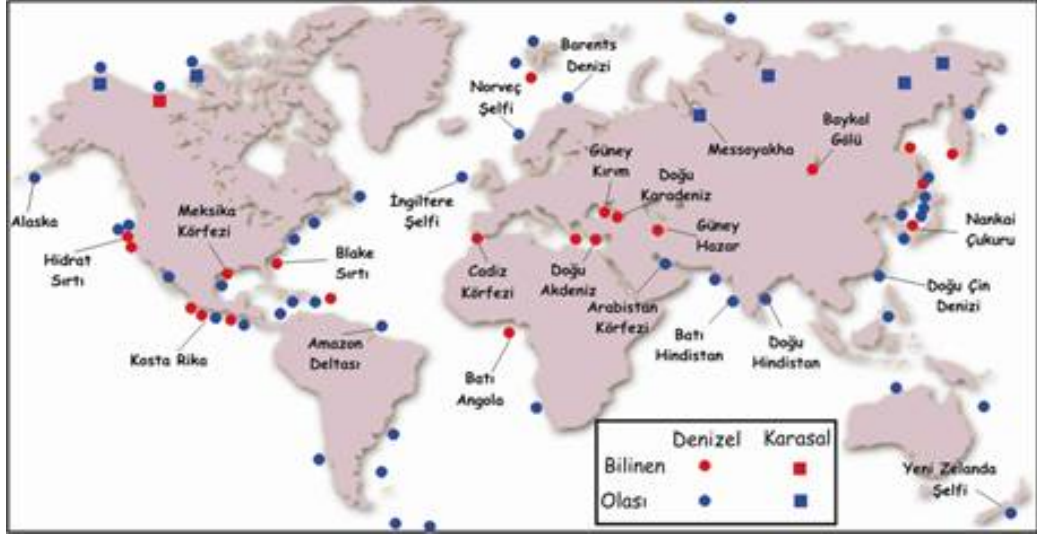
Tablo 3.3: Doğal gaz hidratlar çökellerindeki metan gaz ölçümleri (100000, trilyon ft³) ([www. dynatog whoi.edu/gas_hydrates/](http://www.dynatog.who.edu/gas_hydrates/)).

Ölçüm Tarihi /Kaynak	Okyanusal Çökeller	Kıtasal Çökeller	Tüm Çökeller
1977/Trofimuk ve diğ.	1,8 – 8,8	0,02	-
1981/Mclver	1,1	0,011	-
1981/Meyer	-	0,005	-
1988/Kvenvolden	6,2	-	-
1990/MacDonald	6,9	-	-
1994/Gornitz ve Fung	9,3–49,1	-	-
1998/Kvenvolden	-	-	0,35–16,25
1998/Kvenvolden"Konsensüs"	-	-	7,42

Tablo 3.3’de metan gazı ölçümlerinde yapılan çalışmalara göre farklı değerler görülmektedir. Bu farklılık çalışmalardaki farklı yaklaşım ve kabullerden kaynaklanmaktadır. McIver ve Meyer’ın çalışmalarında metan ölçümleri termodinamik özellikler dikkate alınarak belirlenmiştir. Gornitz ve Fung’daki ölçüm değerleri jeotermal gradyent, porozite özellikleri ile biyojenik ve termojenik metan oluşum teorilerini kullanarak belli sınırlar arasında potansiyel metan hacimleri belirlenmiştir. Kvenvolden’nin önceki çalışmalarında metan miktarları Alaska’daki tüm kıtasal marjinler göz önüne alınmak suretiyle metanın ekstropolasyonu yapılmıştır. Kvenvolden’in son çalışmalarında metan ölçümleri, arazi çalışmaları sonucunda konsensüs merkez ölçümü olarak belirlenmiştir. Dobrynin ve diğerleri metan hidratın oluşum şartları göz önünde bulundurularak metanın her yerde oluşabileceğini teorik olarak kabul edilmiş ve maksimum metan hacim miktarı belirlenmiştir. Bu kabul sonucunda okyanusal çökellerdeki 2700000 trilyon ft³ ve kıtasal çökellerde 12000000 trilyon ft³ metan gazı bulunmaktadır ([www. dynatog whoi.edu/gas_hydrates/](http://www.dynatog.who.edu/gas_hydrates/)).

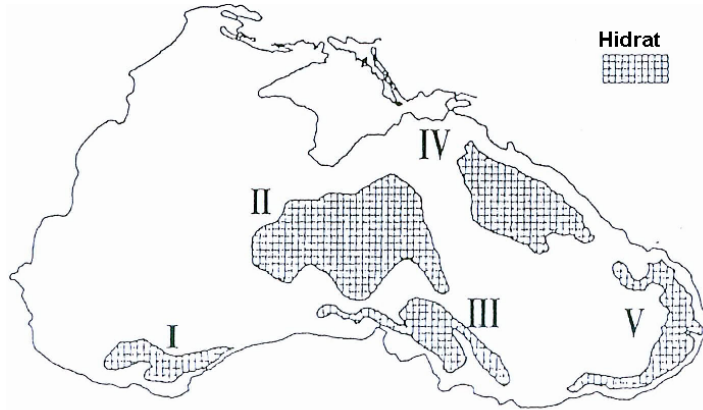
Gaz hidrat yoğunlaşması New Jersey ve Georgia arasındaki kıyı ötesi bölgede haritalanmıştır. Şekil 3.8’de bilinen ve olası gaz hidrat rezervleri gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda dünyada gaz hidrat rezervinin bilindiği en geniş alan Blake Sırtı olup, 20200 km² genişliğinde olduğu söylenebilir. Bu alan 7.8x10¹³ m³ metan gazı içermektedir (**Max ve Dillon, 1998**). Ayrıca Rusya’nın Messoyakha mevkiinde belli bir miktarda gaz hidrat rezervi mevcut olup bu alanda 1970’den beri 9.35x10⁹ m³ gaz üretilmektedir (**Ergün ve diğ., 2000**).

Dünyadaki gaz hidrat yataklarının rezervi konusunda belirsizlikler olmakla birlikte, küresel gaz hidrat rezervinin 3700 trilyon m³ ile 10.000.000 trilyon m³ arasında olduğu sanılmaktadır (**Cruickshank ve Masutani, 1999**).



Şekil 3.8: Dünya genelinde bilinen ve olası gaz hidrat dağılımları (<http://web.deu.edu.tr>).

Dünyadaki hidrat birikiminin büyük bir bölümü denizel ortamda derin deniz tabanının altında binlerce km^2 lik alanda bulunmaktadır. Bu alanlarda biriken gaz hidratlar bazen damar, mercek, yumru şeklinde olurken bazen de ince tabakalar halindedir. Şekil 3.9’da Karadeniz’deki tahmini gaz hidratların yerleri gösterilmiştir. Karadeniz’deki gaz hidrat potansiyeli (hidrat kalınlığı 1m kabul edilerek) $8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ olarak verilmektedir (**Yamanlar ve diğ., 2002**). Benzer bir çalışmada gaz potansiyelinin $60\text{-}75 \times 10^{12} \text{ m}^3$ olduğundan söz edilmektedir. **Parlaktuna ve diğ. (1998)** tarafından yapılan bir çalışmada II nolu bölgedeki gaz miktarı $6.89\text{-}9.66 \times 10^{13} \text{ m}^3$ olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 3.9: Karadeniz’de tahmini gaz hidrat rezervlerinin yeri (**Yamanlar ve diğ., 2002**).

Hidratlar genellikle yüksek porozite ve düşük permeabiliteye sahip sedimanlarda bulunurlar. İçerisinde oluştukları sedimanda çimento görevi yaptıklarından oluşumu ve ayrışması sırasında sedimanların özelliklerini değiştirebilirler. Ayrıca

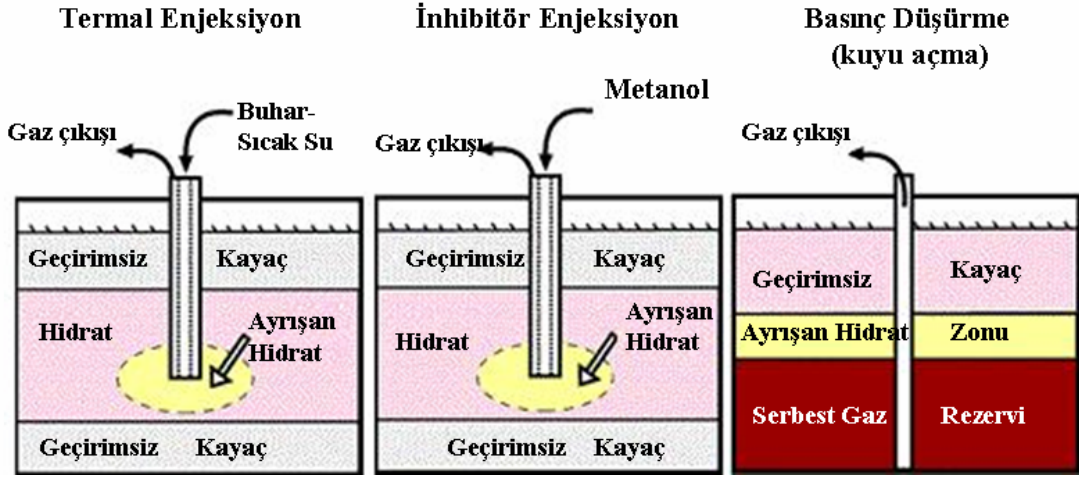
sedimanların duraylılığında da önemli bir etkiye sahiptirler. Özellikle yamaçlarda ve şelflerde oluşan büyük hacimdeki gaz hidratın çözünmesi durumunda sedimanlarda gaz hidrat tarafında işgal edilen gaz ve sıvı hacmi boşalacağından içsel boşluk hacmi büyük miktarda artar. Eğer gaz hidratlar sedimanların kayma düzlemleri ile aynı derinliklerde oluşursa gaz hidratların çözünmesi durumunda yamaç kaymaları meydana gelir (<http://web.deu.edu.tr>).

Gaz hidrat oluşumu için gereken basınç veya sıcaklık değerlerinde bir düşüş veya yükselme olduğu takdirde gaz hidrat su ve metan olarak iki faz durumuna geçer. Açığa çıkan metan gazı hızlı bir şekilde bulunduğu yerden atmosfere doğru yayılır. Gaz hidratta depolanan metan gazının sera özelliği olduğundan sedimanlardan ani olarak ayrılması halinde atmosferde büyük çaplı bir sera etkisi yaratacaktır. Bu durumun uzun dönemde küresel iklim değişikliğinde önemli bir rol oynayacağı açıktır. Bununla birlikte gaz hidratın çözünmesi durumunda açığa çıkan metan gazı su kolonunda çözünerek suyun yoğunluğunu düşüreceğinden suyun kaldırma kuvveti değişerek gemilerin yüzebilmeye yeteneklerini de azalır. Basıncın çok hızlı düşmesi veya sıcaklığın hızla arttığı durumlarda gaz hidratların ayrışması patlama şeklinde olur. Bu durum da hidrat üretimi, taşınması, denizaltı sondaj çalışmalarında potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Gaz hidratlarda büyük miktarlarda depolanan metan içeriği göz önüne alındığında büyük bir olasılıkla petrol ve doğal gaz rezervlerin tükenmesiyle, dünyanın gelecekteki enerji kaynağı olacaktır. Fakat gaz hidrat üretiminde, gaz hidratın olduğu ortamda çözünmesini sağlayacak termal enerji kritik olup henüz çözüme kavuşturulamadığından, karasal gaz hidratlardan gaz üretimi 2010–2015 yılından önce olası görülmemektedir (**Grauls, 2001**). Teknik ve jeolojik belirsizlikler nedeniyle, denizel gaz hidratlardan gaz üretiminin de 2030 yılından önce olamayacağı öngörülmekte, bu nedenle günümüzde ilgi daha çok gaz hidrat zonunun altında biriken serbest gaza yönelmektedir (**Grauls, 2001**).

3.4. Gaz Hidratlardan Gaz Üretim ve Taşınma Yöntemleri

Gaz hidrattan doğal gaz elde etmek için üç farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler temelde gaz hidratın su ve gaz olarak iki faz durumuna geçmesi yani ayrışması ilkesine dayanmaktadır. Ayrışma işleminin gerçekleşebilmesi için gaz hidratın duraylılık koşullarının değiştirilmesi gerekmektedir. Bu koşulların değişimi termal enjeksiyon, inhibitör enjeksiyonu ve basınç düşürme (kuyu açma) yöntemleri

ile sağlanır. Açığa çıkan serbest gaz gerekli işlemlerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilir. Şekil 3.10'da gaz hidrattan gaz elde edilmesi için uygulanan yöntemler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Gaz hidrattan doğal gaz elde edilmesinde kullanılan yöntemler (www.openlearn.open.ac.uk).

Termal enjeksiyon yönteminde gaz hidrat duraylılık zonuna buhar veya sıcak su enjekte edilerek ortamın ısısı artırılır. Sıcaklık değerlerindeki değişim ile ortamın sıcaklığı değiştiğinden gaz hidrat bu şartlar altında ayrışmaya başlar. Gaz hidratın ayrışmasından sonra açığa çıkan gaz, hidrat tabakasından ayrılarak yukarı doğru hareket eder. İnhibitör enjeksiyon yönteminde ise sıcaklığın değişimi buhar veya sıcak su yerine metanol, etilen glikol gibi alkoller kullanılmaktadır. İnhibitörün etkisiyle bozulan hidrat fazından gaz açığa çıkar.

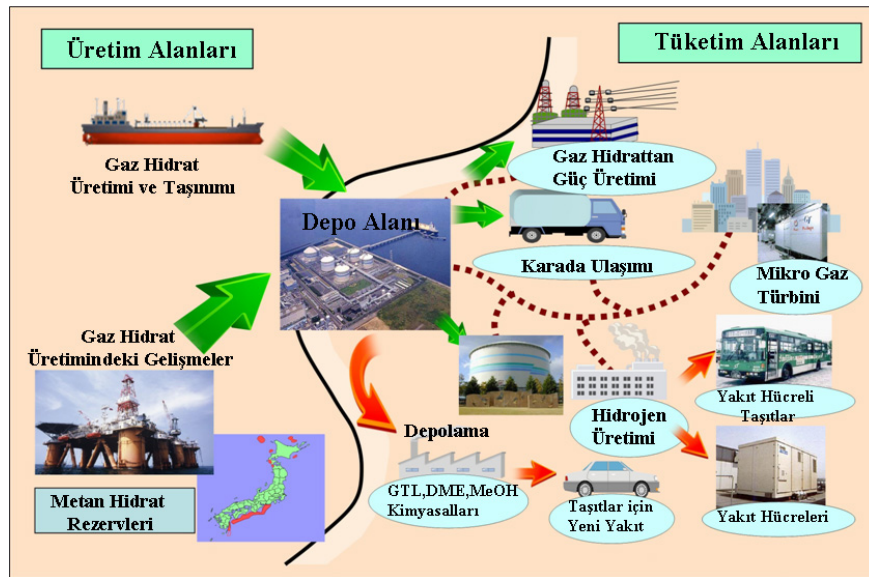
Bazı gaz hidratlar deniz dibi sedimanlarında ayrılmış şekilde bulunabilir. Genellikle üstte ayrılmış gaz hidrat ve altta serbest gaz tabakası şeklindedirler. Böyle durumlarda gaz hidratın ayrıştırma işlemine gerek olmadığından, hidrat tabakasının altındaki serbest gazın eldesi için kuyu açılması uygun yol olacaktır. Basınç düşürme (kuyu açma) yönteminde de açılan kuyu ile basınç gaz üretimi ile daha da düşürülerek hidratın bozunması sağlanmaktadır (www.openlearn.open.ac.uk).

Uygulanan bu üç yöntemin de tabii ki sınırlamaları ve dezavantajları bulunmaktadır. Termal ve inhibitör enjeksiyon yönteminde; yöntemin maliyeti elde edilen gazdan daha pahalı olmasının yanında uygulama sırasında çevreye verdiği etkiden dolayı da fazla tercih edilmemektedir. Basınç düşürme (kuyu açmak) yönteminin sadece serbest gaz tabakasının bulunduğu rezervlerde uygulanması, gaz çıkışı sağlandıktan

sonra gaz hidrat ve çevresindeki sedimanların duraylılık koşullarının değiştirebilmesi gibi sebeplerden deniz tabanındaki heyelanlar için potansiyel etki göstermektedir. Yöntemin uygulanması sırasında basıncın düşürülmesi deniz seviyesini de etkilediğinden bu durum, deniz tabanında, yüzeyindeki yamaçlarda bulunan sedimanların durağanlığını tetikleyerek heyelanlara neden olabilirler.

Gaz hidrat rezervlerinin tespitinden sonra gaz hidratın çıkarılması ve taşınması için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan ilki gaz hidratın doğal gaz boru hatları ile taşınması şeklinde olurken, ikinci olarak gaz hydrattı sıvı hale dönüştürerek pompalama ile tanker veya kamyonlara aktarımı şeklinde ve son olarak gaz hydrattı tekrar katı hale dönüştürerek büyük gemiler ile taşınımı şeklinde olur.

(<http://unit.aist.go.jp>). Tüm yöntemlerde gaz hidrat taşınımı düşük sıcaklık ve düşük basınçta gerçekleştirilir. Şekil 3.11’de gaz hidratların üretim ve tüketimi süresince uygulanan işlemler şematik olarak gösterilmiştir. Öncelikle karasal ve denizel ortamlarda bulunan metan hidrat rezervlerinden elde edilen hidratlar gelişen teknoloji ile yukarıda da anlatıldığı gibi depo alanlarına taşınmaktadır. Depo alanlarından kullanım alanlarına dağıtımı yine sıcaklığın ve basıncın düşük olduğu özel olarak hazırlanmış tankerler ile sağlanıyor. Gaz hidratların bir kısmı hidrojen üretimi, yakıt ihtiyacının sağlanması, depolama gibi işlemlerin gerçekleştirilmesi için dağıtılırken bir kısmı da mikro tribünlere, yakıt hücrelerine ve güç eldesi için soğutulmaya götürülmektedir.

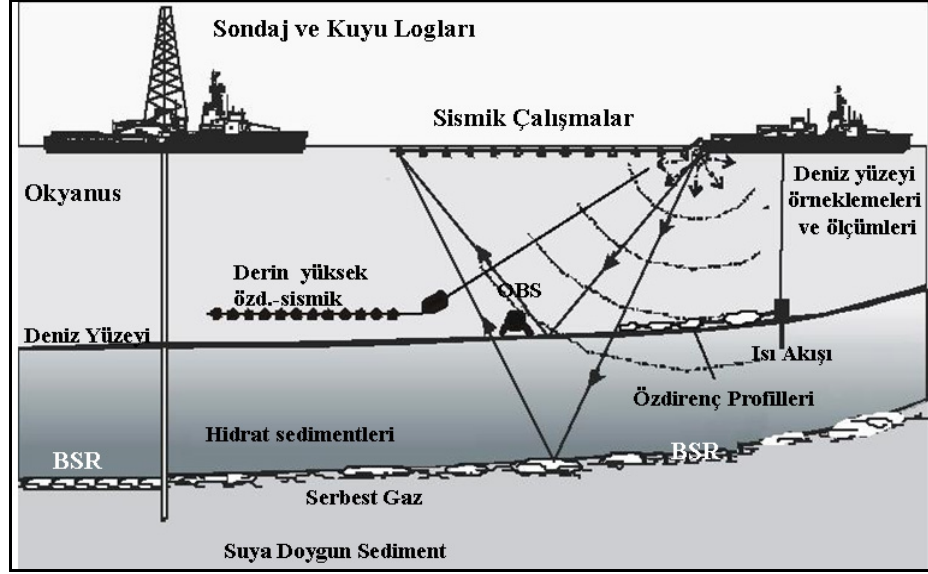


Şekil 3.11: Gaz hidratların üretim ve tüketim alanları (<http://unit.aist.go.jp>).

3.5. Gaz Hidratların Jeofizik Belirtileri ve Aranmasında Kullanılan Yöntemler

Hidrat araştırmaları ilk kez **Humphrey Davy (1810)** ve **Michael Faraday (1823)**'in klorin-su karışımı ile yaptıkları deneyler ile başlamıştır. 1930 yıllarında ise Hammer Schmidit'in özellikle soğuk bölgelerde gaz hidratların doğal gaz boru hatlarını tıkadığının belirlenmesi üzerine ikinci evresine girmiştir. Bundan sonraki 10 yıl süresince gaz hidratların oluşum biçimleri, özellikleri ve duraylılık koşulları bilim adamlarının araştırma konusu olmuştur. Devam eden çalışmalarda, Batı Sibirya baseninde geniş alanda sedimanlarda oluşmuş katı gaz hidrat bulunmuştur. Ardından ilerleyen yıllarda Alaska'nın kuzey yamaçlarında sığ kesimlerde gaz hidrat rezervlerine rastlanmıştır. Sürdürölen araştırmalar sonucunda bilim adamları gaz hidratların sadece soğuk bölgelerde değı düşük sıcaklık ve yüksek basınç koşullarının sağılandığı tüm denizel ve karasal ortamlarda oluşabileceğı teorisini öne sürmüşler ve araştırmalarını bu yönde geliştirmeye başlamışlardır. Bu teoriden sonra 1970'de Blake sırtı üzerinde yapılan araştırmalarda deniz tabanını takip eden kuvvetli yansımaların (BSR) altına ilk kez denizel sondaj yapılmış ve bu yansımaların hidrat duraylılık zonuna karşılık geldiğı, bu zonun altında ise serbest gaz tabakasının var olduğı tespit edilmiştir. Bu tespitlerden sonra BSR'lar tüm dünyada gaz hidrat oluşumunun kanıtı olarak değılendirilmeye başlamıştır. 1974'de Karadeniz'de gaz hidrat yumruları bulunmuş ve 1980 yıllarının başında Guatemala açıklarında yapılan sondajda 1 m uzunluğunda gaz hidrat örneğı alınmıştır. 1990 yılından itibaren sınırlı enerji kaynaklarına sahip ölkeler özellikle Japonya ve Hindistan gaz hidrattan enerji üretimine yönelik projeler hazırlayarak bu yönde çalışmalara başlamıştır. Artan gaz ihtiyacı nedeniyle ABD'de bu çalışmalara yönelerek 1998 ve 1999 yıllarında McKenzie Nehri deltasında ve Nankai Çukurunda uluslararası iki sondaj yaparak metan hidrat oluşumunu ortaya koymuştur (**Ergün ve diğ., 2000**).

Gaz hidratlar, kuyu örnekleri, jeofizik kuyu logları, labaratuvarında yapılan sedimentoloji, biyostratigrafi, fiziksel ve petrofiziksel özellikler, gaz jeokimya jeofizik çalışmaları ve rezervuar bilgileri ve uygulanan jeofizik yöntemler sonucu tespit edilir. Sismik yöntemlerden tek kanallı ve çok kanallı sismik yansıma yöntemi ile gaz hidratların yeri tespit edilerek haritalanabilir. Şekil 3.12'de gaz hidrat çalışmalarında uygulanan yöntemler gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Gaz hidrat aramalarında uygulanan jeofizik yöntemler (Hyndman ve Dallimore, 2001).

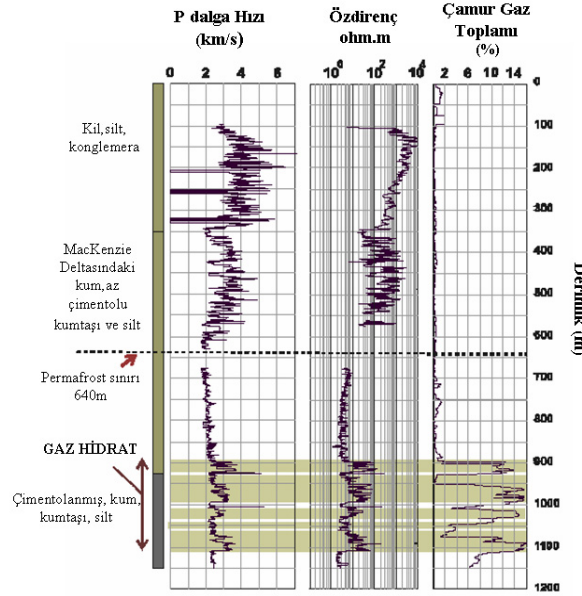
Gaz hidratlar, içerisinde bulundukları yapıların fiziksel özelliklerini değiştirirler. Sedimanlarda meydana gelen bu değişimler yapılan araştırmalar ve açılan kuyularda sismik hız ve elektirik özdirenç parametrelerde değişim olarak izlenmektedir. Suya doygun sedimanlarda en düşük P dalga hızı yaklaşık 1,5 km/s olurken gaz hidrattaki P dalga hızı yaklaşık 3–3,6 km/s’dir (<http://unit.aist.go.jp>). Dolayısıyla gaz hidratlar içerisinde bulundukları sedimanın hızını belirgin bir şekilde artırır. Tablo 3.4’de gaz hidratların ve sedimanların fiziksel parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Sedimanların hidrat içeriğine göre değişen fiziksel parametreleri (<http://web.deu.edu.tr>).

Parametre	Suya doygun	Hidrat içeren	Saf hidrat	Gaz içeren
P dalga hızı (m/sn)	1600–2500	2000–4500	3250–3600	≤1450
S dalga hızı (m/sn)	380–400	700–1560	1650	----
Yoğunluk (gr/cm³)	1,26–2,42	1,15–2,4	0,912	----

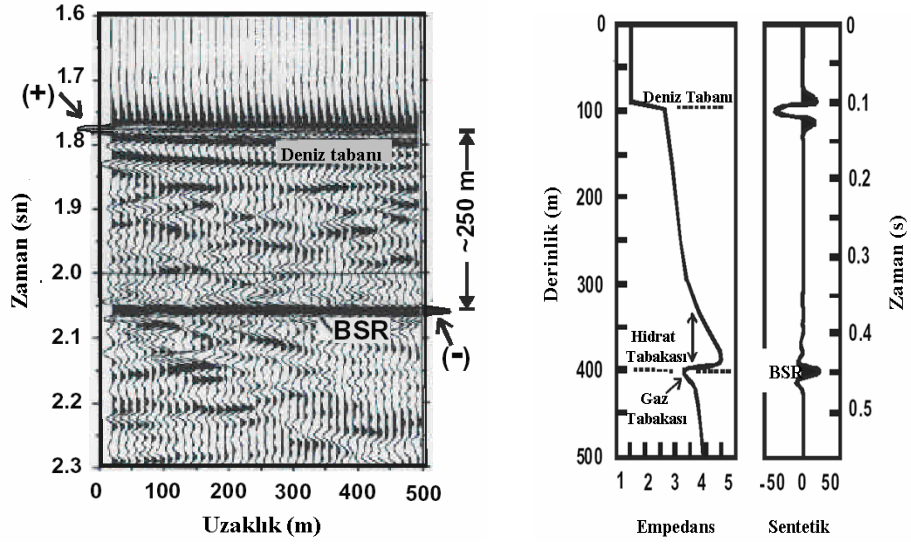
Bununla birlikte gaz hidrat zonunun altında kalan serbest gazın varlığı, içinde bulunduğu sedimanların hızını belirgin bir şekilde düşürür. Hız değişiminden kaynaklanan akustik empedans farklılığı sismik kesitte büyük genlikli negatif yansımalar ile görülür. Hidrat, oluşumu sırasında sedimanlarda çimento özelliği gösterdiğinden bulunduğu kayacın direncini belli miktarlarda artırır. Bu özdirenç

loglarında yüksek öz direnç değerlerine karşılık gelir. Masif gaz hidratın ortalama öz direnç değeri 150–175 ohm.m arasındadır (<http://www.netl.doe.gov>). Şekil 3.13’de Arktik bölgelerden Kanada Mallik’de yapılan bir çalışmada alınan log kayıtları gösterilmiştir. Görüldüğü üzere sonik log kaydındaki P dalga hızının, öz direnç logundaki öz direnç değerlerinin ve çamur gaz kayıtlarındaki yüzdenin, 900 m derinlikten sonra belirgin bir şekilde arttığı açıkça gözlenmektedir.



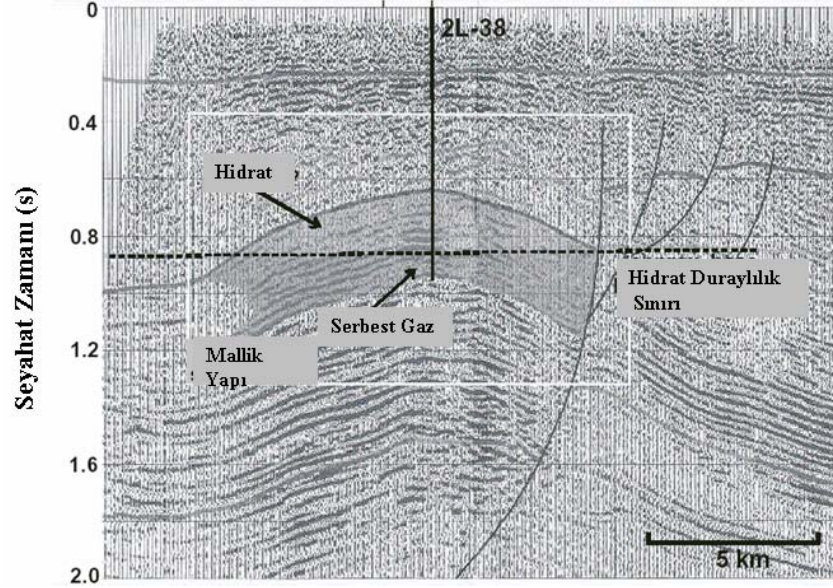
Şekil 3.13: Arktik bölgelerden Kanada Mallik’de yapılan kuyu logu kayıtları (Hyndman ve Dallimore, 2001).

Gaz hidratlar bulundukları sedimanların akustik özelliklerini belirgin şekilde değiştirirler. Denizel araştırmalarda BSR (Bottom Simulating Reflector) “Tabana Benzeyen Yansıtıcı” hidrat varlığını işaret eden en önemli kanıttır. BSR, üstte gaz hidrat içeren sedimanlar ile altta genellikle serbest gaz içeren sıkışmamış tortul zon arasındaki ara yüzeyden alınan yansımadır. Gaz hidrat içeren ortamın P dalga hızı, hidrat içermeyen sedimanlardan daha yüksektir. Sediman boşluklarının gaz hidrat tarafından çimentolanması, dalga hızını gaz hidrat yoğunluğu ile artan oranda arttırmaktadır. BSR’ın altındaki sedimenlerde bulunan çok az miktardaki gaz ise ortamın hızını düşürmektedir. Bu nedenle iki ortam arasında akustik empedans farkı meydana gelerek sismik yansıma kesitlerinde yüksek genlikli ve negatif polariteli BSR’lar olarak görülmektedir (<http://web.deu.edu.tr>). Şekil 3.14’de Kanada Mallik’de alınan sismik yansıma kayıtları ile sentetik ve empedans sismik izlerinde BSR’ın varlığı negatif polariteli genlikle açıkça görülmektedir.



Şekil 3.14: Kanada-Mallik’de yapılan sismik yansıma kayıtlarında BSR’ın görünümü (Hyndman ve Dallimore, 2001).

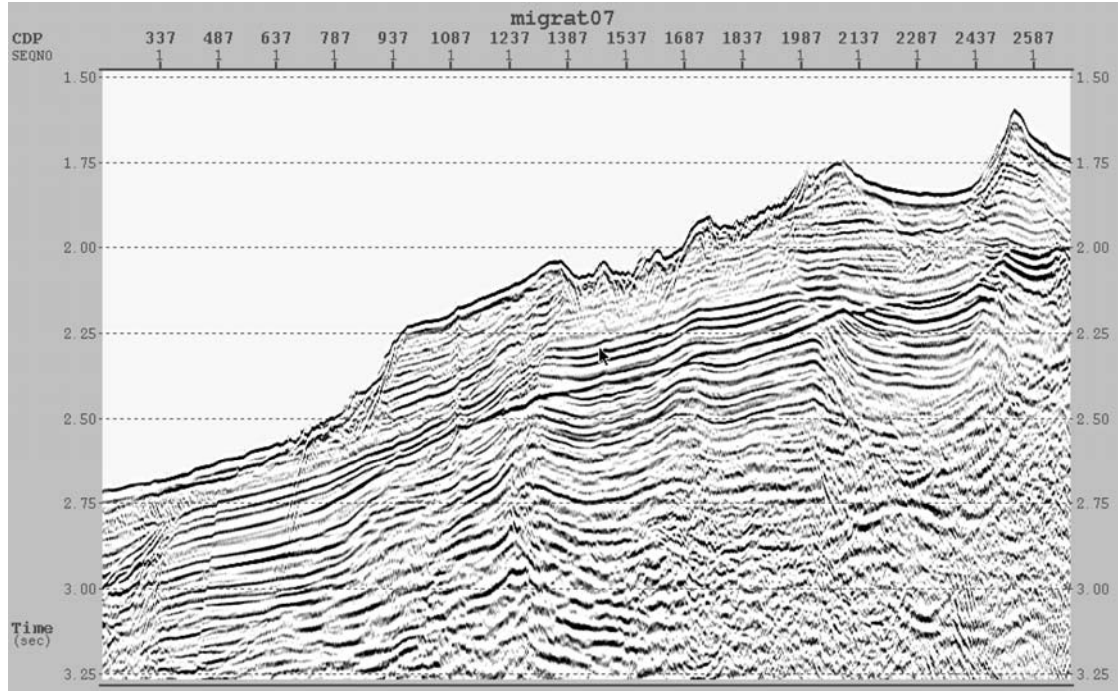
Bununla birlikte sismik yansıma kesitlerinde gaz hidrat varlığı ve BSR etkisi açıkça kendini göstermektedir. Şekil 3.15’de yine Kanada-Mallik’de alanına ait gaz hidrat çalışmalarından elde edilen sismik kesitte gaz hidrat duraylılık zonu ve serbest gaz tabakası görülmektedir.



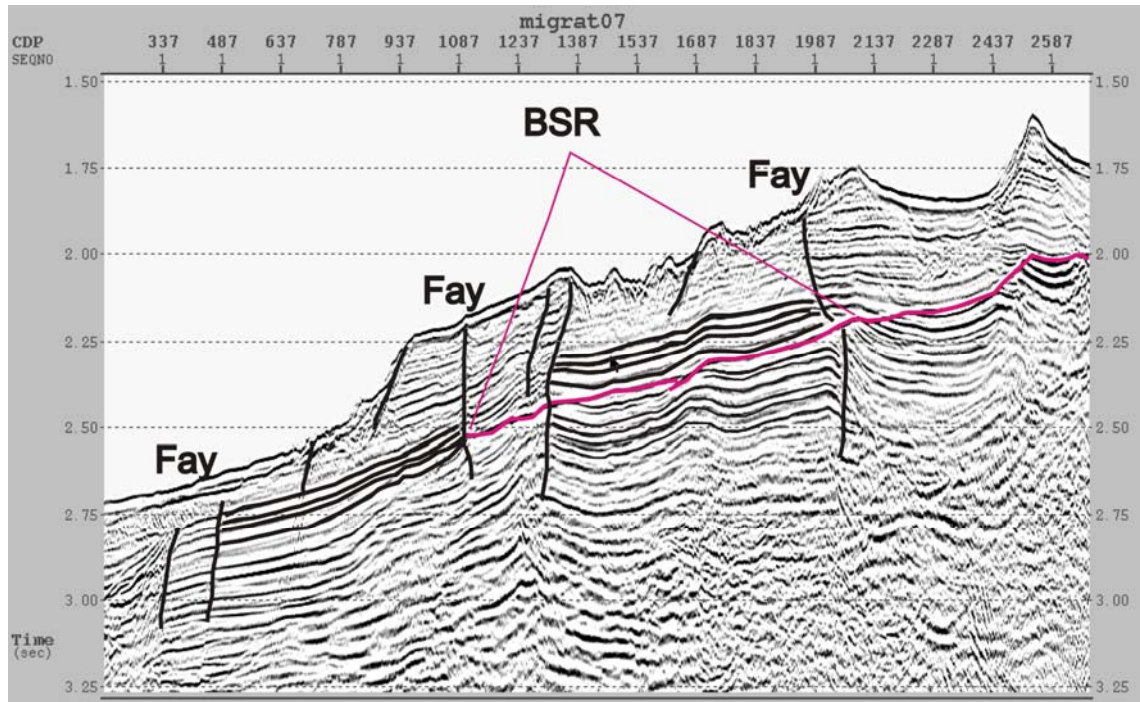
Şekil 3.15: Malik alanına ait gaz hidrat çalışmalarında sismik kesitte gaz hidrat duraylılık zonu ve serbest gaz varlığı (Hyndman ve Dallimore, 2001).

Tez çalışmasında Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile arasındaki bölgede alınan sismik kayıtlardan 07 numaralı ve 14 numaralı hatların sismik göç sonrası kesitlerinde BSR seviyesinin görüldüğü kısımlar Şekil 3.16 ve Şekil 3.18’de

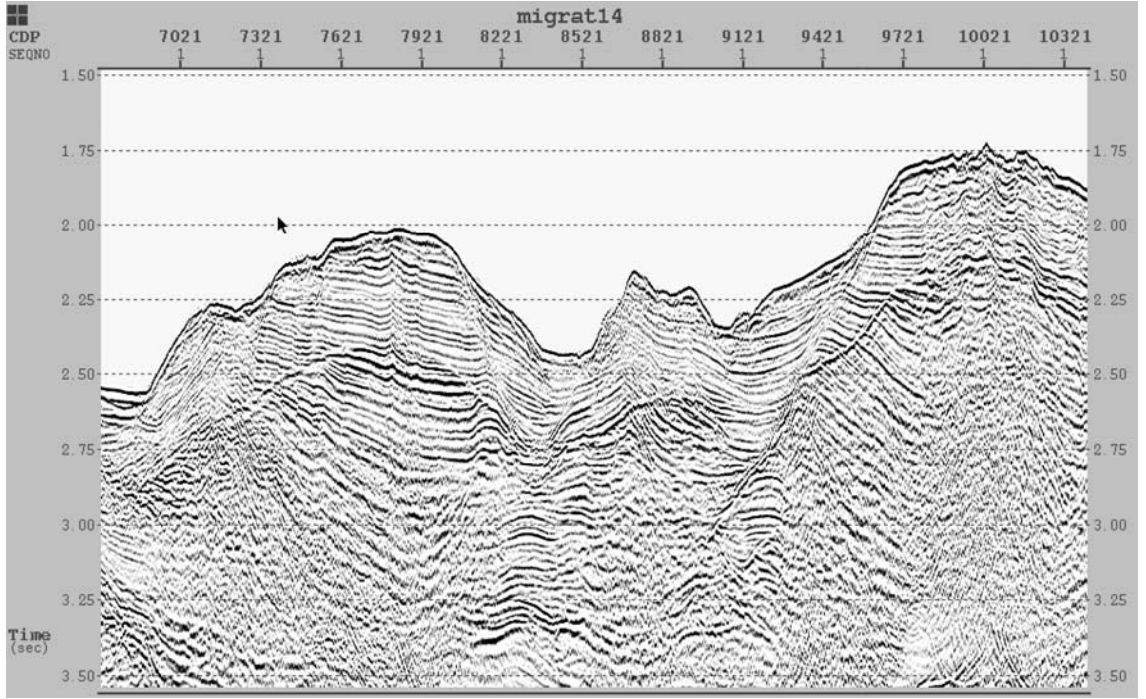
verilmiştir. Kesitler yorumlanarak gözlenen BSR seviyeleri ve faylar Şekil 3.17 ve Şekil 3.19'deki kesitlerde çizilmiştir.



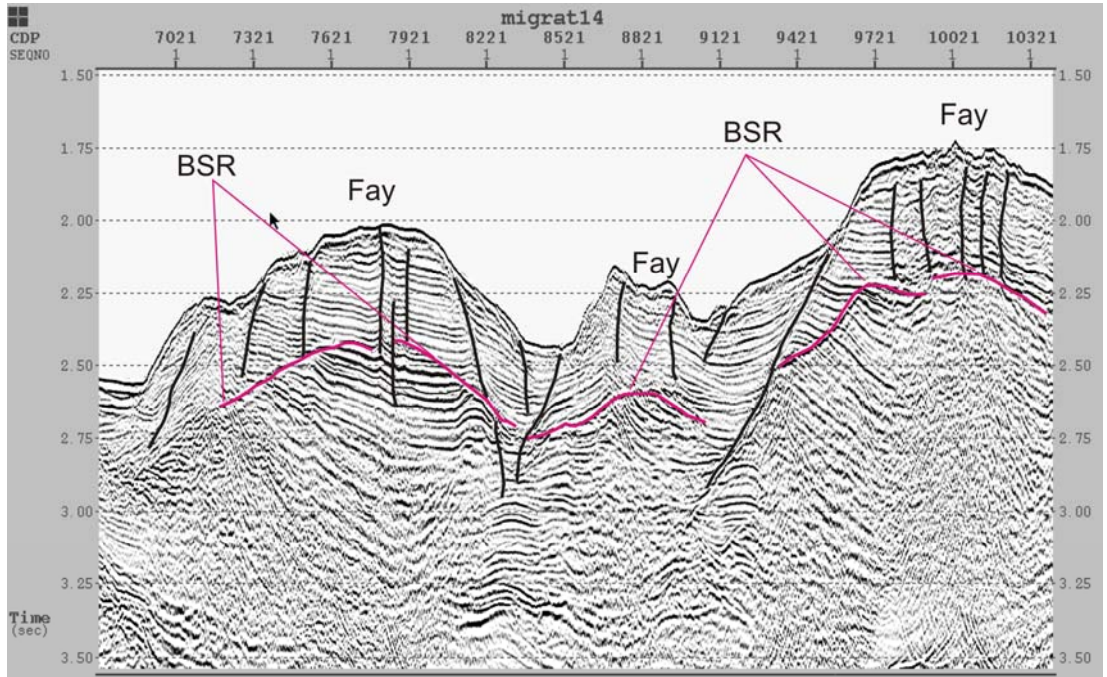
Şekil 3.16: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 07 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitte BSR seviyesinin görüldüğü kısım (Damcı, 2004).



Şekil 3.17: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 07 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitte BSR seviyesinin görüldüğü kısmın yorumlanmış hali.



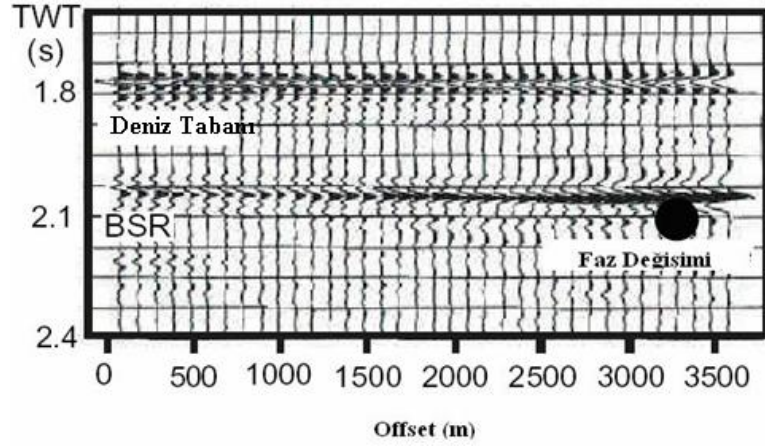
Şekil 3.18: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 14 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitte BSR seviyesinin görüldüğü kısım (Damcı, 2004).



Şekil 3.19: Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile’de alınan sismik kayıtlardan 14 numaralı hatta ait sismik göç işlemi sonrası kesitin BSR seviyesinin görüldüğü kısmın yorumlanmış hali.

BSR yansıma katsayısı yansıtıcı arayüzeyde %20–30 oranında bir akustik empedans azalmasına neden olabilir. Ayrıca BSR’lar belirgin AVO etkisi göstererek CDP’ler üzerinde BSR’ın genliği artan ofset ile artarak, AVO analizlerinde negatif polariteli

faz değişimi olarak kendini gösterir (<http://web.deu.edu.tr>). şekil 3.20’de AVO analizlerinde faz değişimi görülmektedir.



şekil 3.20: AVO analizlerinde faz değişimi (Hyndman ve Dallimore, 2001).

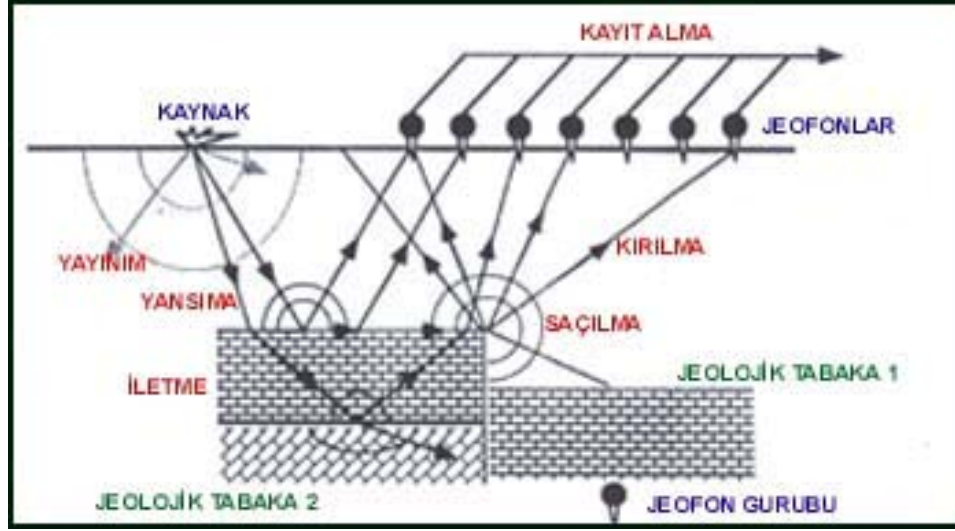
Arktik permafrost bölgelerinde hidratlar genellikle kuyu logları, sondaj örnekleri üzerinde yapılan deneyler, biyostratigrafi, fiziksel ve petrofiziksel özellikler üzerine yapılan deneyler ve gaz jeokimyası çalışmaları ile tespit edilir. Kuyu loglarından sonik loglardaki yüksek hız ve elektrik loglarındaki yüksek özdirenç değerleri ve çamur gaz içeriği gaz hidratların varlığını gösterir. Bu bölgelerde hidrat ve gaz tabakası arasındaki empedans farklılığı çok büyük olmadığından referans bir hız ve özdirenç değeri seçilerek bu referanslara göre değişimler izlenir. Dolayısıyla hidrat oluşumunun, hidrat birikimlerinin dağılımları ve özellikleri, gaz dönüşümünün olabileceği muhtemel lokasyonlar dikkate alınarak uygun referans değerlerinin seçilmesi büyük önem taşır (<http://gsc.nrcan.gc.ca/gashydrates>).

4. SİSMİK YANSIMA VE AVO ANALİZİ

4.1 Sismik Yansıma Yöntemi

Sismik yöntemler yeraltındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamada elastik dalgaların, ortam içerisinde yayılması ile ilgili fizik ilkelerine dayanır. Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağı, yeryüzüne bir düzen içinde yerleştirilmiş bir seri alıcıya ve bu alıcılara gelen dalgaları kaydeden ölçüm cihazına ihtiyaç vardır. Bu düzen içinde temel prensip, enerji kaynağından yayılan ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşılık genliklerinin kaydedilmesidir.

Sismik yöntemler, kaynaktan yayılan sismik dalgaların takip ettiği ışın yollarına göre Sismik Yansıma (reflection), Sismik Kırılma (refraction) olmak üzere iki genel bölüme ayrılır. Bunlardan Sismik Yansıma Yöntemi yeraltının iki veya üç boyutlu, ayrıntılı yapısal ve stratigrafik kesitinin elde edilmesinde kullanılır. Bununla birlikte yöntem; ekonomik olarak petrol ve doğal gaz araştırmalarında, kömür yatağı araştırmalarında, mühendislik amaçlı olarak kıyı tesislerinin denizaltı zemin ve çökel istif şartlarının belirlenmesinde, liman, karayolu, baraj ve büyük yapıların inşası ile ilgili temel kaya problemlerinin çözümünde, kültürel olarak arkeojeolojik çalışmalarda bilimsel amaçlı olarak kara ve denizde yer kabuğu araştırmalarında kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de sismik yöntemlerin uygulaması şematik olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kaynaktan yayılan sismik dalgalar farklı jeolojik tabakalardan oluşan yeraltı modelinde yansıyarak ve kırılarak alıcılarda kaydedilmektedir (Telford ve diğ., 1991).

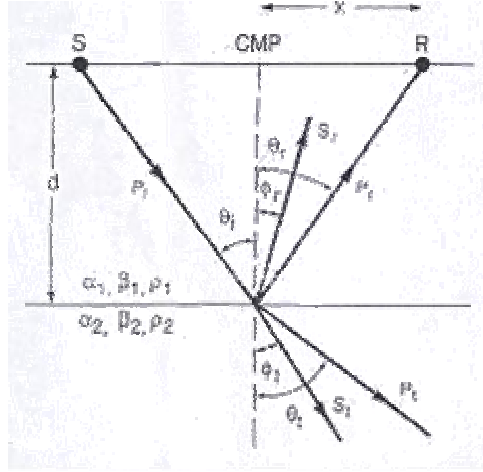


Şekil 4.1: Dalga yayılımı diyagramı (Telford ve diğ., 1991).

Yeraltında ışınsal dalga yayılımı, geliştirilen matematiksel ifadelerle ortam parametreleri göz önünde bulundurulmak üzere tarif edilebilir. Geliştirilen algoritmalar ve yer modelleri sayesinde yeraltı yapısına ait bilgiler sağlanabilmektedir. Bilindiği gibi yeraltı modelini tarifleyen en önemli unsurlar yayılan dalga hızları ve ortam yoğunluklarıdır. Sismik yansıma yönteminde ışınsal dalga yayılımı; bir ara yüzeye gelen P dalgasının iki ortam arasındaki empedans farklılığından dolayı yansıması ve kırılması olarak “Snell Yasası” ile açıklanabilmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi V_1 ve V_2 hızlarından oluşan bir ortamda S ve R noktaları arasındaki ışınsal dalga yayılımı, geliş açısı ile yansıma açılarının eşitliğini gerektirmektedir. İki farklı ortamda arasındaki dalga yayılımının ışınsal geometrisi için “Snell Yasası”

$$\frac{\sin \theta_1}{\alpha_1} = \frac{\sin \phi_1}{\beta_1} = \frac{\sin \theta_2}{\alpha_2} = \frac{\sin \phi_2}{\beta_2} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 4.2’de farklı iki ortam için Snell Yasası ışın geometrisi verilmiştir. Üst ortam için sismik parametreler; α_1 = P dalga hızı, β_1 = S dalga hızı, ρ_1 ortamın yoğunluğu, alt ortam için sismik parametreler; α_2 = P dalga hızı, β_2 = S dalga hızı, ρ_2 = alt ortamın yoğunluğudur. θ_1 , ϕ_1 , θ_2 , ϕ_2 açıları sırasıyla P yansıyan, S yansıyan, P kırılan ve S kırılan sismik dalgaların ara yüzeyde normalle yaptıkları açıları göstermektedir.



Şekil 4.2: Farklı iki ortam için Snell Yasası ışın geometrisi
(Demirbağ ve diğ., 1993).

Kırılma açısının (Φ_1) 90° olduğu durumlarda geliş açısı (θ_1) “kritik açı” olarak adlandırılır. Bu durumda Snell Yasası’ndan faydalanılarak,

$$\frac{\sin \theta_1}{\alpha_1} = \frac{1}{\beta_1} \quad \text{ve} \quad \sin \theta_c = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \quad (4.2)$$

bağıntısı yazılabilir. θ_1 açısından daha büyük açı ile ara yüzeye gelen dalgalar “tam yansıma”ya uğrarlar. İki farklı hıza sahip ortamların her ikisinde de yansıyan, kırılan dalgalar bu iki hıza bağlıdır. Bu dalgaların yüzeyde kaydedilebilmeleri için kritik açı koşulunun $\sin \theta_c = \frac{\alpha_1}{\beta_1}$ sağlanması gerekir. Dalganın bu kritik açı altında, üstteki tabaka içerisinde yayılması “başdalgası” (headwave) olarak adlandırılır.

4.1.1 Akustik Empedans ve Yansıma Katsayıları

Yansıma ve kırılmanın olduğu bir ortamın özellikleri sismik parametreler cinsinden ifade edilebilir. Sismik dalga hızıyla ortamın yoğunluğunun çarpımına eşit olan akustik empedans, denklem (4.3)’de verilmiştir.

$$Z = V \cdot \rho \quad (4.3)$$

Denklemde; V sismik dalga hızını ve ρ ise ortamın yoğunluğunu göstermektedir. Yansıma ve kırılmanın oluşabilmesi için ortamlar arasında akustik empedans farkının olması gerekir.

Hidrokarbon birikimleri sismik kesitlerde ani genlik artımları şeklinde görülmektedir. Bu birikimler yansılarda yeterli değişimleri oluştururken akustik empedanstaki değişimler de birçok sebepten oluşabilmektedir. Sismik kesitlerde yansıma olaylarının farklılaştığı, yansıma seviyelerinin değiştiği ve yüksek yansıma genliklerinin olduğu yerlerde akustik empedansın değiştiği görülmektedir. Sismik yansıma kesitlerinde sözü edilen bu ani yansıma değişimleri; akustik empedans kontrastlarının görülmesinde, yapı sınırlarının tespitinde, yığma işlemi öncesi uzaklık genlik ilişkisi tespitinde, olası hidrokarbon rezervlerinin tespitinde, porozite değişimlerinin incelenmesinde yararlıdır. Hidrokarbon aramalarında uygulanan sismik stratigrafi yöntemi bugün endüstri alanında kabul görerek dünyadaki birçok hidrokarbon potansiyel sahalarında uygulanabilir bir yöntem olarak kullanılabilir. Sismik stratigrafi ile deniz tabanındaki sıkışmış çökelim birikintileri belirlenir. Bu birimlere ait izler sismik kesitlerde yansıma paketleri olarak görülür. Bir sismik yansıma izi seyahat zamanı ve genlik olarak iki önemli bilgiden oluşur. Bununla birlikte atış-alıcı koordinatlarına ait bilgileri de içerir. Bu koordinat bilgileri veri işlem sırasında CMP ve atış-ofset koordinatına dönüştürülür. Ofsete bağlı olarak değişim gösteren genlikler litoloji ve sıvı içeriği, rezerv kalınlığı, sismik hız, porozite ve yoğunluk gibi rezervuar parametreleri hakkında bilgi edinmede kullanılır. Sismik kesitlerde hidrokarbon rezerv araştırmalarında kullanılan sismik yansıma katsayıları R olmak üzere farklı iki ortam içinde tanımlanacak olunursa düşey gidiş-geliş için ($\theta = 0^\circ$) denklem (4.4)'de

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemden Z_2 = ikinci ortamın akustik empedansı, Z_1 = birinci ortamın akustik empedansıdır. Yansıma katsayısı ile birlikte iletim katsayısı T , denklem (4.5)'de olduğu gibi akustik empedans cinsinde yazılabilir:

$$T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (4.5)$$

Yansıma ve iletim kat sayıları arasındaki bağıntı ise denklem (4.6)'da olduğu gibi

$$1 + R = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2 + Z_1} = T \quad (4.6)$$

şeklinde yazılabilir.

4.1.2. Zoeppritz Denklemleri

Yeryüzünde kaydedilen sismik yansıma verilerinden yeraltı modeline ait P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluk parametrelerinin belirlenmesi uzun yıllar boyunca sismik yansıma yönteminde önemli bir araştırma konusu olmuştur. Yeraltı yapısına ait parametrelerin kestirimleri son yıllarda geliştirilen veri işlem teknikleri sismik yansıma verilerinin yorumlanmasında kolaylık sağlasa da hidrokarbon aramaları, yeraltı su aramaları ve derin kabuk araştırmalarında doğrudan yorumlamada yetersiz kalmaktadır. Jeofizik literatürde yansıyan P dalgası, kırılan P dalgası ve mode değişimleri geliş açısının fonksiyonu olarak geniş kapsamda hala araştırılmaktadır.

Yayınan dalgaların ara yüzeyde normalle yaptığı açı $\theta \neq 0^\circ$ olduğunda P dalgası S dalgasına dönüşmektedir. İki ara yüzey arasındaki kırılma ve yansıma olayları yine Snell Yasası ile tarif edilebilir. Yalnız yayınan dalgalar ara yüzeyde sıfırdan farklı bir açı ile gelerek yansıma ve kırılma olaylarını gerçekleştirdiğinden yansıma ve iletim katsayıları θ 'nın fonksiyonu olmak üzere geliştirilen matematiksel denklemlerle ifade edilir. Bu ifade Denklem 4.7'de gösterildiği gibidir.

20. yüzyılın başlarında katı/katı ve sıvı/katı ortamlar için geliştirilen bu denklemler geliş açısının fonksiyonu olmak üzere tarif edilmiş ve “Zoeppritz Denklemleri” olarak adlandırılmıştır. Zoeppritz denklemleri katı-katı ve izotrop bir ortamda arayüzeyde sismik yansıma ve kırılma özelliklerini tarif eden denklemlerdir. **Aki ve Richards (1980)** ara yüzeydeki elastik özellik farklılıkları cinsinden bu denklemi doğrusal hale getirmek için bir yaklaşım yapmıştır. Bu yaklaşımlar özellikle P-P ve P-S yansımaları olmak üzere sismik kesitlerde ofsete bağlı genlik yorumlamalarında kullanılmıştır.

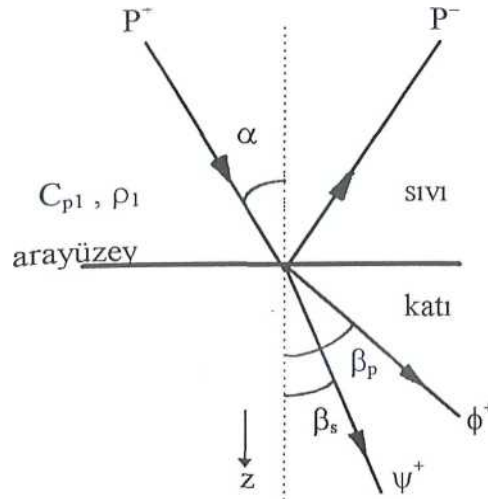
Zoeppritz denklemleri katı/katı ortamlar için 4x4'lük kare matris şeklinde ifade edilir. Bu matrisin satır ve sütunları birinci ve ikinci ortamın sismik parametrelerinin birbirleriyle ilişkileri trigonometrik ifadelerle ve geliş açısının fonksiyonu olmak

üzere katsayılarından oluşmuştur. Şekil 4.3’de Zoeppritz denkleminin matris formu gösterilmiştir. Bu matris denkleminde geçen parametreler Şekil 4.2’de verilmiştir. R_p , R_s sırasıyla yansıyan P ve yansıyan S dalgasının yansıma katsayısı, T_p , T_s ise P ve S dalgasının iletim katsayılarını göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \Phi_1 & -\sin \theta_2 & \cos \Phi_2 \\ -\cos \theta_1 & \sin \Phi_1 & -\cos \theta_2 & -\sin \Phi_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cos 2\Phi_1 & \frac{\rho_2 \beta_2^2 \alpha_1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin 2\theta_2 & -\frac{\rho_2 \beta_2 \alpha_1}{\rho_1 \beta_1} \cos 2\Phi_2 \\ \cos 2\Phi_1 & -\frac{\beta_1}{\alpha_1} \sin 2\Phi_1 & -\frac{\rho_2 \alpha_2}{\rho_1 \alpha_1} \cos 2\Phi_2 & -\frac{\rho_2 \beta_2}{\rho_1 \alpha_1} \sin 2\Phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_p \\ R_s \\ T_p \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_1 \\ -\cos \theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ -\cos 2\Phi_1 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.3: Zoeppritz denklemlerinin matris formda gösterimi (**Zoeppritz, 1919**).

Yatay bir tabaka ile ayrılmış akustik/elastik yani su/kaya ortamı için Berkhout’un (1987) düzenlediği Zoeppritz denklemleri; Snell yasasından matematiksel trigonometrik dönüşüm denklemlerinden yararlanılarak ve model geometrisi göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Böylece yansıma katsayısının açıyla olan değişimi açılım ile olan değişimine dönüştürülmüştür. Akustik/elastik ortamı tarifleyen model geometrisi Şekil 4.4’de gösterilmiştir. P^+ ara yüzeye gelen P dalgasını, P^- yansıyan P dalgasını, ϕ^+ iletilen P dalgasını, ψ^+ iletilen S dalgasını ifade eder (**Ocakoğlu, 1997**).



Şekil 4.4: Yatay bir ara yüzeyle birbirinden ayrılan akustik/elastik ortamda ara yüzeye gelen P düzlem dalgasına göre oluşan yansıma ve iletim dalgalarının gösterimi (**Berkhout, 1987**).

α , β_p , β_s sırasıyla ara yüzeye gelen P dalgasının, ara yüzeyden iletilen P ve S dalgalarının normal ile yaptıkları açıları göstermektedir.

C_{p1} : üst ortamın P dalga hızı (m/sn)

C_{p2} : alt ortamın P dalga hızı (m/sn)

C_{s2} : alt ortamın S dalga hızı (m/sn)

ρ_1 : üst ortamın yoğunluğu (gr/cm^3)

ρ_2 : alt ortamın yoğunluğu (gr/cm^3)

Yatay bir tabaka ile ayrılmış su/kaya ortamı için geliştirilen Zoeppritz denklemlerinin matris formu Şekil 4.5’de gösterilmiştir. R_{pp}^+ , P yansıyan dalgası genliği ve T_{pp}^+ , T_{sp}^+ ise ara yüzeyden iletilen P dalgası ve iletilen S dalgası genliklerini göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} 1 & -(1 - 2 \sin^2 \beta_s) & -2 \sin \beta_s \cos \beta_s \\ 0 & 2 \frac{C_{s2}^2}{C_{p2}^2} \sin \beta_p \cos \beta_p & -(1 - 2 \sin^2 \beta_s) \\ \rho_2 C_{p2} \cos \alpha & \rho_1 C_{p1} \cos \beta_p & \rho_1 C_{p1} \sin \beta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{pp}^+ \\ T_{pp}^+ \\ T_{sp}^+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ \rho_2 C_{p2} \cos \alpha \end{bmatrix}$$

Şekil 4.5: Zoeppritz denklemlerinin sıvı/katı ortamlar için matris formda gösterimi (**Berkhout, 1987**).

Matris formunda verilen bu eşitlik yansıma ve iletimlere bağlı olarak sismik parametrelerle açılan trigonometrik ifadelerin kombinasyonundan meydana gelmiştir. Soldaki kolon matriste yeralan R_{pp}^+ yansıyan P dalgası genliğini, T_{pp}^+ ve T_{sp}^+ ise ara yüzeyden iletilen P dalgası ve iletilen S dalgası genliklerini gösterir. Bu matris gösterimi üzerinde **Berkhout (1987)** ve **Waters (1987)**’un verdiği sıvı/katı ortamı eşitliği su/kaya ortamını temsil etmiş; böylece akustik/elastik bir ortamda arayüzeyden yansıyan P dalgası genliği R_{pp}^+ geliş açısının bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır (**Ocakoglu, 1997**).

Zoeppritz denklemleri non-lineer olduğundan sismik parametrelerin çözümü zor olmaktadır. Bu nedenle denklemi doğrusal hale getirmek ve ilgilenilen parametrelerin çözümünü ve yorumunu kolaylaştırmak için bazı kabuller yapılmış ve yaklaşımlar getirilmiştir. Böylece denklemler daha basitleştirilmiş ve yeraltı modeline ait parametrelerin elde edilişi daha kolaylaştırılmıştır. Zoeppritz denklemleri için **Bortfeld (1961)**, **Aki ve Richards (1980)**, **Hilterman (1988)**, **Shuey (1985)** ve **Lörtzer ve diğ. (1988)** tarafından farklı modeller ve sismik parametrelerin çözümleri için farklı yaklaşımlar getirilerek birçok çalışma

yapılmıştır. Bu çalışmalarda sismik parametrelerin tespitinin yöntem uygulamalarındaki önemi, sismik parametrelerin sismik yansıma veri işlem aşamasında kestirimi ve sismik veri setlerinde gözlenen yansıma genliklerinin farklı kombinasyonları incelenmiştir. Geliştirilen çözüm teknikleri ve algoritmalar sayesinde sismik parametrelerin tayini bugün bilgisayar programlarıyla daha hızlı yapılabilmektedir.

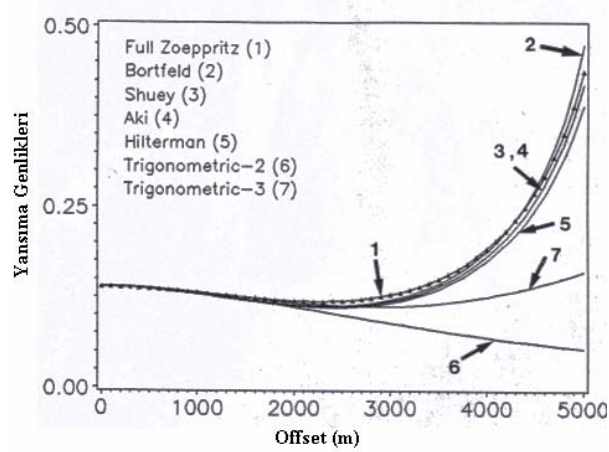
Sismik aramalarda yansımalar için en iyi bilinen iki yaklaşım Zoeppritz denklemleri ile **Aki ve Richards (1980)** yaklaşımıdır. **Aki ve Richards (1980)** yaklaşımı AVO tekniğinde kullanılan orjinal Zoeppritz denklemleri için iyi sonuç vermemektedir. Zoeppritz denklemlerinden yansıma katsayıları trigonometrik ifadeler kullanılarak yeni denklemler geliştirilmiş ve elastik parametreler için çok küçük değişimler kabul edilmiştir. Yansıma ve iletim katsayılarının matematiksel ifadesi birçok parametreye bağlı olduğundan karışıktır. Bu nedenle elastik parametreleri tayin etmek için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir.

4.1.2.1 Zoeppritz Denklemlerinde Yapılan Yaklaşımlar

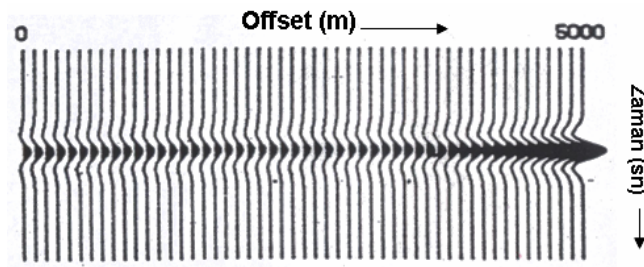
Zoeppritz denklemleri yansıma katsayılarını ve kayaç özelliklerini geliş açısının bir fonksiyonu cinsinden ifade eden denklemlerdir. Bu denklemler katsayılar ve içerdiği parametreler nedeniyle birçok bilinmeyenden oluşmaktadır. Bu nedenle denklemleri doğrusal hale getirmek için birçok yaklaşım ve kabuller yapılmıştır. Bu yaklaşımlar sayesinde uygulamada daha kolaylık sağlanarak genliğin ofsete bağlı nasıl değiştiğini izlemede kolaylık sağlamıştır.

Zoeppritz denkleminde yapılan en basit yaklaşımlar **Shuey (1985)**, **Gelfend ve diğ. (1986)** ve **Lörtzer ve diğ. (1988)** tarafından yapılan çalışmalarda görülmektedir. Bu yaklaşımlarda denklemlerdeki sismik parametrelerin birbirleriyle ilişkileri; trigonometrik fonksiyonlar, doğrusal katsayılar ve küçük geliş açıları cinsinden ifade edilmektedir. Bu basitleştirilmiş denklemler sıfır ofset açılımlar için kullanılabilir olsa da sismik parametreler hakkında nicelik olarak bir bilgi verememektedir. Gelişen süreç içerisinde Zoeppritz denklemleri için farklı çalışmalar yapılarak zaman ortamına dönüşümler geliştirilmiş, CMP geometrisi tanımlanmış ve genelleştirilmiş doğrusal dönüşümler uygulanarak aranan sismik parametrelere göre sonuçlar elde edilmiştir. Zoeppritz denklemleri için yapılan çalışmalarda **Smith ve Gidlow (1985)** Gardner's ilişkisi olarak bilinen P dalga hızı ile yoğunluğu elimine etmiştir. **Fatti ve diğ. (1994)**, **Aki ve Richards (1980)**'ın denklemlerini akustik empedans cinsinden

yazarak küçük açılar için kabul etmiş ve yoğunluğa bağlı bazı terimleri yok saymıştır. Bu yaklaşım Shuey'nun yaklaşımına göre biraz daha karışıktır. Yaklaşım büyük geliş açıları için uygulanamamakla beraber V_p/V_s oranından ve yoğunluktan bağımsız bir denklem olarak ifade edilmektedir. Denklem P ve S yansımaları ile P seyahat zamanları gibi bilgiler içerir. Genelde tüm bu yaklaşımlar 300 den daha büyük açılar için çözüm sağlayamamış sadece küçük dereceler ve ara yüzeyde elastik parametreler arasındaki küçük değişimlerde çözüm sağlamıştır. Şekil 4.6'da sözü edilen yaklaşımların seçilen model parametrelerine göre yansıma genlikleri ofsete bağlı olarak Zoeppritz denklemleriyle karşılaştırılarak çizilmiştir. Denkleme ait sismik parametreler üst ortam için P dalga hızı 4000 m/sn, S dalga hızı 2000 m/sn ve yoğunluk 2.46 g/cm^3 , alt ortam P dalga hızı 5000 m/sn, S dalga hızı 2500 m/sn ve yoğunluk 2.60 g/cm^3 olarak seçilmiştir.



Şekil 4.6: Seçilen sismik parametrelere göre genlik-ofset eğrileri Zoeppritz denklemleri ve yapılan yaklaşımlara göre çizdirilmiştir. Grafiğe ait sismik izler aşağıda gösterilmektedir (Demirbağ ve diğ., 1993).

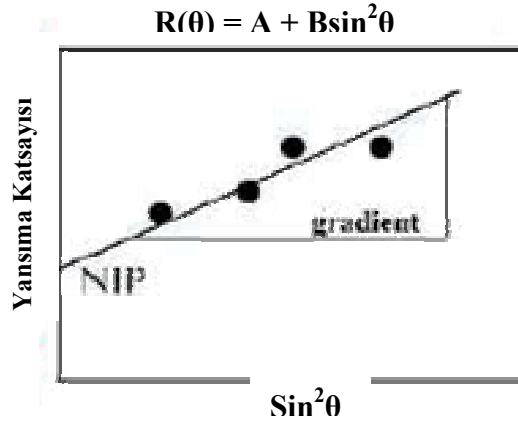


eğrilerle pek uyumlu değildir. Bununla birlikte Aki, Shuey, Hilterman ve Bortfeld'in yapmış olduğu yaklaşımlarda Zoeppritz denklemleriyle iyi bir uyum içinde olduğu gözlenmektedir. Zoeppritz denklemleri için **Shuey (1985)**'nin yapmış olduğu çalışmalarda uygun gördüğü yaklaşım ile denklem daha basitleştirilmiştir. **Shuey (1985)** P dalgası yansıma katsayılarını doğrusal hale getirmiş ve S dalga hızı V_s , Poisson oranı cinsinden ifade ederek denkleme bir yaklaşım getirmiştir. Bu yaklaşımda normal geliş açısının 30° 'den daha büyük olması ve kritik açıya yakın olması durumunda iyi sonuç vermemiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda yansıma genlik katsayıları θ 'nın fonksiyonu olarak denklem 4.7'de verildiği gibidir. Denklemden geçen A, B ve C katsayılarının matematiksel ifadelerinde ρ ortamın yoğunluğunu, v P dalga hızını ve w S dalga hızını göstermektedir.

$$R(\theta) = A + B\sin^2\theta + C(\tan^2\theta - \sin^2\theta) \quad (4.7)$$

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\Delta v}{v} \right), \quad B = -\frac{w^2}{v^2} \left(\frac{4\Delta w}{w} + \frac{1}{2} \frac{\Delta v}{v} \right), \quad C = \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta v}{v} \right)$$

Shuey yaptığı yaklaşımda üçüncü terim olan $C(\tan^2\theta - \sin^2\theta)$ ifadesini yoksayarak denklemini basit doğrusal bir denklem haline getirmiştir. **Shuey (1985)**'nin bu yaklaşımı büyük geliş açıları için iyi sonuç vermemesine rağmen basit ve anlaşılır olduğundan bugün hala kullanılmaktadır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi Shuey'nun denkleminde genlik değerleri $\sin^2\theta$ 'nin fonksiyonu olmak üzere işaretlenerek genlik dağılımını en iyi temsil eden doğru seçilmiştir. Bu doğrunun y-eksenini (yansıma genliklerinin olduğu eksen) kestiği nokta Normal Gelen P (NIP) ya da AVO kesme olarak, x-ekseni ise gradyan olarak adlandırılır. NIP normal geliş yansımasının bir ölçümünü, gradyan ise genliğin ofsete bağlı değişimini gösterir.



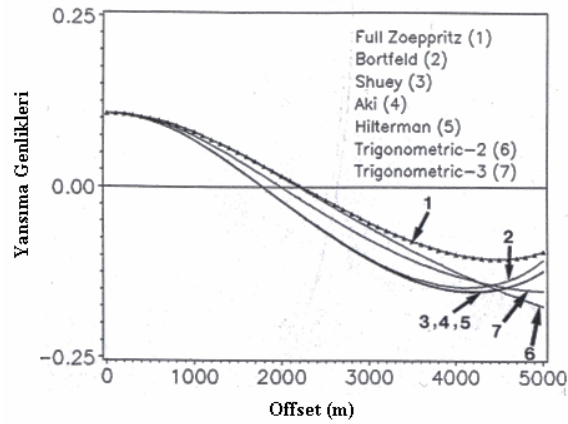
Şekil 4.7: Shuey denkleminin grafiksel ifadesi (Burianyk ve diğ., 2000).

Shuey (1985)'nin yapmış olduğu yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar birçok araştırmacı için referans olmuştur. Bu sonuçlara göre ikinci ortamın P dalga hızı birinci ortamın P dalga hızından daha büyük ve diğer parametreler birbirine yakınsa ikinci ortam için Poisson oranındaki artışı yansım katsayı değerlerinde de artışa neden olur. Ara yüzeye gelen dalganın normalle yapmış olduğu büyük geliş açıları için Poisson oranının artışı yansım katsayı değerlerinin azalmasına neden olur. Eğer her iki ortam için de Poisson oranı artıp daha sonra sabit kalıyorsa ara yüzeye gelen dalganın normalle yapmış olduğu büyük geliş açıları için yansım katsayılarında bir düşüş görülür. Bununla birlikte yansım katsayıları 30° ve yakın çevresindeki geliş açıları için simetrik bir dağılım gösterir.

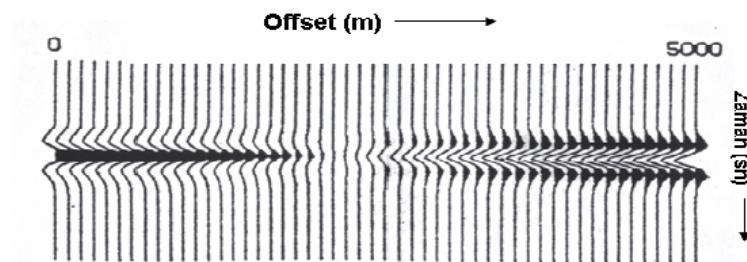
4.2. AVO Analizi

Sismik dalga ara yüzeye geldiğinde enerjinin bir kısmı yansırken bir kısmı ise ikinci ortama iletilir. Eğer geliş açısı 0° değilse P dalga enerjisi yansıyan ve iletilen P ve S bileşenlerine dönüşür. Yansım ve iletim katsayıları ortamların fiziksel parametrelerine ve geliş açısına bağlıdır. Jeofizik yöntemlerde önemli olan yeraltının fiziksel parametrelerini belirlemektir. Bunun için geliştirilen yöntemler vardır. Bunlardan biri de genliğin geliş açısına bağlı nasıl değiştiğini analiz ederek fiziksel parametreler hakkında kestirim yapmaktır. Bu yöntem, açının genliğe göre değişimi (Amplitude Versus Offset, AVO) olarak adlandırılır. Nicelik olarak AVO analizlerinde tüm ofsetler için her seyahat zamanına ait genlik değerlerini dağılımını temsil eden en uygun doğru seçilir ve geliş açısının fonksiyonu cinsinden çizilir. Böylece sismik parametrelerle doğrusal AVO ilişkisi kurulmuş olur. Çizilen grafikte doğrunun y-eksenini kestiği nokta AVO kesme zamanını gösterirken doğrunun eğimi

ise genliğin açıya göre nasıl değiştiğini gösterir. Analizler için yapılan AVO yaklaşımlarında P dalga hız modeli, V_p/V_s oranı ve ofset bilgilerinden yararlanılır. En önemli AVO uygulamaları hidrokarbon rezervlerinin tespittir. AVO anamolisindeki artış ya da azalış tipik olarak petrol içeren sedimanları veya az da olsa gaz içeren sedimanları işaret eder. Teorik çalışmalarda offsete bağlı genlik değişimi olarak bilinen AVO terminolojisi ile Zoeppritz Denklemlerine farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. AVO çalışmaları ile olası hidrokarbon rezervlerine ait parametreler elde edilerek dünyadaki muhtemel hidrokarbon potansiyellerinin tespiti sağlanmaktadır. AVO analizlerinde kullanılan **Backus (1987)** çalışmalarında; AVO tekniğinin hidrokarbon rezervlerinin tespitinde, rezerv ve üretim bilgilerinde önemini vurgulamaktadır. **Lörtzer ve diğ., (1988)** Zoeppritz denklemlerinde en küçük kareler yöntemini uygulayarak farklı bir yaklaşım getirmiş bunu AVO ters çözüm tekniğinde kullanmıştır. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi tüm ofsetler için yansıma genlik değerleri yakın ofsetler için pozitif değerler, uzak ofsetler için negatif değerler almıştır. Yaklaşımlar sonucunda elde edilen eğriler yakın ofsetler için iyi sonuç verirken uzak ofsetler için Zoeppritz denklemlerine ait eğrilerle pek uyumlu değildir.



Şekil 4.8: Seçilen sismik parametrelere göre genlik-ofset eğrileri Zoeppritz denklemleri ve yapılan yaklaşımlara göre çizdirilmiştir. (Demirbağ ve diğ., 1993).



Son on yıldır hidrokarbon aramalarında AVO tekniği sıkça kullanılmaktadır. Geleneksel AVO analizleri AVO kesme zamanı ve gradyandan oluşur. Bortfeld (1961) ve Shuey (1985)' nun yaklaşımlarında P-S dalga hızlarının oranları AVO kesme ve gradyan değerleri S dalga verisi ve poisson oranı gibi AVO özellikleri hakkında bilgi edinmede kullanılır. AVO kesme ve pseudo S dalga verisi yığma öncesi hibrid ters şemasında Mallick tarafından kullanılmıştır. Geleneksel AVO analizlerinin aksine **Connolly (1999)** elastik empedans yaklaşımını formüle etmiştir. Bu çalışmaya bağlı olarak AVO kesme ve gradyandaki gürültü etkisi üzerine **Cambois (2000)** bir çalışma yaparak elastik empedans yaklaşımını geliştirmiştir. Standart kesme ve gradyan değerlerini kullanarak geliştirilen elastik empedans yaklaşımı ters çözüm yöntemlerinde daha iyi sonuç vermiştir. Mallick ve diğ. elastik empedansı ters çözümünü hibrid ters çözüm tekniğiyle ifade etmiş sentetik veriden elastik parametreleri belirlemede %2 oranında gürültü içeren sismik veriler için uygulayarak iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Smith ve Gidlow (1987) yer-kırma (ground-breaking) metodolojisini geliştirmiştir. Bu metodoloji bugün NMO düzeltmelerinde, ağırlıklandırılmış yığma işleminde ve kayaç özelliklerinin tayininde hala kullanılmaktadır. Metod AVO analizlerinde en küçük kareler yöntemini kullanarak yansıma katsayılarının ofsete bağlı olarak dağılımını en iyi şekilde temsil edilen doğru seçilmek suretiyle genliğin değişimi kolaylıkla izlenilebilir (**Downton diğ., 2000**).

Hidrokarbon aramalarında modelleme yapılırken Poisson oranının farklı kombinasyonları ve sismik parametrelerin değişimi sonucunda tek bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle yansıma katsayılarının belirlenmesinde hata miktarı göz ardı edilmeyerek analizlerin tekrar yapılması gerekmektedir. Bu analizler yığma öncesi ve yığma sonrası ters çözüm teknikleriyle tekrarlanmalıdır. Bu tekrarlar sismik parametrelerin geliş açısının farklı seçimleri ve birbirleriyle olan farklı kombinasyonları şeklinde olabilir. Böylece hidrokarbon rezervlerinin tespiti ve yeraltı yapısının doğru şekilde tarif edilmesi mümkün olur.

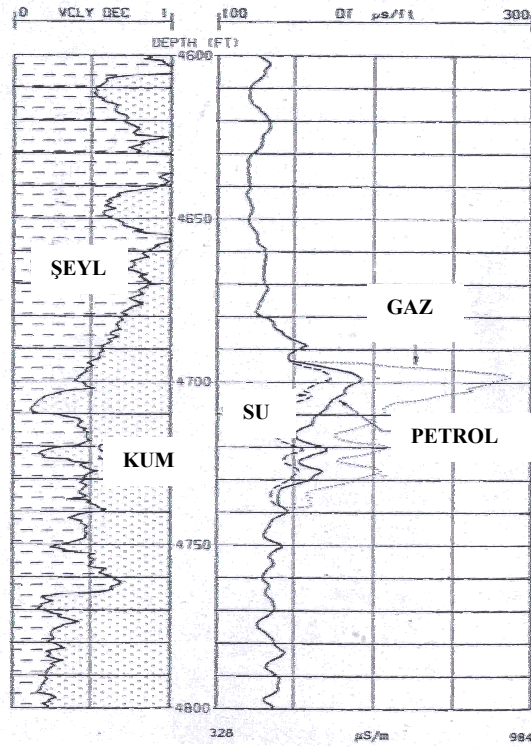
4.2.1 AVO Analizinde Kayaçların Petrofizik Özellikleri

AVO yönteminin ilgilendiği konu jeolojik birimleri yansılarda daha belirgin hale getirerek yeraltı modelini elde etmektir. AVO analizleri sismik kesitlerde azimutal açıya bağlı yansıma etkileriyle ilgilidir. Analizlerde yansıma genliklerinin açıya bağlı nasıl değiştiği gözlenir. Her ara yüzeyde meydana gelen yansımalar kayaç

özelliklerine göre değişir. Boşluklarında doğal gaz içeren bir kumtaşı ile su içeren bir kumtaşının yansıma ve iletim katsayıları ve ara yüzeydeki geliş açıları farklıdır. Farklı kayaçların açığa bağlı farklı genlik değişimleri yeraltı litolojisi, sıvı içeriği hakkında bilgi edinmeyi sağlar (**Castagna ve diğ., 1993**).

Gassman (1951)'nin yapmış olduğu çalışmalarda geliştirdiği denklemler hidrokarbon tespitinde önemli rol oynamıştır. Bu denklemler sayesinde P dalga hızındaki çok büyük ani düşüşler ve S dalga hızındaki küçük artışlar kumtaşı içinde bulunan doğal gazın varlığını işaret etmektedir. P dalga hızındaki bu büyük düşüşler P dalga yansıma katsayılarını da etkileyerek AVO anamolilerinde V_p/V_s oranında ani düşüş olarak görülmektedir. **Gassmann (1951)**'nin geliştirdiği bu denklemler, genellikle kumtaşı ve şeylden oluşan ortamlarda iyi sonuç vermektedir. Ancak bu denklemlerin uygulanabilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bunlar; kayaç gözeneklerinin makroskobik yapıda homojen olması, kayaçların taneli yapıda sıvı içeriği ile doygun olması, kayaçtaki boşlukların birbirlerine bağlı olması, sıvı basıncının kayacın her tarafına eşit dağılması, kayaçtan hiçbir şekilde içeri veya dışarı sıvı akışı olmaması şeklinde sıralanabilir.

Son yıllarda petrol aramaları için yapılan kuyu log çalışmalarında kayaçların petrofizik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Özellikle sonik log kayıtlarında gözlenen yüksek hız değişimi petrol ve doğal gazın tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 4. 9'da görüldüğü gibi şeyl ve kumdan oluşan bir jeolojik yapıda petrolün ve doğal gazın tespiti için sonik log kayıtlarındaki ani hız değişimleri olarak açıkça görülmektedir (**Castagna ve diğ., 1993**).



Şekil 4.9: Petrol ve doğal gaz araştırmaları için yapılan kuyu çalışmalarından Gassman çalışmalarına örnek sonik log kaydı (**Castagna ve diğ., 1993**).

Angerer ve Richgels (1990)'in yapmış oldukları çalışmalarda P ve S dalga hızını etkileyen birçok faktörün bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu faktörler kayacın minerolojik özellikleri, porozite, boşluklarındaki sıvı içeriği ile bulunduğu ortamın basınç-sıcaklık koşulları ve litifikasyon özellikleri olarak sıralanabilir. Gözeneklerin kayadaki dağılım şekli ve litifikasyon derecesi de bu faktörler arasında sayılabilir. Genellikle porozite, basınç, kayacın derinliği, litifikasyon V_p - V_s hızını önemli derecede etkiler. Bu faktörler göz önüne alınarak yapılan V_p - V_s ve V_p - ρ ilişkileri AVO analizlerinde kullanılarak yansıma katsayılarına geçiş sağlanabilmektedir.

4.2.3. AVO Analizine Hazırlıkta Veri-İşlem Aşamaları

Kayaçların petrofizik özellikleri hakkında bilgi sağlayan sismik izlerin genlik birgileri AVO analizleri için çok önemlidir. Bu nedenle sismik izlere uygulanan NMO düzeltmeleri, süzgeç uygulamaları ve benzeri veri işlem aşamalarında genlik bilgilerinin korunması ve sismik kesitlere doğru yansıtılması gerekmektedir. Model çalışmalarında sismik parametrelerin seçiminde P dalga hız verisinden yararlanılır (**Downton, 2000**). AVO analizlerinden önce sismik kesitlerdeki tekrarlı yansımalar, gürültü içeriği, geometrik saçılma ve atenüasyon gibi faktörlerin etkilerinin

giderilmesi gerekmektedir. Sismik kesitlerden bu etkilerin giderilmediği takdirde gürültü ve bozuk sinyaller gerçek yansımaları maskeleyerek yeraltı modeli hakkında yanlış parametreler ve yorumlamalara neden olur. Bu nedenle analizler ve modellemeler için farklı teknikler, veri işlem yöntemleri ve algoritmalar geliştirilmiştir.

Genel olarak AVO verilerinin yorumlanmasından önceki veri işlem aşamaları; ham veriden CDP ye geçiş, NMO düzeltmesi, ofsete bağlı yığma işlemi, P ve S dalgaları için yansıma katsayılarının hesaplanması, gradyan yığma işlemi ve son aşamada yansıma katsayılarının ofsete ve Poisson oranına göre çizimi şeklinde sıralanabilir (Resnick.,1988). Analizi yapılacak olan sismik yansıma verilerinde öncelikle verinin kalitesini arttırmak için gürültüden ayırmak daha sonra ofsete bağlı yansımaların bozulmasına meyil vermemek gerekir. Sismik yansımada AVO analizlerinden önce veri işlem aşamaları literatürde **Ostrander (1984)**, **YU (1985)**, **Todd (1986)**, **Dey Sarkar ve diğ. (1986)**, **Chiburis (1987)** tarafından farklı veri işlem sıralamaları oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalarda yeraltı yapısının eğimli ya da daha karmaşık olduğu durumlarda farklı veri işlem aşamaları geliştirilmiştir. Genellikle tüm AVO projelerinde yığma öncesi göç işlemi yapılmaktadır. **Smith ve Gidlow (1987)** tarafından geliştirilen ağırlıklandırılmış yığma tekniği yığma öncesi veri kaybına neden olan bir yöntem olsa da günümüzde hala kullanılmaktadır. Yöntemde doğrusal katsayılar şeklinde geliştirilen denklemlerde sıfır ofset için genellikle üç terimden sonrası yok sayılarak AVO eğimleri elde edilmektedir. Radon çeviri teknikleri de üst üste gelen tekrarlı yansımalar için çok kullanılan başka bir yöntem olmuştur (**Resnick, 1988**).

Sismik yansıma veri işlem çalışmaları genel olarak üç safhadan oluşur. Bunlar yığma öncesi, yığma ve yığma sonrası veri işlemleridir. Yığma öncesi veri işlemler genel olarak veriyi yığma işlemine hazırlamak ve sinyal/gürültü oranını artırma amacı ile çeşitli filtreleme uygulamalarını içermektedir. Yığma işlemi, belli geometrik düzeltme ile sismik yansıma verisinin sismik kesite dönüştürülmesi şeklinde tarif edilebilir. Yığmadan sonra kesitte geometriden dolayı ortaya çıkan bozuklukları kaldırmak ve kesiti derinlik ortamına çevirmek için migrasyon işlemi uygulanır. Sayılan bu işlemler sismik yansıma çalışmalarında standartlaşmıştır. Ham verinin bilgisayar ortamına aktarılmasından sonra uygulanan standart sismik yansıma veri işlem aşamaları aşağıda sıralandığı gibidir (**Özer, 2002**).

4.2.3.1. Süzgeç Uygulaması

Verilerin frekans içeriği sismik izler üzerinde belirli aralıklar boyunca Fourier analizi yapılarak incelenir. Ardından sinyali oluşturan baskın frekanslara ve gürültü içeren kısma bakılarak uygun süzgeç tipi, kesme frekansı, süzgeç boyu gibi parametrelere karar verilir. Gürültü içeriğine bağlı olarak veriye alçak geçişli, yüksek geçişli, bant geçişli veya çeltik süzgeçler uygulanabilir (<http://www.aug.geophys.ethz.ch>). AVO analizlerin genel olarak f-k süzgeci kullanılmaktadır. Bu süzgeç ile veri frekans ortamında işleme tabii tutularak gürültü elimine edilir.

4.2.3.2. Genlik Kazanımı

Yansıma sinyaline etki eden faktörler kullanılan sismik kaynağın gücü ve etkisi, küresel yayılma ve saçılma, ara yüzeylere ait yansıma katsayıları, kritik açıya bağlı olarak yansıma katsayılarının değişimi, soğurulma, ince yansıtıcılardan kaynaklanan peg-leg yansımaları, yansıtıcı yüzeyin özellikleri, farklı olayların girişiminden oluşan faktörler ve ortamda yayılan gürültülerin girişiminden oluşan etkiler olarak sıralanabilir. Homojen bir ortam söz konusu olduğunda, enerji yoğunluğu dalga cephesinin yarıçapının karesiyle ters orantılıdır. Benzer şekilde sismik dalganın genliği de enerji yoğunluğunun kareköküyle doğru orantılıdır. Derinlere inildikçe hız parametresindeki artışa rağmen bağıntılarında gösterilen ilişki kaynaklı olarak sismik dalgaların genliğinde önemli ölçüde düşüş gözlenmektedir. Bu etkilerin giderilmesi için genlik değerleri incelenerek gerekli kazanımlar sağlanır.

4.2.3.3. Bozuk Verilerin Ayıklanması (Editing)

Sismik verilerin toplanması esnasında kötü hava koşullarının etkisiyle aletsel donanımdaki arızalardan kaynaklanan bazı yüksek ya da düşük genlikli gürültüler veriye bozucu etki olarak katılırlar. Bunlara ek olarak alıcılardaki bağlantı hatasından kaynaklanan sismik izin ters polariteli kayıt edilmiş olması veriyi bozucu bir etki olarak katılabilir. Veriye katılmış bozuk sinyallerin verideki konumlarına göre sınıflandırılarak bir bölümünü ya da tamamını veriden ayıklanması gereklidir. Tüm veri gözden geçirildikten sonra sorunlu kısımlarda ayıklama yapılır.

4.2.3.4. Atış - Alıcı Statik Düzeltmesi

Statik düzeltmenin amacı, deniz yüzeyine göre farklı derinliklerde bulunan atış-alıcı düzeneklerinin belirlenen bir referans düzlemine indirgenmesidir. Özellikle kara sismiği çalışmalarında kullanılan bu düzeltme türünün, deniz sismiğinde

kullanılmasının amacı, deniz yüzeyine göre farklı derinliklerde çekilen atış-alıcı gruplarını deniz yüzeyine indirgemektir. Bu sayede atış-alıcı düzeneklerinin referans düzlemi olan deniz yüzeyine uzaklıklarının yarattığı zaman farkı giderilir.

4.2.3.5. Geometri Düzenini Oluşturulması

Atış düzeninden CDP düzenine geçilirken her atışın doğru yerinde tanıtılması önemlidir. Bu nedenle atış-alıcı geometrisinin doğru bir şekilde yerleştirilip tanımlanması gerekmektedir.

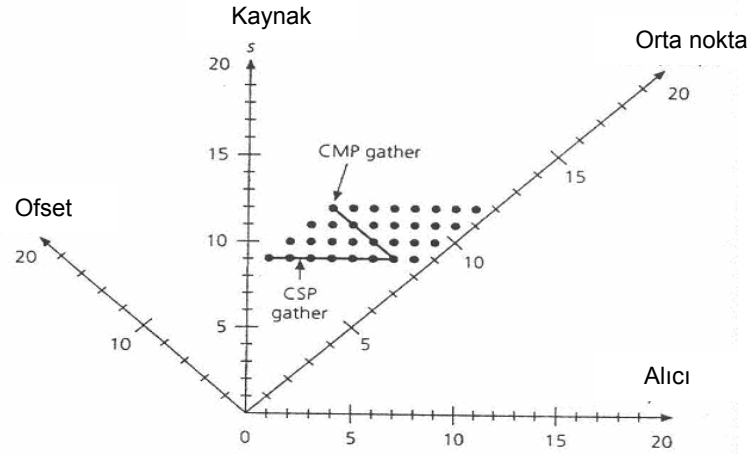
Verilerin toplanması sırasında tutulmuş olan gözlemci çizelgelerinin dikkatli bir biçimde incelenmesi varsa yapılmayan atışların, alınmayan kayıtların ve geminin navigasyon dosyasından kaynaklanabilecek hataların kontrol edilmesi ardından gerekli olan geometri bilgisine geçilebilir.

4.2.3.6. Dekonvolusyon

Dekonvolusyon; bir ters filtreleme işlemidir. Ancak pratikte, kaynağın yarattığı bir takım olayları bastırarak düşey ayrımlılığı artırmak ve yerin filtre etkisinden dolayı sismik izlerde bulunabilen küçük frekanslı istenmeyen olayları yok etmek için uygulanır. Bütün dekonvolusyon yöntemleri bir takım ön kabullerle yapılır ve uygulanan yöntemin sağlıklı sonuçlar vermesi bu ön kabullerin doğruluğuna bağlıdır.

4.2.3.7. Atış Düzeninde Ortak Yansıma Noktası Düzenine Geçilmesi (Sorting)

Her bir sismik izin atış-alıcı aralığının orta noktasına atanmasını ve böylece aynı noktada yansıyan izlerin bir araya toplanarak gruplanmasını sağlar. Yeraltında süreksizlik üzerinde bulunan bir noktadan, farklı atış-alıcı çiftleri kullanılarak birden fazla yansıma alınması ve yığma işlemi sayesinde bu yansımaların tek bir yansımaya indirgenmesiyle birlikte, sinyal/gürültü oranının yani veri kalitesinin artması sağlanır. Gruplanan veriler orta nokta topluluğunu oluştururlar. Eğer yeraltındaki tabakalar yataysa ve tabakalar içerisinde yanal hız değişimleri yoksa ortak nokta topluluğu ortak derinlik noktası topluluğuna eşdeğer hale gelir.



Şekil 4.10: Hat boyunca kaynak-alıcı, orta nokta ve ofset koordinatları arasındaki bağıntının iki boyutlu olarak gösterimi (<http://www.aug.geophys.ethz.ch>).

Yeraltındaki tek bir noktadan elde edilebilen yansıma sayısı sismik katlama sayısı olarak isimlendirilebilir. Katlama sayısını hesaplamayı sağlayan bağıntı k_s katlama sayısını göstermek üzere, k kanal sayısını, g grup aralığını ve a atış aralığını göstermektedir. Katlama sayısı denklem 4.8’ de verildiği gibidir.

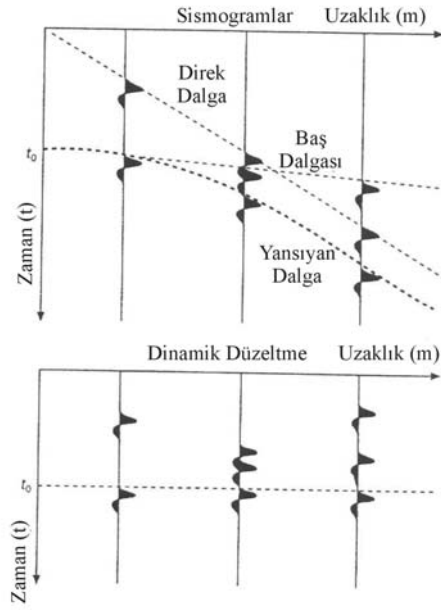
$$k_s = \frac{kg}{2a} \quad (4.8)$$

Katlama sayısının artması veri kalitesinin artması anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra sismik verinin toplanması sırasındaki maliyet de katlama sayısının artmasıyla birlikte büyümektedir. Yapılacak çalışmanın amacına bağlı olarak optimum düzeyde katlama sayısının belirlenmesi gerekmektedir.

4.2.3.8. Dinamik Düzeltme (NMO)

NMO düzeltmesinin uygulanma amacı, geometrik yerleri hiperbol olan sismik yansımaların gecikme zamanlarının giderilip, geometrik yerlerinin bir doğru boyunca tanımlanması ve böylece ofset kaynaklı zaman gecikmesinin giderilmesidir. Yansıma sinyali ve tekrarlı yansımaların birbirinden farklı olduğu bilinen zaman-uzaklık ilişkilerinden faydalanılarak gürültülerin bastırılması ve sinyal/gürültü oranının artırılması dinamik düzeltme ile sağlanabilir. Ofset etkisinin giderilerek sismik izlerin tümünün sıfır açılımına göre düzeltilebilmesi için gerekli olan NMO düzeltme

miktarı bağıntılar oluşturulmuştur. Bu uygulamanın en iyi biçimde yapılabilmesi aslında tabakaya ait dalga yayılım hızının en iyi biçimde kestirilebilmesi ile mümkündür.

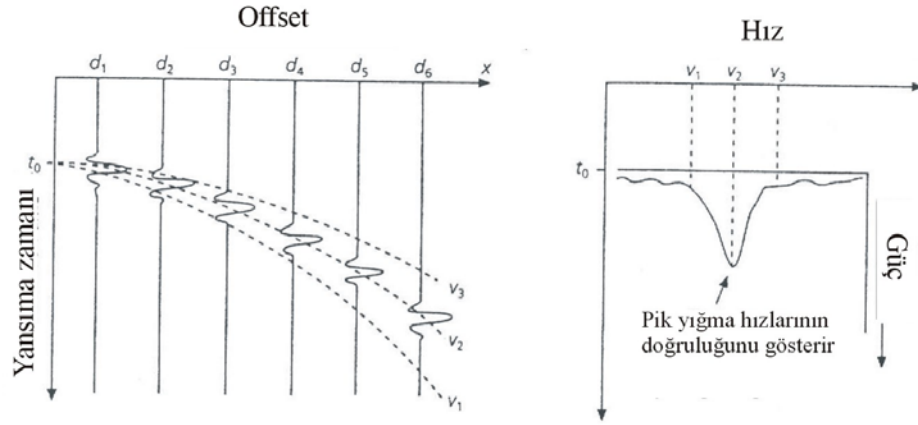


Şekil 4.11: Dinamik düzeltmenin şematik olarak gösterimi
(<http://www.aug.geophys.ethz.ch>).

4.2.3.9. Hız Analizi

Yeraltındaki tabakaların yerinin doğru olarak saptanması için doğru hızların belirlenebilmesi büyük önem taşır. Kayaç içerisinde ilerleyen sismik dalganın hızı, yerel jeoloji ve kayaç bileşimiyle ilişkilidir. Verilere hız analizinin yapılmasının bir kazancı yığma verilerinden elde edilecek kaliteyi yani sinyal/gürültü oranının arttırılmasıdır.

Hız analizi aşamasında CMP hiperbollerini ile model hiperboller karşılaştırılmaya çalışılarak doğru hızın kestirimi hedeflenir. Bu aşamada gerek tekrarlı yansımaların etkisi gerekse diğer sismik olaylar, gerçek yansımaların hızlarının seçilmesinde problem yaratabilmektedir. Bu noktada benzerlik fonksiyonundan yararlanılarak bu sorun giderilir. Şekil 4.12’de solda farklı ofset ve zaman aralıklarındaki hiperbollerin yığını, sağda yığma sonucu oluşan hız spektrumu gösterilmektedir.



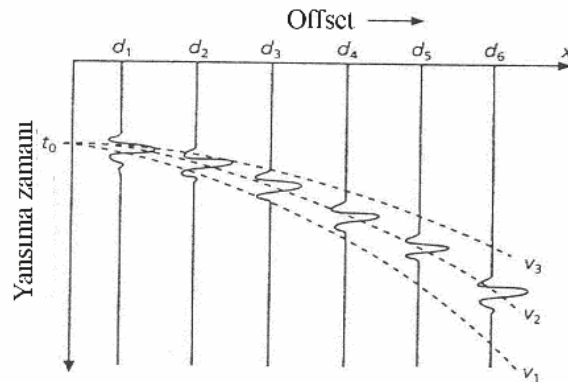
Şekil 4.12: CMP yığımının ve hız analizinin şematik olarak gösterimi.
(<http://www.aug.geophys.ethz.ch>).

Benzerlik fonksiyonu belirli zaman aralıkları boyunca sismik izdeki benzerliklerin hesaplanması sonucu oluşturulur. Yöntemde giriş-çıkış dalgasının enerjisi normalize edilir. Hesaplanan benzerlik katsayıları 0–1 değerleri arasında değişir. Değer 1'e eşit olduğunda bu iki sinyalin birbirinin aynısı olduğu anlamına gelir.

Benzerlik fonksiyonunun çizdirilip dikkate alınarak yapılan hız kestiriminden daha doğru sonuçlar elde edileceği kesindir. Her bir kesitin hız kestiriminin yapılması aşamasında benzerlik fonksiyonu dikkate alınmalıdır.
(<http://www.aug.geophys.ethz.ch>).

4.2.3.10. Yığıma İşlemi (Stacking)

Yığıma işlemi CMP verisinde aynı noktadan yansıdığı bilinen sismik izlerin üst üste toplanması anlamına gelmektedir. Yığıma kesitleri sinyal/gürültü oranının artırılması ve yanal süreksizliliğin belirginleşmesi açısından büyük önem taşır.



Şekil 4.13: CMP yığıma ve hız analizinin şematik gösterimi
(<http://www.aug.geophys.ethz.ch>).

Veri kalitesinin arttırılması yığma kesitinde temel olarak iki yolla mümkün olmaktadır. Bunlardan ilki üst üste toplanan sismik izlerde yer altı yapısı kaynaklı sinyalin kuvvetlenmesidir. Diğeri ise veride yer alan rasgele gürültülerin bastırılması ve tekrarlı yansımaların zayıflamasıdır. İşlem sonucu elde edilen yığma kesitinde yeraltındaki süreksizlikler ve devamlılıkları, yapısal unsurlar, yansıma sinyallerinin oluşturduğu seviyeler izlenebilir. Toplandığı hat boyunca yeraltındaki yapının iki boyutlu görüntüsünü tanımlayan bu kesitte derinlik eksenini zamandır.

4.2.3.11. Sismik Göç İşlemi (migration)

Göç işlemi yansımaların ve saçılmaların gerçek yerlerine taşınabilmesini sağlayan bir tür ters çözüm yöntemi olarak değerlendirilebilir. Yer içerisindeki eğimli yapıların gerçek yerlerinde görüntülenebilmesi, saçılmaların yok edilebilmesi ve jeolojik yapının ortaya çıkmasının sağlanabilmesi, yansıtıcı yüzeylerin devamlılığının ve eğiminin doğru olarak saptanabilmesinin yanı sıra Frensel Zon'un yarıçapının küçülmesiyle birlikte yanal çözünürlüğün arttırılmasında sismik göç işlemi hedefleri arasındadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında sismik veri-işlem yöntemleri arasında sismik göç işlemi önemli bir yer tutmaktadır. Tüm bu hedeflerden yola çıkılarak göç işleminin gerçekleştirilmesi için pek çok teknik geliştirilmiştir. Bu teknikler kullanılarak veriye yığma işlemi yapılmadan önce ve sonra uygulanabilir. Göç işlemi uygulamalarının sınıflandırılmasında esas olarak iki ana bölüm kullanılabilir. Bunlardan ilki veriye analitik yaklaşımda bulunan RMS (Root-mean square) hızlarının kullanıldığı ve tabaka yüzeyleri arasındaki ışın eğriliği ihmal edildiği zaman ortamında göç işlemidir. Diğeri ise interval hızları kullanarak ışın eğriliğini algoritmaya katarak çalışan derinlik migrasyonudur.

4.2.4. AVO Verisinin Modellenmesi Ve Yorumu

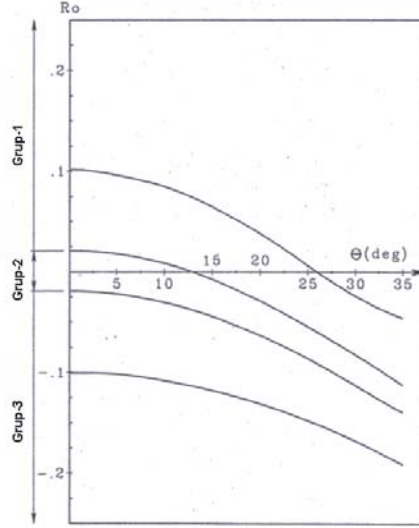
Arazi çalışmalarından kaydedilen sismik veriler geometrik saçılım, atış-alıcı dizilimi, tekrarlı yansımalar, atenüasyon ve gürültü gibi faktörlerden dolayı yeraltı yapısını tam olarak yansıtamamaktadır. Bu nedenle analiz işleminden önce ham veriye hazırlık anlamında veri işlem aşamalarının uygulanması gerekmektedir. AVO analizlerinde sismik verilerin kalitesi, güvenilirliği başarılı sonuç alınmasında önemli faktördür. Ara yüzeyden gelen yansımaları karmaşık yeraltı yapısı, sinyal kalitesi, veri toplama sırasında sinyallerde meydana gelen bozulmalar geliştirilen modelleme ve ters çözüm teknikleri ile tekrar çözülerek tüm bu etkilerin sismik kesitten gidermek mümkündür. Fakat veri işlem aşamalarında bazı riskler almak

kaçınılmazdır. Veri işlem sırasında gürültünün ve istenmeyen etkilerin sismik veri üzerindeki etkilerini gidermeye çalışırken gerçek verinin bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle AVO analizlerinden önceki aşamalarda yapılan işlemin veriyi nasıl etkileyeceği ve final kesitte veriden ne kadar kayıpla sonuçlanacağını belirlenmesi gerekir. Veri işlemin bu etkilerini en aza indirmek için veri işlem adımlarındaki tüm işlemleri ayrı ayrı belirlemek ve değerlendirmek gerekir.

Yeraltındaki çok ince tabakalardan kaynaklanan ve literatürde ‘thin bed tuning’ olarak geçen faktör genlik bilgilerini etkileyen önemli bir problemdir. Bu etki geliştirilen algoritmalar ile sismik kesitlerden giderilebilmektedir. Bununla birlikte genlikleri etkileyen faktörler arasında yüzeye yakınlık, atış-alıcı düzeneği, jeofon responsları, bölgesel tepkiler sıralamak mümkündür (**Castagna ve diğ.,1993**). Sinyal/gürültü oranı, ofset ve katlama sayıları, alıcıların kalibrasyonları, balansları problem çıkarabilecek diğer etkilerdir. Yerin karmaşık yapısından kaynaklanan tekrarlı yansımalar, geometrik saçılmalar ve difraksiyonlar sismik kesitlerde sıkça görülen etkilerdir. Tüm bu etkiler f-k süzgeçleri, dekonvolüsyon işlemleri ve bir dizi veri işlem teknikleri ile giderilebilmektedir. Litolojik bilgi içeren genlik değerlerini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan en önemlileri yansıma katsayılarıdır. Yansıma katsayıları hakkında doğru bilgi sağlandığı takdirde litoloji için kolay bilgiler sağlanmaktadır. Ancak ofsete bağlı genlik değişiminin izlenebilmesi için iletim katsayıları, tuning etkileri ve mode değişimleri hakkında doğru bilgi edinmek gerekir. Küresel saçılmada genlik bilgisine etki eden faktörler arasındadır. Bu etkiyi gidermek için hızın sabit olduğu ya da derinlikle değiştiği ortamlarda düzeltme katsayısı kullanılarak küresel divergence giderilir. Bu denklemler sıfır ofset ve farklı geliş açıları için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

AVO analizlerinde doğal gaz içeren sedimanlarda V_p/V_s oranı çevresindeki diğer jeolojik birimlere göre daha düşük empedansa sahiptirler. **Rutherford ve Williams (1989)** AVO anamolilerinde 3 tip doğal gaz anamolisi tariflemiştir. Bunlardan 1. gruptakilerin P dalgası yansıma katsayıları güçlü pozitif yansımalar şeklinde olurken artan ofsetle genliklerde belirgin bir düşüş gözlenmektedir. Ayrıca uzak ofsetler için faz değişimi de görülür. 2. grupta P dalga yansıma katsayıları AVO anamolilerinde çok geniş bir yüzdede değişim gösterirken sıfır ofset için yakın ofsetlerde faz değişimi gözlenir. 3. grup AVO anamolilerinde geniş negatif yansıma katsayıları ofset artışına bağlı olarak artar. Genel anlamda doğal gaz anamolileri için gözlenen

AVO anamolisi artan ofsete bağılı olarak negatif yansıma katsayıları şeklindedir. Şekil 4.14’de sözü edilen gruplamalara ait yansıma katsayıları şeyl için poisson oranı 0.38 yoğunluk 2,4 gm/cc, kum içerisindeki doğal gaz için poisson oranı 0.15 ve yoğunluk 2.0 gr/cc değerleri dikkate alınarak açığa bağılı olarak çizilmiştir.



Şekil 4.14: Zoeppritz yansıma katsayıları şeyl üzerindeki kum birimlerine örnek Rp değerlerinin dağılımı (**Rutherford ve Williams, 1989**).

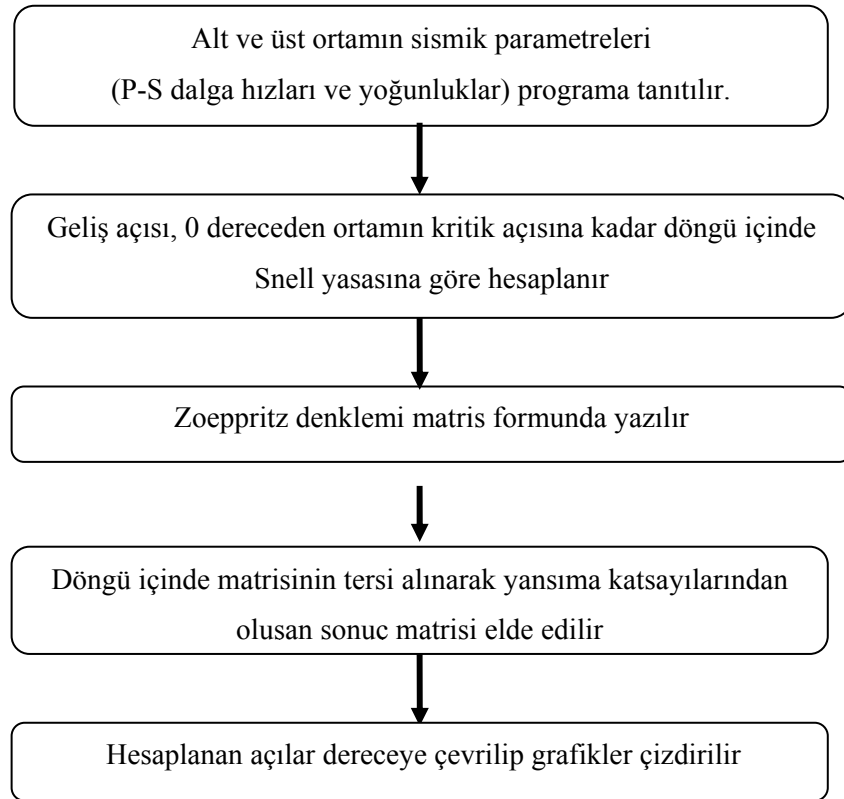
4.2.5. AVO Verisinin MATLAB Programında Modellenmesi

Hidrokarbon aramalarında elastik parametrelerin kestiriminden önce yeraltı yapısının özelliklerin en iyi şekilde tariflemek gerekmektedir. Elastik parametreler P dalga hızı, S dalga hızı ve ortamın yoğunluğu şeklinde sıralanabilirken kayaç özellikleri ve sıvı akışkanlığı gibi özellikleri kesin hatlarla belirlemek mümkün değildir.

Bu nedenle bu parametreleri belirlemek ve yerin jeolojik yapısı hakkında doğru yorum yapabilmek için modelleme yaparak çözüm teknikleri geliştirilmiştir. AVO analizleri ile elastik parametrelerin belirlenmesi ve kayaç özelliklerinin tahmini için ters ve düz çözüm için modelleme yapılabilir.

Düz çözümde verilen bir matematik modele ait parametre kümesi için tek bir çözüm vardır. Düz çözüm yönteminde farklı yeraltı modelleri için belirlenen ortam parametrelerinden yansıma katsayıları hesaplanarak ofsete bağılı ya da geliş açısına bağılı teorik grafikler oluşturulur. Bu teorik grafikler veri grafikleriyle karşılaştırılır ve sismik verilerde yeraltının fiziksel parametrelerine ait yorumlamalar yapılabilir. Tez aşamasında uygulanan düz çözüm yöntemi için MATLAB yazılımı altında çalışılan bir modelleme yazılımı yani düz çözüm programı geliştirilmiştir. Sismik yansıma katsayılarını hesaplamak için Zoeppritz denklemleri ve Snell Yasası

MATLAB programına aktararak yansıma katsayıları için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplanan yansıma ve iletim katsayıları, geliş açısının bir fonksiyonu olarak ifade edilmiş ve grafikler çizdirilmiştir. Geliş açısı 0^0 'den ortamın kritik açısına kadar 10^0 artımlarla P ve S dalgaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kullanılan farklı model parametreleri ile modeli en iyi temsil eden yansıma katsayısı serisi bulunarak gözlemsel veri ile karşılaştırılmıştır. Böylece ortamın P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunlukları belirlenerek yeraltı yapısına ait yorumlar yapılmaya çalışılmıştır. MATLAB yazılımı altında çalışılan düz çözüm modelleme yazılımını kısaca gösteren akış diyagramı Şekil 4.15'de, yazılan kodlar Ek A'da açıklamaları ile verilmiştir.



Şekil 4.15: MATLAB yazılımı altında çalışılan düz çözüm modelleme yazılımını kısaca gösteren akış diyagramı.

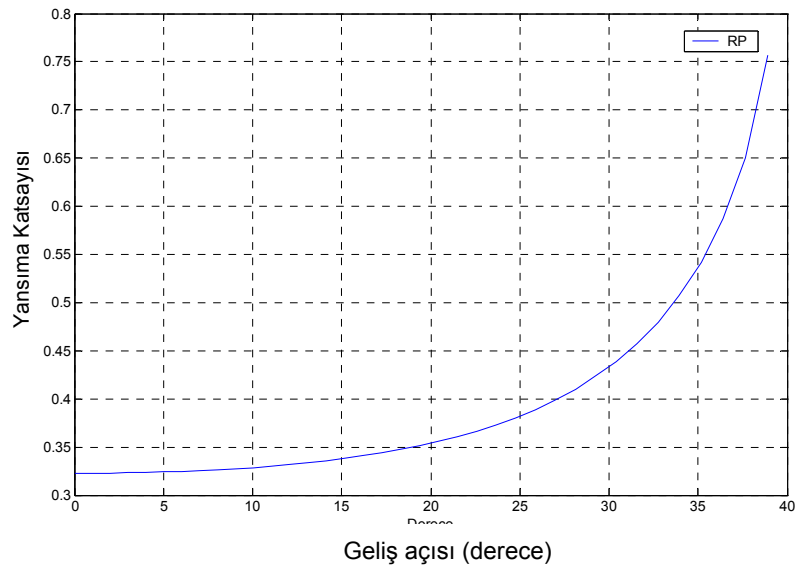
MATLAB programında iki tabakalı bir ortam için 3 farklı yer altı modeli oluşturulmuştur. Bu modellerde üstte genç örtü kayacı olarak kil, altta ise kumtaşı uygun görülmüştür. Modellerde üst ortamın yani örtü kayacın sismik parametrelerine aynı değerler verilmiş, alt ortamın yani kumtaşının suya doymuş, gaz hidrata doymuş ve gaza doymuş halleri olmak üzere sismik parametreleri değiştirilmiştir. Oluşturulan 3 farklı modelin sismik parametreleri Karadeniz'de Akçakoca-Kurucaşile arasındaki

bölgenin jeolojik özellikleri dikkate alınarak seçilmiştir. MATLAB programında seçilen parametreler ve geliş açıları girdi olarak yazılarak P dalga hızına ait yansım katsayısı serisi hesaplanmıştır. Oluşturulan grafiklerde x-ekseni 0 dereceden başlamak üzere ortamın kritik açısına bağlı olarak derece, y eksenine ise yansım katsayı değerleridir. Yansım katsayısının açıya bağlı olarak değişiminin 3 modelde de farklı olduğu görülmüştür. Buna göre sadece suya doymun kumtaşında yansım katsayı değerlerinin ortamda gaz hidrat veya doğal gaz bulunması durumunda nasıl değiştiği açıkça gözlenebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan modellerden Model 1 olarak isimlendirilen model; üstte örtü kayacı kil, altta ise suya doymun kumtaşı şeklindedir. Modele ait sismik parametreler Tablo 4.1’de ve oluşturulan grafik Şekil 4.16’da verildiği gibidir.

Tablo 4.1: Model 1’e ait sismik parametreler.

MODEL 1	P dalga hızı m/sn	S dalga hızı m/sn	Yoğunluk g/cm³
Üst ortam (Kil)	1600	450	2
Alt ortam (Suya Doymun Kumtaşı)	2500	600	2,5



Örtü katmanı (kil)	V_{p1}, V_{s1}, ρ_1
Suya doymun Kumtaşı	V_{p2}, V_{s2}, ρ_2

Şekil 4.16: MATLAB programında oluşturulan Model 1 ve modele ait yansım katsayısı-geliş açısı grafiği. V_{p1} , V_{s1} , ρ_1 sırasıyla kilin P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğudur. V_{p2} , V_{s2} , ρ_2 sırasıyla suya doymun kumtaşının P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğudur.

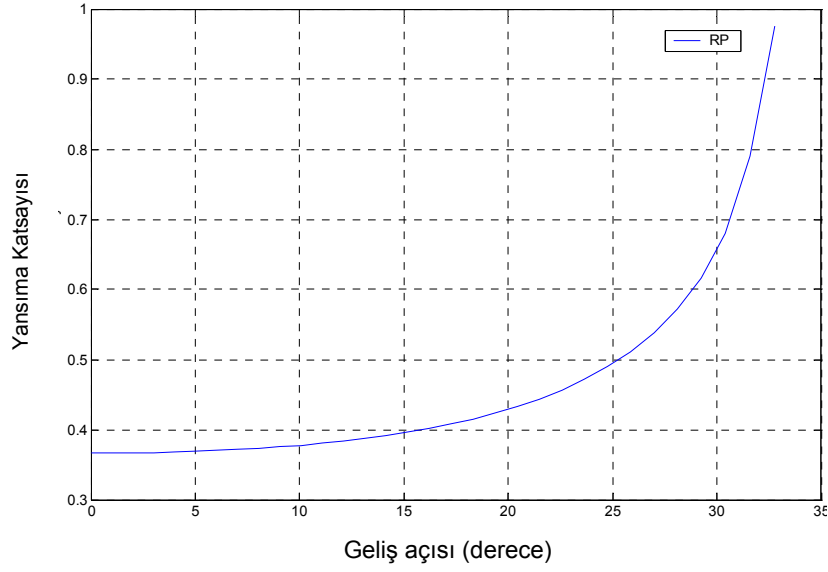
Şekil 4.16’da görüldüğü gibi Model 1’de ortamda kumtaşının suya doygun olması durumunda yansıma katsayıları her zaman pozitif ve artan değerler almaktadır. Yansıma katsayısının en yüksek değeri yaklaşık 0,76’dır. Hesaplanan yansıma katsayıları kritik açıdan sonra karmaşık sayı haline dönüştüğünden gerekli hesaplamalar ortamın kritik açıya kadar yapılmıştır.

Model 2’de ise üst ortam olarak seçilen örtü katmanını kile ait parametreler değiştirilmeden kumtaşının gaz hidrata doygun hali düşünülerek ilgili sismik parametreler seçilmiş ve yansıma katsayıları hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi gaz hidrat içinde bulunduğu kayacın sismik parametrelerini değiştirmektedir. Gaz hidrat, bulunduğu kayacın P dalga ve S dalga hızını arttırırken ve yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük olduğu için kayacın yoğunluğunu düşürecektir. Buna göre kumtaşında gaz hidrat bulunması durumunda P dalga hızı kumtaşının suya doygun halinden daha fazla olacaktır ve yoğunluğu da suya doygun halinden daha az olacaktır. Bu özellikler dikkate alınarak Model 2’ye ait seçilen sismik parametreler Tablo 4.2’de ve oluşturulan grafik ise Şekil 4.17’de verildiği gibidir.

Tablo 4.2: Model 2’ye ait sismik parametreler.

MODEL 2	P dalga hızı m/sn	S dalga hızı m/sn	Yoğunluk g/cm³
Üst ortam (Kil)	1600	450	2
Alt ortam(Gaz Hidrata Doygun Kumtaşı)	3000	700	2,3

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi kayaçta gaz hidrat bulunduğu takdirde yansıma katsayıları artan ve pozitif değerler almaktadır. Model 2’ye ait yansıma katsayılarının değişimi Model 1’e göre daha hızlı artan ve büyük pozitif değerler şeklindedir. Ayrıca Model 1’de en büyük yansıma katsayı değeri yaklaşık 0,76 iken Model 2’de bu değer yaklaşık 0,97 değerinde görülmektedir. Bu da kumtaşında gaz hidrat bulunması durumunda açıya bağlı olarak yansıma katsayılarında belirgin bir artışa sebep olduğu açıkça görülmektedir.



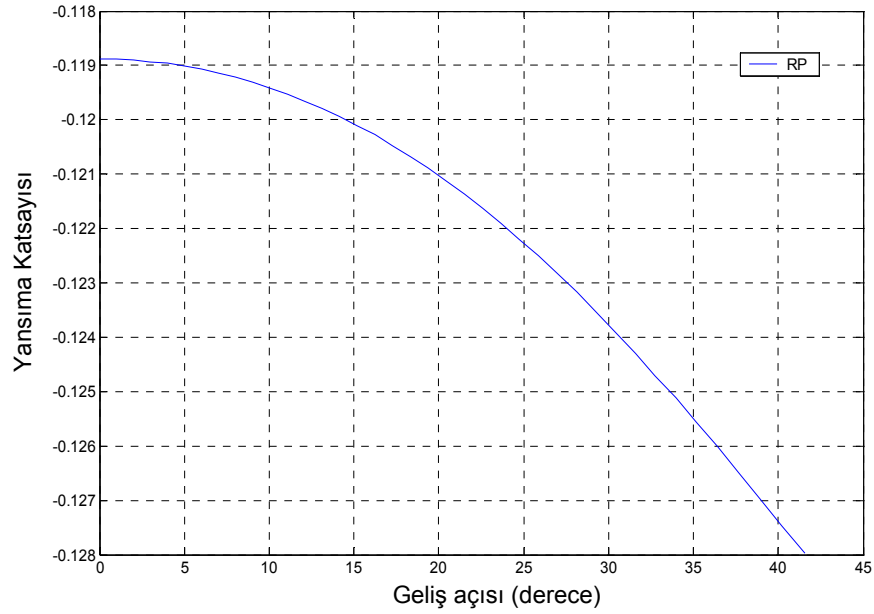
Örtü katmanı (kil)	V_{p1}, V_{s1}, ρ_1
Gaz hidrata doymun Kumtaşı	V_{p2}, V_{s2}, ρ_2

Şekil 4.17: MATLAB programında oluşturulan Model 2 ve modele ait yansıma katsayısı-geliş açısı grafiği. V_{p1}, V_{s1}, ρ_1 sırasıyla kilin P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğudur. V_{p2}, V_{s2}, ρ_2 sırasıyla gaz hidrata doymun kumtaşının P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğudur.

Model 3’de üst ortam olarak seçilen örtü katmanı kile ait parametreler değiştirilmeden kumtaşının gaza doymun hali düşünülerek ilgili sismik parametreler seçilmiş ve yansıma katsayıları hesaplanmıştır. Bilindiği gibi hidrokarbon aramalarında ortamda doğal gaz bulunması durumunda ortamın sismik hızı ve yoğunluğu belirgin bir şekilde düşer. AVO analizleri için oluşturulan grafiklerde doğal gazın varlığı P dalga hızında artan ofsetle ani büyük düşüşler ve yansıma katsayılarında ise artan büyük negatif polariteli genlikler şeklinde görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda doğal gazın ortamın sismik hızını ve yoğunluğunu düşürdüğünden Model 3’e ait sismik parametrelerin seçiminde sismik dalga hızları ve ortamın yoğunluğu suya doymun kumtaşına göre daha düşük seçilmiştir. Bu özellikler dikkate alınarak Model 3’e ait sismik parametreler Tablo 4.3’de ve oluşturulan grafik ise Şekil 4.18’de verildiği gibidir.

Tablo 4.3: Model 3'e ait sismik parametreler.

MODEL 3	P dalga hızı m/sn	S dalga hızı m/sn	Yoğunluk g/cm ³
Üst ortam (Kil)	1600	450	2
Alt ortam (Gaza Doygun Kumtaşı)	1200	300	2,1



Örtü katmanı (kil)	V_{p1}, V_{s1}, ρ_1
Gaza doymun Kumtaşı	V_{p2}, V_{s2}, ρ_2

Şekil 4.18: MATLAB programında oluşturulan Model 3 ve modele ait yansıma katsayısı-geliş açısı grafiği. V_{p1}, V_{s1}, ρ_1 sırasıyla kilin P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğudur. V_{p2}, V_{s2}, ρ_2 sırasıyla gaza doymun kumtaşının P dalga hızı, S dalga hızı ve yoğunluğudur.

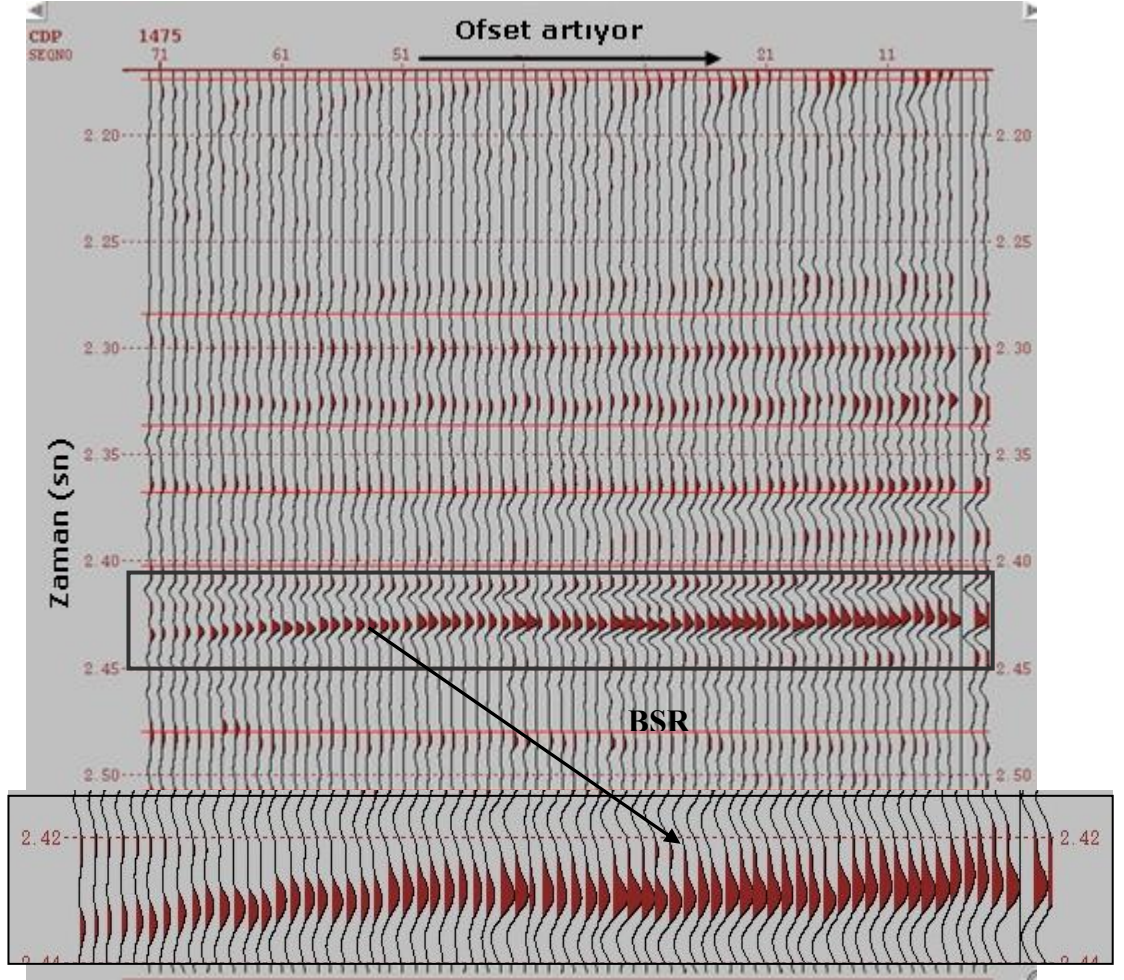
Şekil 4.18'de görüldüğü gibi ortamda doğal gaz olması durumunda yansıma katsayıları büyük negatif genlikli değerler almaktadır. Kumtaşının gaza doymun durumunda artan açı değerlerine bağlı olarak negatif artan yansıma katsayıları değerlerinden oluşun bir anamoli görülmektedir. Model 3'deki serbest gaz içeriğine ait grafikler teorik grafiklerle karşılaştırıldığında hidrokarbon aramalarında gazın varlığını gösteren anamoli olduğu görülmektedir. Buna göre Model 1'de yani suya doymun durumundaki kumtaşında, bilindiği gibi yansıma katsayıları pozitif ve artan değerler alırken ortam da gaz olması durumunda negatif genlikli bir anamolinin olması şüphesiz beklenen bir sonuçtur. Tez çalışmasında uygulanan düz çözüm yöntemi için MATLAB yazılımı altında çalışılan düz çözüm programına ait sonuçlar

değerlendirilecek olunursa 3 farklı model için hesaplanan yansıma katsayı değerleri üst ortam değişmemek şartıyla kumtaşının suya doymun, gaz hidrata doymun ve doğal gaza doymun durumlarında farklı anamoliler verdiği görülmektedir. Tez çalışmasında yapılan düz çözüm modellemeler, literatürde hidrokarbon aramalarında bahsedilen AVO anamolileriyle benzerlik göstermektedir. Oluşturulan farklı model grafiklerinde yansıma katsayılarının açıya bağlı olarak belirgin bir şekilde değişiminin açıkça görülmesi yöntemin gaz hidratların veya doğal gazın sismik yöntemlerle yerinin tespitinde iyi sonuç verdiğinin ve kullanılabilir olduğunun bir göstergesidir.

4.2.6. AVO Analizinde Super Gather Oluşturulması

Tez kapsamında 07 numaralı hatta ait sismik kesitte BSR seviyelerini ve AVO anamolisini daha iyi görmek amacıyla Disco/Focus programında interaktif olarak hatta ait CDP verilerini kullanarak literatürde “super gather” olarak geçen işlem gerçekleştirilmiştir. Verinin sismik toplama parametreleri bilindiğinden 07 numaralı hatta ait CDP verilerine ait bilgiler interaktif pencerede tanıtılarak kesite ait izler ve genlik bilgileri görüntülenebilmiş ve AVO anamolisi elde edilmiştir. 07 numaralı hattın yığma kesitinde yaklaşık 2,4 sn seviyelerinde görülen BSR seviyesi super gather işlemi sonucunda elde edilen sismik izlerde daha belirgin şekilde görülebilmektedir. Sismik veri gruplarında tek bir noktadan yansıyan yansıma sayısı, katlanma sayısı ks olarak adlandırılır. Bu sayı denklem 4.8’de verilmektedir.

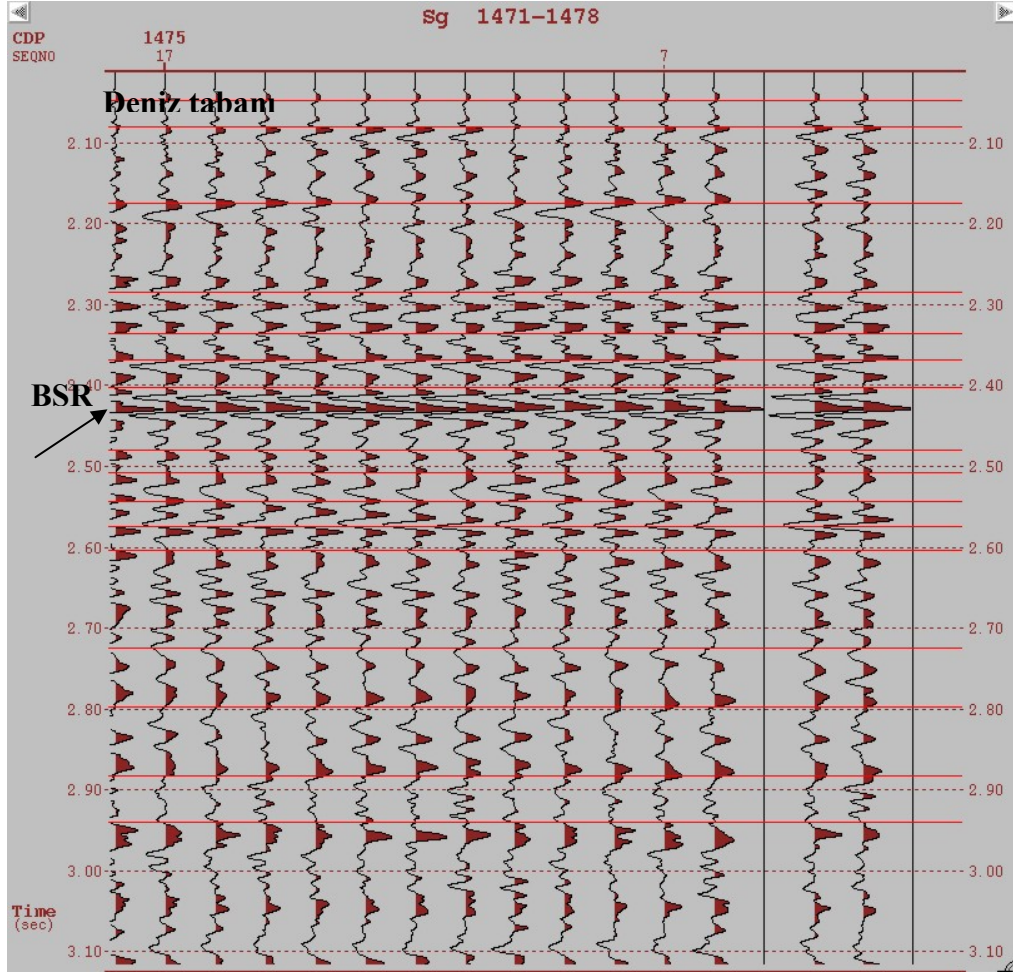
Bu durumda çalışmada kullanılan veri toplama parametrelerine göre (Tablo 1.1) ks değeri 9 olarak elde edilmektedir. S/G oranında katlanma sayısının karekökü kadar bir iyileşme sağlanır. Bu bilgiler doğrultusunda kanal sayısının katlama sayısına oranı 8 olduğundan “Super gather” terimine göre her 8 CDP grubunda bir ya da herhangi 8 CDP grubu alındığında tüm ofsetler mevcuttur. Buna göre en küçük ofsetten en büyük ofsete kadar genlik değişimi izlenebilir. Disco Focus programında verinin tanıtılmasından sonra interaktif olarak super gather işlemi yapılarak Şekil 4.19’da 07 numaralı hatta ait AVO anamolisi elde edilmiştir. BSR seviyesine ait ofsete bağlı genlik değişimini örnekleme açısından en iyi gösteren CDP grubu olarak 1471–1478 seçilmiştir.



Şekil 4.19: BSR seviyesinin 07 numaralı hatta super gather işlemi sonucunda 1471–1478 CDP grubunda AVO anamolisi olarak görünümü.

Şekilde 4.19’da görüldüğü üzere 2,40 -2,45 sn aralığında sismik izlere ait genlikler artan ofsete bağlı olarak belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu da diğer bölümlerde de sözü edilen ve yığma kesitlerde görülen BSR seviyesiyle aynıdır. Buna göre yöntemin BSR seviyelerine bağlı olarak genliklerdeki değişimi gözlemede başarılı sonuçlar verdiği açıkça söylenebilir.

Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi BSR hidrat varlığını işaret eden en önemli kanıttır. Bu nedenle gaz hidrat içeren ve gaz içeren iki ortam arasında akustik empedans farkından dolayı sismik yansıma kesitlerinde genellikle yüksek genlikli ve negatif polariteli genlikler olarak görülmektedir. BSR içeren seviye sınırından geçen yüksek genlikli yansımalar deniz tabanından itibaren Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20: BSR seviyesinin 07 numaralı hatta deniz tabanından itibaren yüksek genliklerin görünümü.

4.2.7. AVO Sismik İz Nitelikleri Analizi

Hidrokarbon aramalarında rezervuarın tespitinde yararlı olan AVO sismik iz nitelikleri analizi geliştirilen bilgisayar programlarıyla hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu analizde gerekli modüller kullanılarak farklı sismik kesitler elde edilmektedir. Tez çalışmasında Disco Focus programı kullanılarak ANGATTR (angular attribute) açısal nitelik modülü ve ANGSTK (angular stack) açısal yığma modülü ile gerekli dosyalar hazırlanarak 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti elde edilmiştir.

Disco Focus programındaki ANGATTR ve ANGSTK modülü AVO analizleri için yapılan Shuey yaklaşımındaki teoriye uygun modüllerdir. Bilindiği gibi Shuey (1985) yaklaşımında genlik değerleri $\sin^2\theta$ 'nın fonksiyonu olmak üzere işaretlenerek genlik dağılımını en iyi temsil eden doğru seçilmektedir. Bu doğrunun y-eksenini (yansıma genliklerinin olduğu eksen) kestiği nokta Normal Gelen P (NIP) ya da AVO kesme olarak, x-ekseni ise gradyan olarak adlandırılır. NIP normal geliş

yansımasının bir ölçümünü, gradyan ise genliğin ofsete bağlı değişimini gösterir. Disco Focus programında ANGSTK modülü ile hazırlanan dosyada 07 numaralı hat için bir hız modeli tanımlanarak CDP düzeninde işlem gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra ANGATTR modülü kullanılarak açısız iz nitelikleri oluşturulmuştur. Bu işlem sonucunda sismik kesitte her CDP için sıfır ofset yani Pdalga hızı, S dalga hızı, Poisson oranı gibi sismik parametrelere ait izler oluşturmaktadır. Bu izler tekrar yığma işlemine tabii tutularak sismik kesitler elde edilir. Şekil 4.21’de BSR seviyesi sığ kesimde görüldüğü için ANGSTK modülü ile hazırlanan dosyada uygun CDP aralıklarında sabit hız modeli tanımlanmıştır. Daha sonra Şekil 4.22’de teoride de anlatıldığı gibi en küçük kareler yönteminin kullanıldığı ANGATTR modülü ile dosya hazırlanmıştır.

```
*job gashidrtline07 mine avo stack
*call dskrd /disk14/mine/bartin-gashidrat/cdp07-gain.dsk
ensemble cdp
85 3285
**-----
*call angstk 85 3285 1 6.25 20 line07
raytrc 200
anggrp 2 20 8 12
trange 1500 3500
**-----
*call dskwrt /disk14/mine/bartin-gashidrat/angstk07.dsk
*end
```

Şekil 4.21: 07 numaralı hatta ait ANGSTK modülü ile hazırlanan dosya.

```
*job gashidrtline07 mine avo stack
*call dskrd /disk14/mine/bartin-gashidrat/angstk07.dsk
**-----
*call angattr
genpar lstsqe
filter filter filter 34
**-----
*call dskwrt /disk14/mine/bartin-gashidrat/avoattr07.dsk
*end
```

Şekil 4.22: 07 numaralı hatta ait ANGATTR modülü ile hazırlanan dosya.

Hazırlanan bu iki dosya sonrasında sıfır ofset kesiti için oluşturulan izlerden ilki seçilerek yığma dosyası yazılmıştır. Hazırlanan dosya Şekil 4.23’de gösterildiği gibidir.

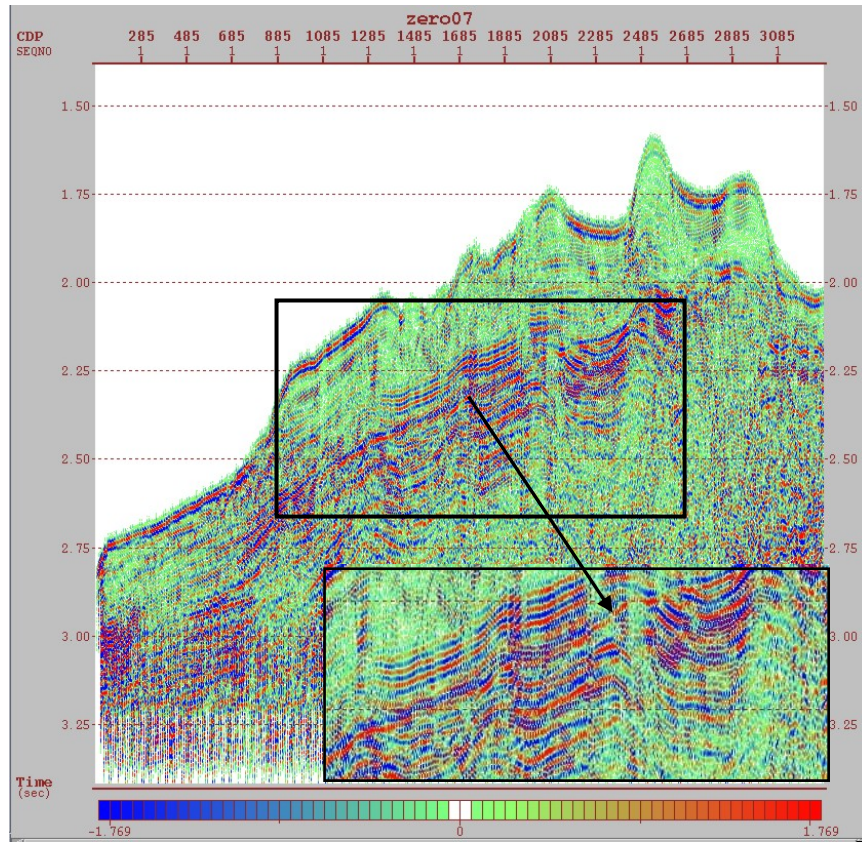
```

*JOB   gashidrtline07  mine   AVO Attribute Section
*call  dskrd   /disk14/mine/bartın-gashidrat/avoattr07.dsk
**-----**
*call  stack   1
*****
*call  dskwrt  /disk14/mine/bartın-gashidrat/zero07.dsk
*end

```

Şekil 4.23: 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti için hazırlanan yığma dosyası.

Tez çalışmasında gerekli modüller kullanılarak 07 numaralı hatta sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Teoride de anlatıldığı üzere AVO kesme zamanındaki değerler yoğunluk ve hız bilgileri içerdiği için oluşan sıfır ofset kesiti P dalgasına ait empedans kesiti olarak da değerlendirilebilir. Şekil 4.24’de 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti görülmektedir. Sismik kesitte de görüldüğü üzere BSR seviyeleri daha belirginleşirken deniz tabanındaki sedimanter kayaçların kıvrımları ve fayların yerleri daha çok ortaya çıkmıştır. Buna göre AVO sismik iz nitelikleri analizi için 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesitinde BSR seviyesi daha net görüldüğü için yöntem hidrokarbon aramalarında kullanılabilir bir yöntem olabildiği söylenebilir.



Şekil 4.24: 07 Numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

4.3. Sismik İz Nitelikleri Analizi

Sismik iz nitelikleri analizlerinin ilk defa 1970 yıllarında sismik kesitlerin yorumlanmasında önemli yarar sağladığı anlaşılmış ve özellikle hidrokarbon rezervlerinin tespitinde sıkça kullanılan bir yöntem olmuştur. Günümüzde halen kullanılmakta olan sismik veriden elde edilen bu nitelik analizleri; yeraltının jeolojik yapısı, stratigrafisi, kayacın gözenek ve sıvı içeriği hakkında yorumlamada önemli bilgiler sağlamaktadır. Sismik iz nitelikleri, geliştirilen bilgisayar programları sayesinde çok hızlı yapılabilmektedir. Bu programlar sayesinde yapılan analizler hidrokarbon rezervlerinin belirtisi olarak görülen güçlü genlik değerlerinin tespitinde önemli rol oynamaktadır. Günümüzde geliştirilen modüllerle sismik iz nitelikleri renklendirilerek yorumlamada kolaylık sağlamaktadır. Tez çalışmasında Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile arasındaki bölgede alınan sismik ölçülerden 07 ve 14 numaralı hatlarda BSR seviyelerinin görüldüğü alanlara Disco Focus programında karmaşık sismik iz nitelikleri analizi ve AVO sismik iz nitelikleri analizi yapılmıştır. Karmaşık sismik iz nitelikleri analizlerinde yansıma gücü, anlık frekans, anlık faz, fazın kosinüsü ve fazın sinüsü olmak üzere 5 adet sismik iz nitelikleri kesitleri oluşturulmuştur. Bu sismik kesitlerde BSR seviyeleri yorumlanmaya çalışılmıştır. AVO sismik iz nitelikleri analizinde ise Disco Focus programında gerekli modüller kullanılarak 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Elde edilen kesitler yığma kesitlerle karşılaştırılarak yorumlar yapılmıştır.

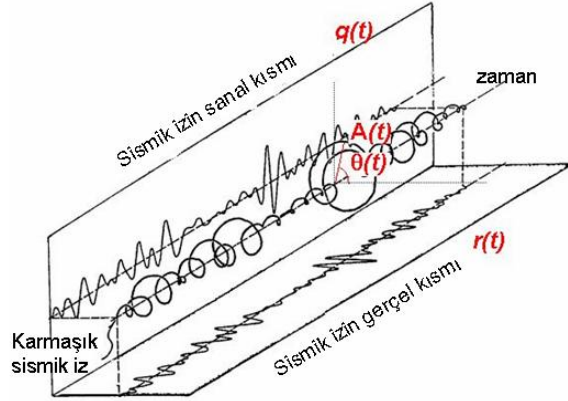
4.3.1. Karmaşık Sismik İz Nitelikleri Analizi

Karmaşık sismik iz nitelikleri analizleri günümüzde sismik kesitlerin yorumlanmasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu nitelikler analitik sinyal özelliklerine bağlıdır. Analitik sinyaller Hilbert dönüşümü ile hesaplanan sinyallerdir. Sismik iz nitelikleri analizi için farklı niteliklerinin incelenmesinden oluşmaktadır. Denklem 4.9’da sismik izin gerçel ve sanal bileşenleri cinsinden ifade edilişi gösterilmiştir. Sismik iz $x(t)$ olmak üzere denklemde $r(t)$ sismik izin sanal kısmını, $q(t)$ sismik izin gerçel kısmını göstermektedir.

$$x(t) = r(t) + q(t) \quad (4.9)$$

Karmaşık sismik iz nitelikleri analizleri 07 ve 14 numaralı hatlara ait sismik kesitlerde tahmin edilen BSR seviyelerin olduğu alanlara uygulanmıştır. Bu analizde yansıma gücü, frekans, anlık faz, fazın cosinüsü ve fazın sinüsü olmak üzere 5 adet

sismik iz nitelikleri kesitleri oluşturulmuştur. Şekil 4.25’de karmaşık sismik iz görünümü ve bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 4.25: Sismik izin gösterimi. $A(t)$ yansıma gücü, $q(t)$ sismik izin sanal kısmı, $r(t)$ sismik izin gerçel kısmı ve $\theta(t)$ ise sismik izin fazını göstermektedir (Taner ve diğ., 1979).

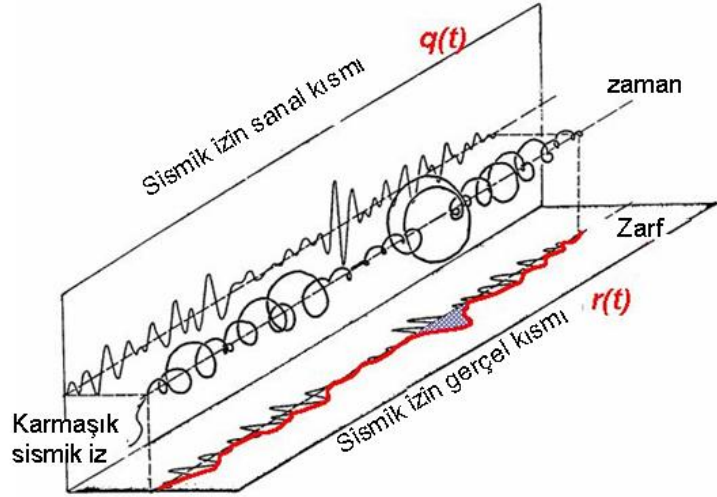
En çok kullanılan sismik iz niteliği yansıma gücü, anlık faz, anlık frekansıdır. Bilindiği gibi bir sismik iz gerçel ve sanal kısım olmak üzere karmaşık sayılarla ifade edilebilir. Sismik kayıtlardan okunan gerçel kısmının Hilbert dönüşümü kullanılarak sanal kısmı elde edilir. Bu dönüşüm sonucunda yansıma gücü, faz ve frekans değerleri matematiksel ifadelerle hesaplanabilir. Geliştirilen programlarla sismik iz nitelikleri analizlerine ait kesitler elde edilirken gerekli modüller kullanılarak renklendirme yapıldığında yeraltı yapısına ait yorumlar daha kolay yapılabilir.

4.3.1.1. Yansıma Gücü

Yansıma gücü sismik iz nitelikleri sismik izin genlik zarfına ait bilgiyi taşır. Bu nitelik sayesinde yansıma seviyeleri daha belirginleşerek yorumlamaya yardımcı olur. Yansıma gücü anlık fazdan bağımsızdır. Yansıma seviyesinden gelen en güçlü yansıma sismik dalganın en büyük tepe veya çanak yaptığı yerden gelebilir. Sismik izin yansıma gücü niteliği incelenerek litolojik değişimler, hidrokarbon rezervlerinin tespitindeki önemli kanıtlardan biri olan parlak noktalar belirlenebilirken ince yataklanmadan dolayı oluşan bozucu etkiler göz ardı edilerek inceleme yapılabilir (Taner ve diğ., 1979).

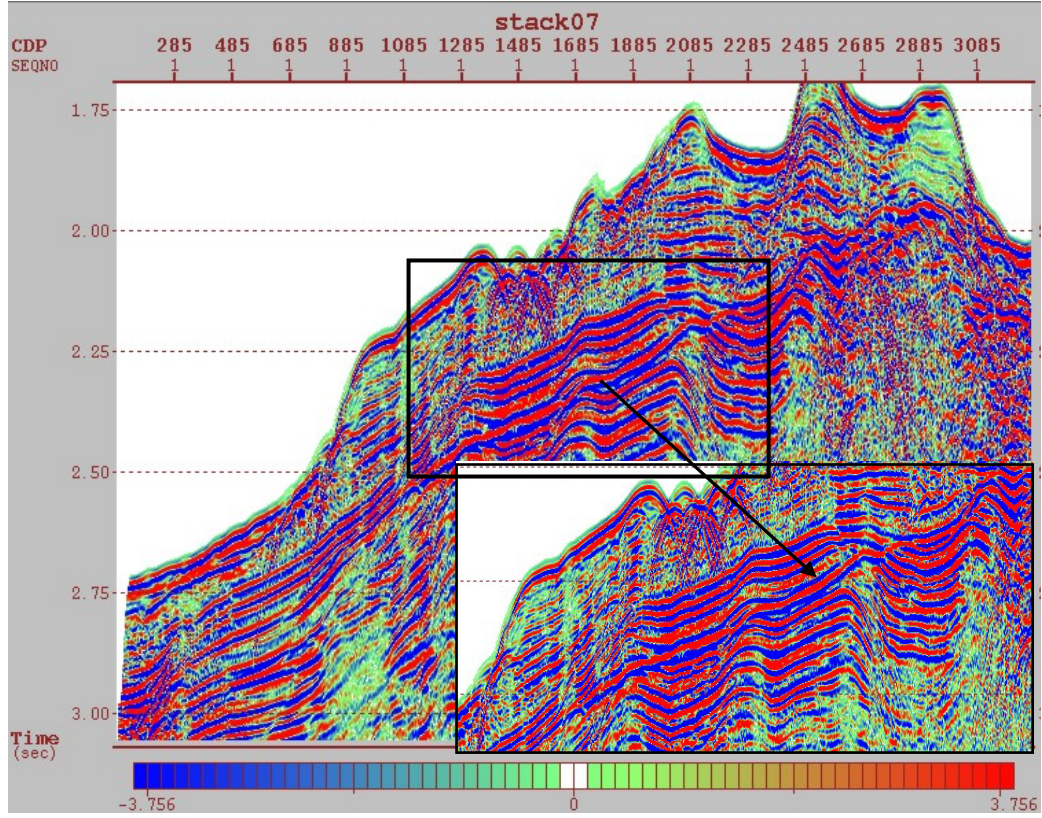
Sismik izde yansıma gücü niteliğinin gösterimi Şekil 4.26'da, matematiksel ifadesi ise denklem 4.9'da görüldüğü gibidir. Denklemden $q(t)$ sismik izin gerçel kısmını, $r(t)$ sismik izin sanal kısmını, $A(t)$ ise sismik izin yansıma gücünü göstermektedir.

$$A(t) = [q^2(t) + r^2(t)]^{1/2} \quad (4.9)$$

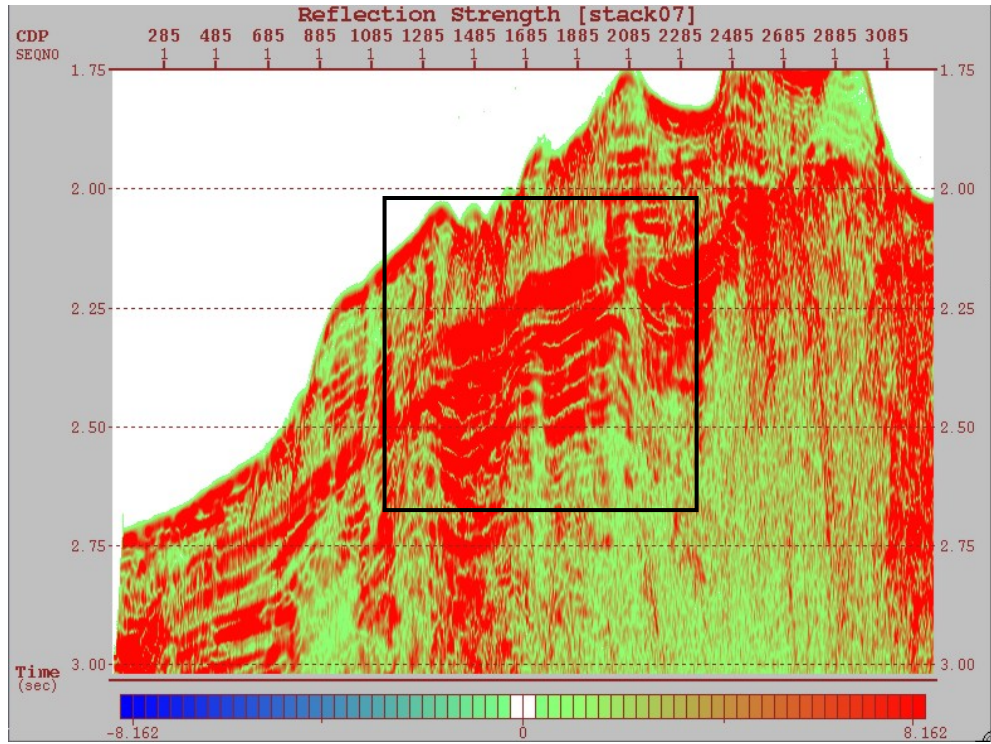


Şekil 4.26: Sismik izde yansıma gücü niteliğinin gösterimi (Taner ve diğ., 1979).

Tez çalışmasında 07 numaralı ve 14 numaralı hatların BSR seviyelerinin görüldüğü alanlara karmaşık sismik iz niteliklerinden yansıma gücü niteliği analizi yapılmıştır. Yansıma gücü niteliği analizi yansıma seviyelerini daha belirgin hale getirdiğinden oluşturulan sismik kesitlerde gerekli renklendirmeler de yapıldığında BSR seviyeleri daha belirginleştirilmiştir. Sismik kesitlerden 07 numaralı hatta ait yansıma gücü kesitinde BSR seviyesi tam netlik kazanamazken 14 numaralı hatta BSR seviyesi daha belirgin gözlenebilmektedir. Şekil 4.27'de 07 numaralı hatta ait yığma kesiti görülmektedir. BSR seviyesi yaklaşık 2,4 sn den başlamakta ve 1085–2485 CDP leri arasında görülebilmektedir.



Şekil 4.27: 07 Numaralı hatta ait yığma kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

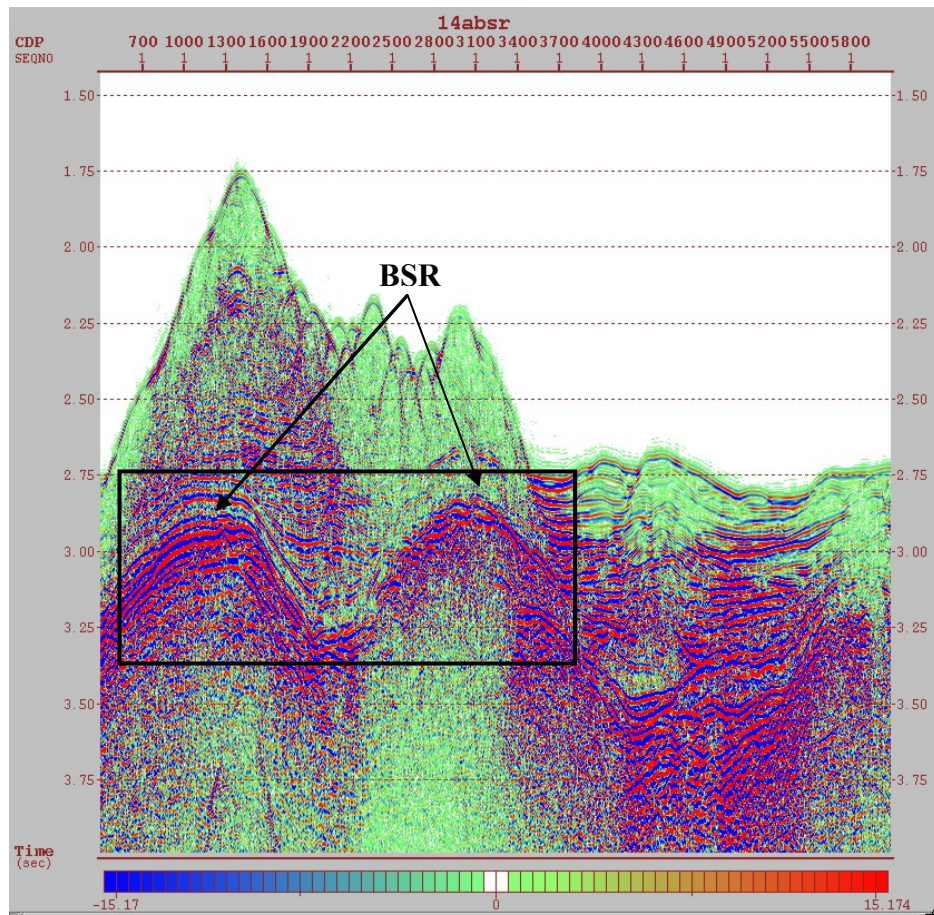


Şekil 4.28: 07 Numaralı hatta ait sismik yansım gücü kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

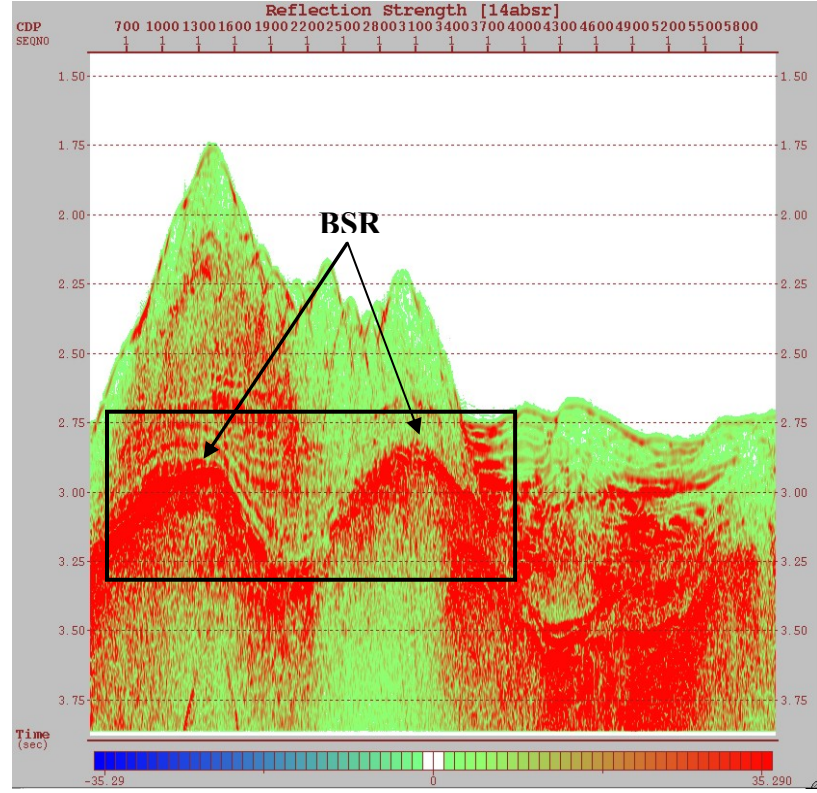
Şekil 4.28’de görüldüğü gibi yansıma gücü nitelik analizi BSR seviyesi daha belirgin hale getirmede iyi sonuç vermemiştir.

Karmaşık sismik iz nitelikleri analizi 14 numaralı hatta BSR seviyesinin görüldüğü alanlar kesitte 14absr ve 14bbsr olmak üzere iki bölümde düşünülerek uygulanmıştır.

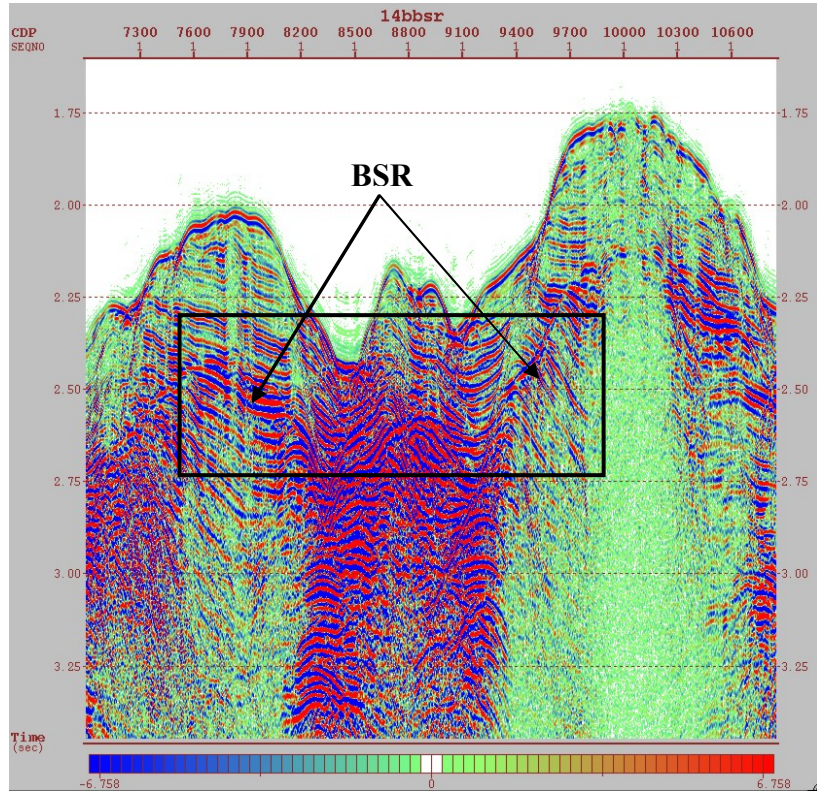
Şekil 4.29’da 14 numaralı hattın yığma kesitinde görüldüğü üzere BSR seviyesi 3–3,5 saniyeler arasında 900–3400 CDP aralıklarında belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Yansıma gücü nitelikleri analizi 14 numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarında uygulanmıştır. Elde edilen yansıma gücü kesitinde 07 numaralı hatta göre BSR seviyesi daha belirgin hale geldiği açıkça görülmektedir.



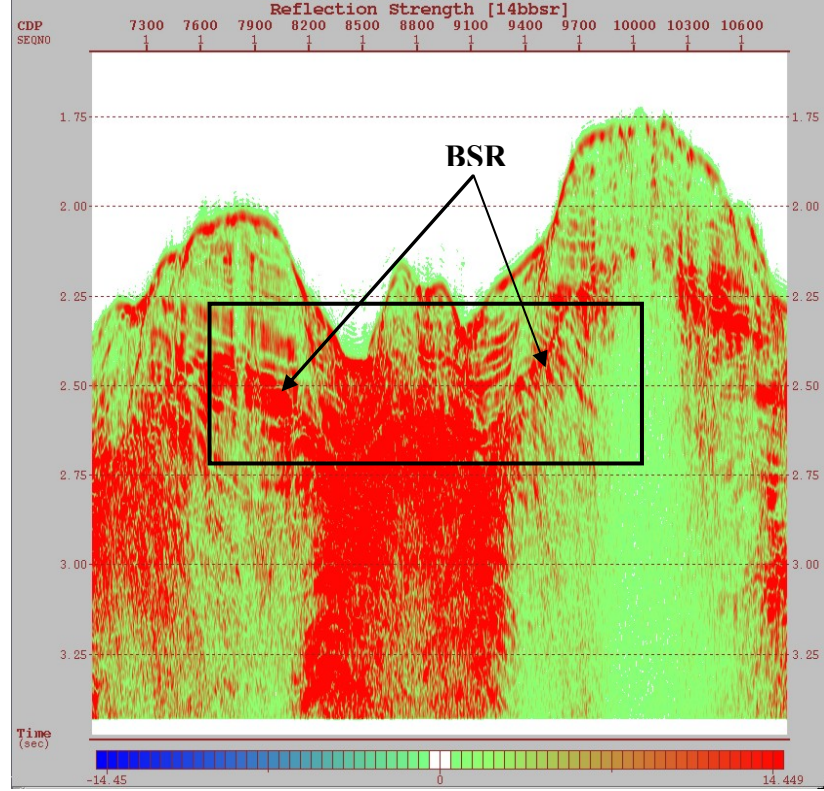
Şekil 4.29: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki yığma kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.30: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki sismik yansıma gücü kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.31: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki yığma kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



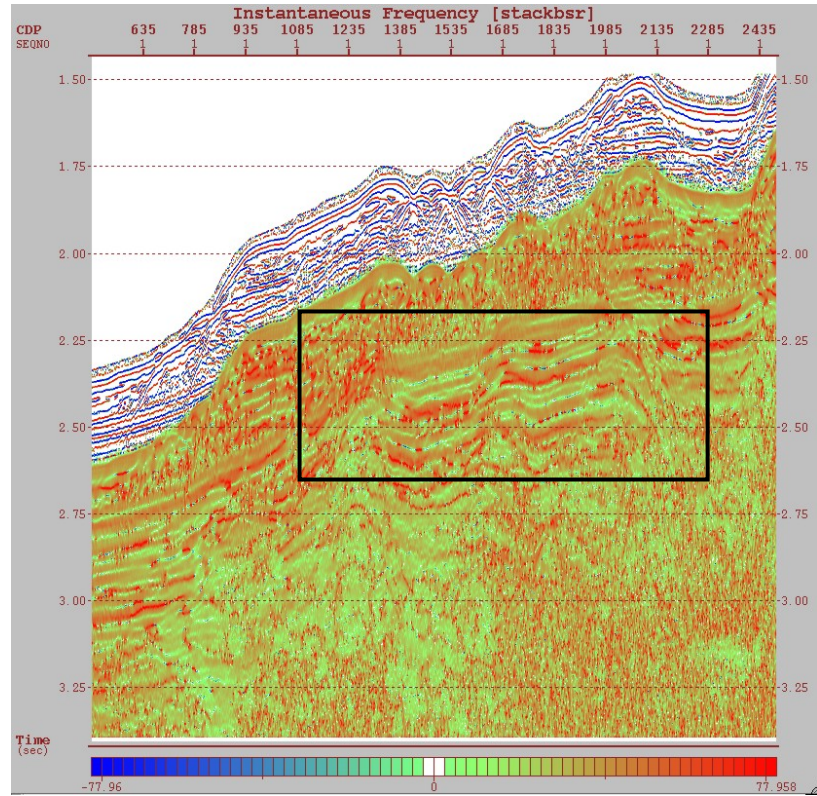
Şekil 4.32: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki sismik yansıma gücü kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

4.3.1.2. Anlık Frekans

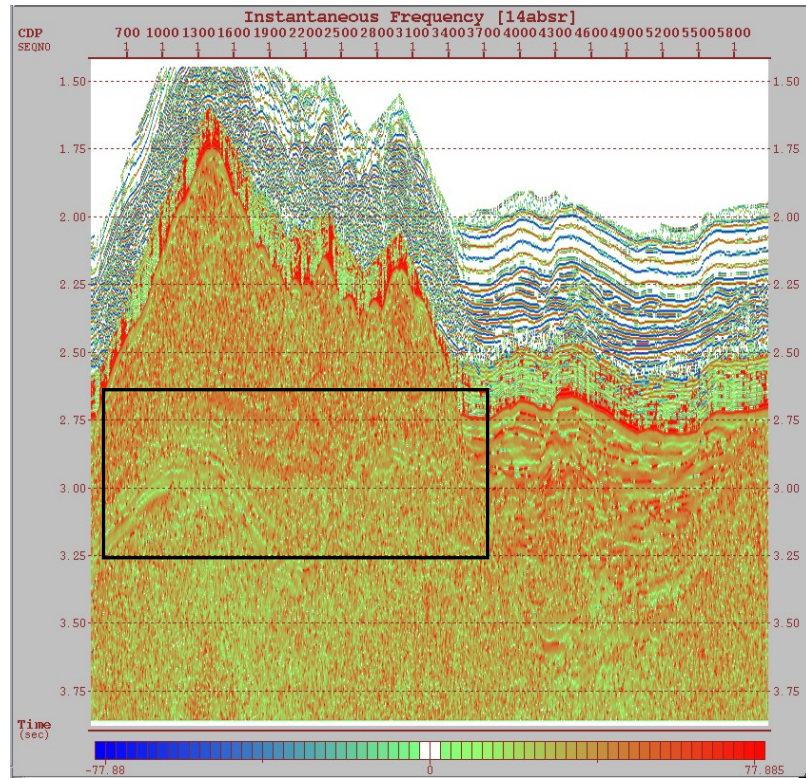
Anlık frekans fazın zamana göre değişimini gösteren bir niteliktir. Karmaşık yansıma karakterleri ardışık tabakalardaki kalınlık ve litoloji değişimi ile yavaş yavaş değişirken, anlık frekansta hidrokarbon ve kırılma zonlarında daha hızlı değişim gözlenir. Böylece anlık frekans sayesinde hidrokarbon ve kırılma zonlarının varlığı aranırken tabaka kalınlıkları daha net belirlenir (Taner ve diğ., 1979). Denklem 4.10’da anlık frekansın matematiksel formülü gösterilmektedir.

$$\text{Anlık Frekans} : \omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4.10)$$

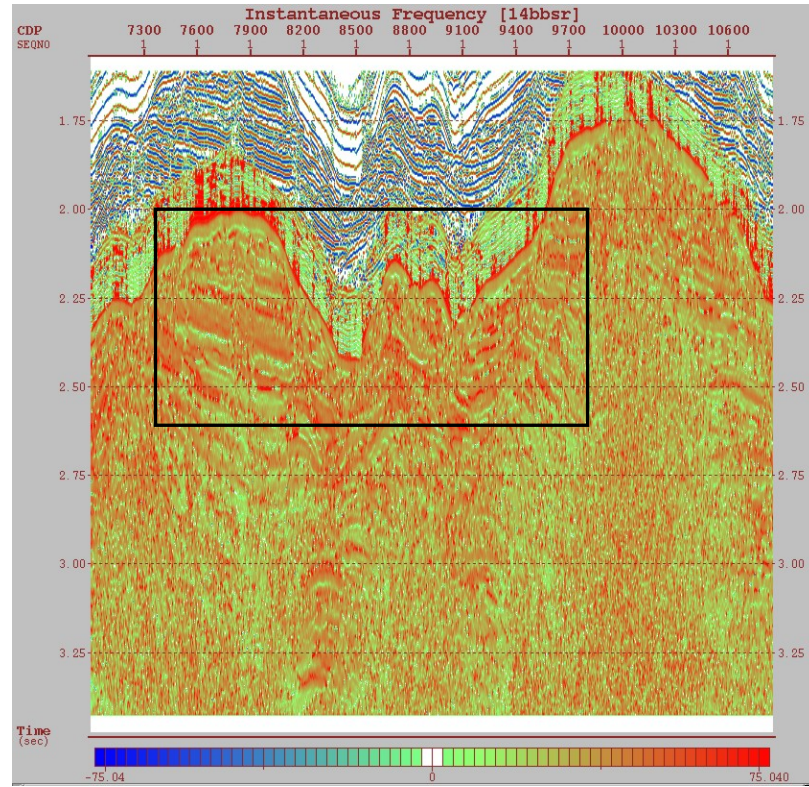
Tez çalışmasında 07 numaralı ve 14 numaralı hatların BSR seviyelerinin görüldüğü alanlara karmaşık sismik iz niteliklerinden anlık frekans niteliği analizi yapılmıştır. Karmaşık sismik iz nitelikleri sonuçlarını karşılaştırmakta kolaylık sağlaması açısından anlık frekans analizi BSR seviyesinin görüldüğü aynı CDP aralıklarında uygulanmıştır.



Şekil 4.33: 07 Numaralı hatta ait sismik anlık frekans kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.34: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık frekans kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.35: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık frekans kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

Sismik iz niteliklerinden anlık frekans nitelikleri analizi tez çalışmasında incelenen 07 ve 14 numaralı hatlarda BSR seviyesinin daha belirginleşmesinde iyi sonuç vermediği şekillerde açıkça görülmektedir.

4.3.1.3. Anlık Faz

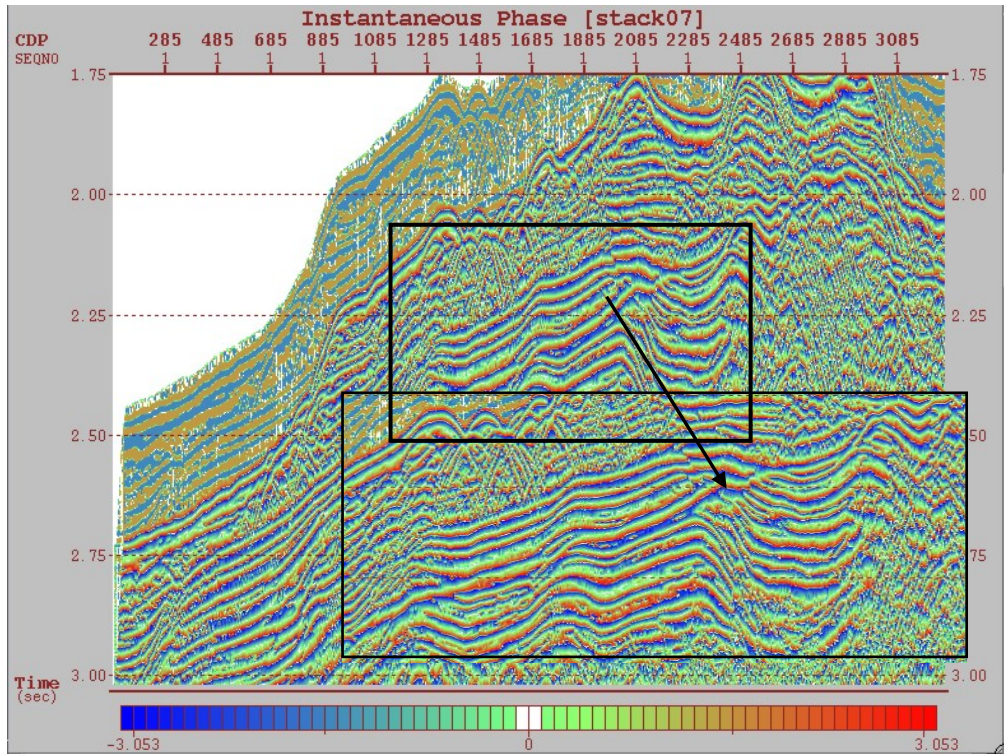
Anlık faz, fazdan farklı olarak belirli bir zamandaki faz değerine karşılık geldiğinden yansımaların sürekliliğinin vurguladığından önemli bir niteliktir. Faz açısı izden ize takip edilebilir. Anlık faz yansıma gücünden bağımsız incelendiğinden analizde belirgin olmayan yansımalar daha belirgin hale gelir. Anlık fazın matematiksel ifadesi denklem 4.11’de verilmiştir.

$$\text{Anlık faz : } \theta(t) = \tan^{-1} \left[\frac{q(t)}{r(t)} \right] \quad (4.11)$$

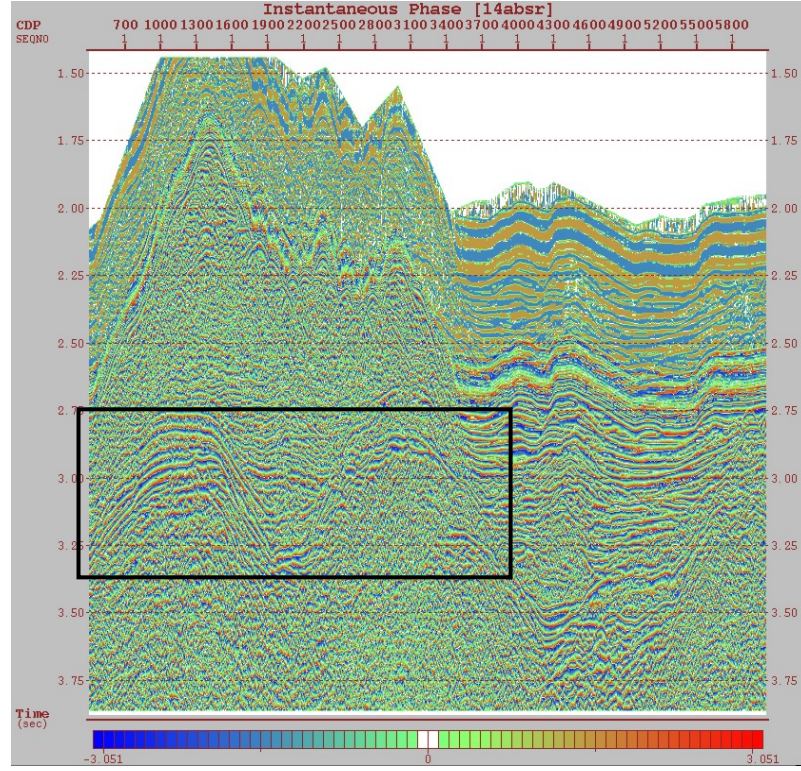
Genel olarak anlık faz analizleri süreksizlikleri, fayları, sıkışmaları, açılmaları, yataklanma şekillerinin daha net görülmesini sağlar. Sedimanter birimlerin bindirme ve açılma yaparak yataklanması ile oluşan ardışık sismik sınırların belirlenmesini sağlar. Açık değişimine bağlı renklendirme ile gösterimi yapılan bu nitelikte en

yüksek pozitif ve negatif sınırlar 180^0 olduğundan aynı faz açısına sahip olduğundan aynı renkle gösterilir (Taner ve diğ., 1979).

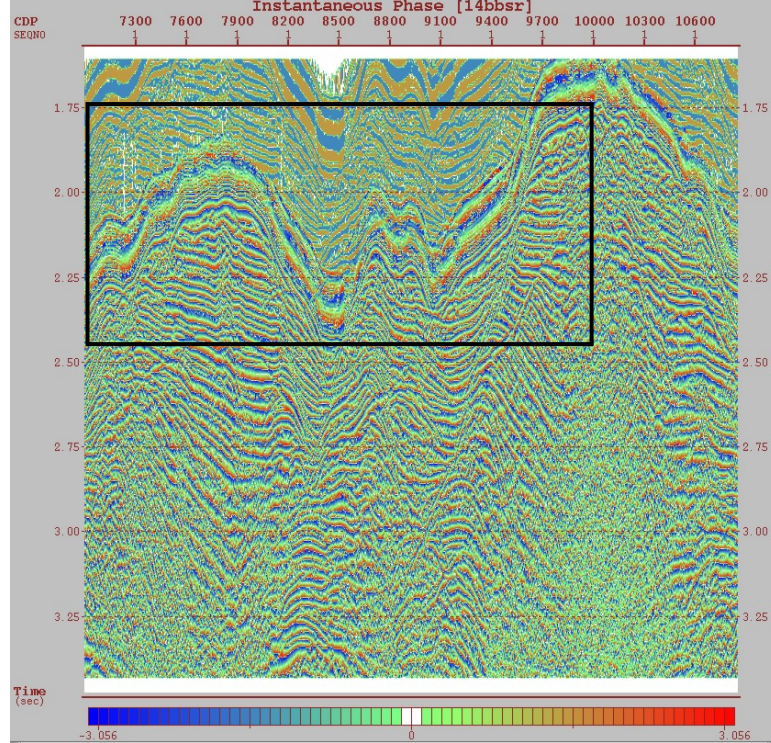
Tez çalışmasında 07 numaralı ve 14 numaralı hatların BSR seviyelerinin görüldüğü alanlara karmaşık sismik iz niteliklerinden anlık faz niteliği analizi yapılmıştır. Karmaşık sismik iz nitelikleri sonuçlarını karşılaştırmakta kolaylık sağlaması açısından anlık faz analizi BSR seviyesinin görüldüğü aynı CDP aralıklarında uygulanmıştır.



Şekil 4.36: 07 Numaralı hatta ait anlık faz nitelikleri kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.37: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık faz kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

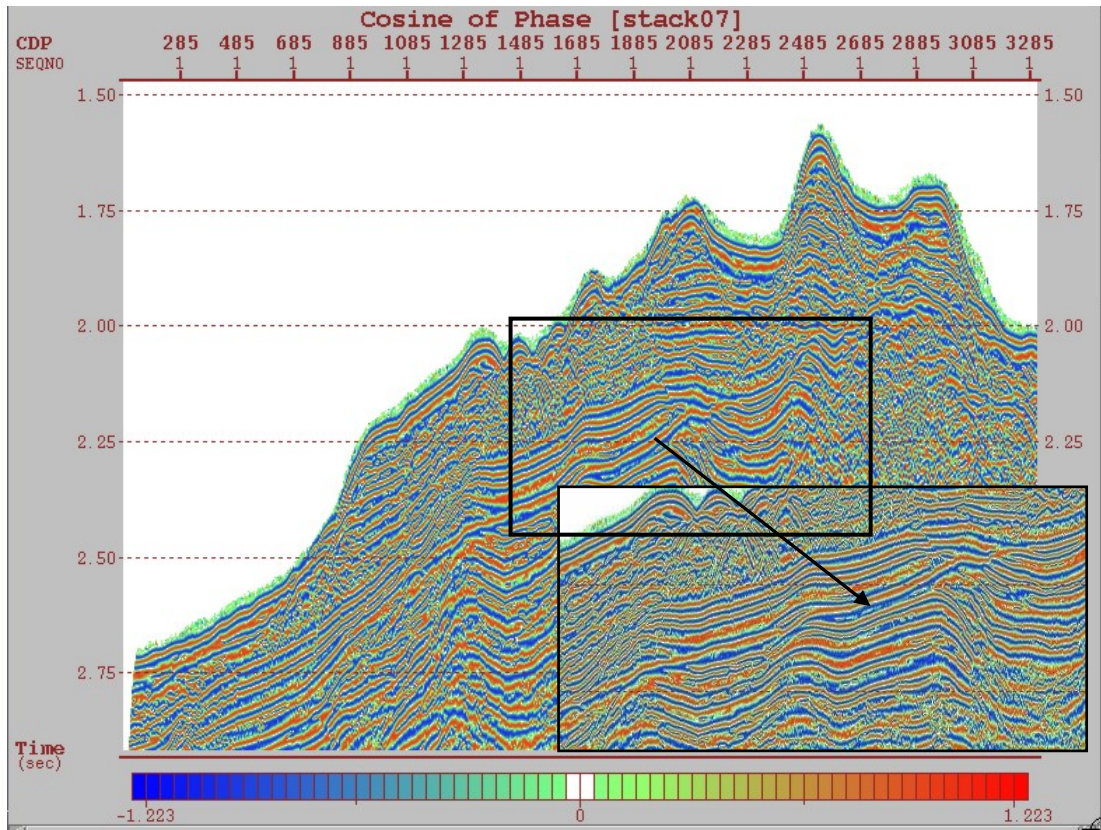


Şekil 4.38: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık faz kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.

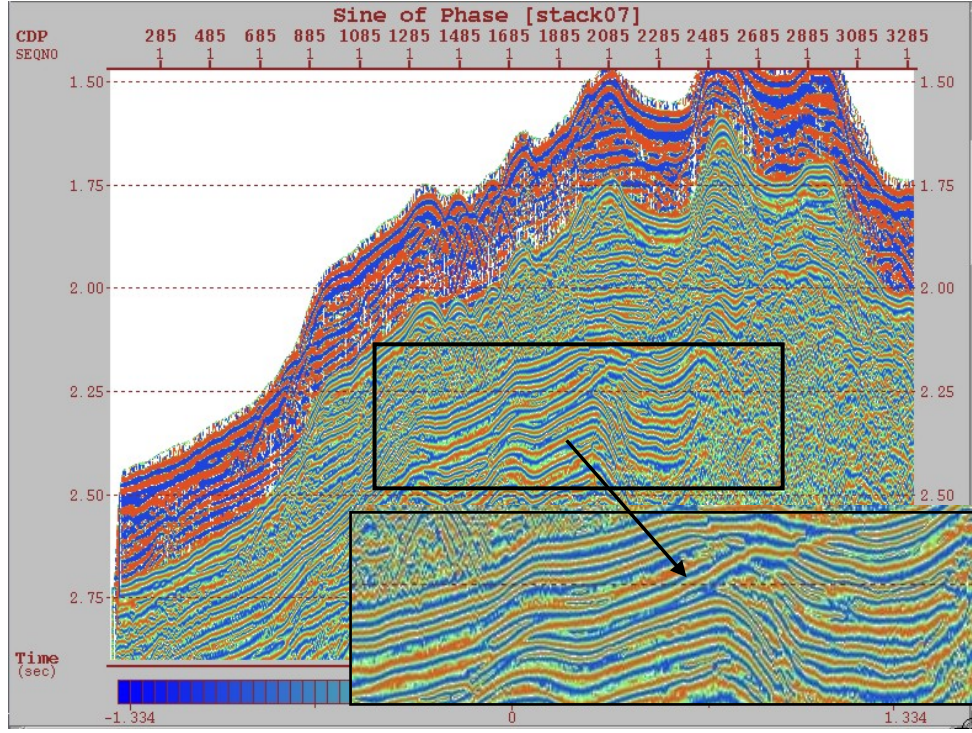
Fazın sinüsü ve fazın kosinüsü anlık faz nitelikleri arasında analizi yapılan niteliklerdir. Anlık fazda olduğu gibi yanal yöndeki sürekliliklerin daha da belirlenmesinde kullanılmaktadır. Denklem 4.12’de anlık fazın sinüsü ve denklem 4.13’de anlık fazın kosinüsünün matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$\sin \theta(t) = \frac{q(t)}{r(t)} \cos \theta(t) \quad (4.12)$$

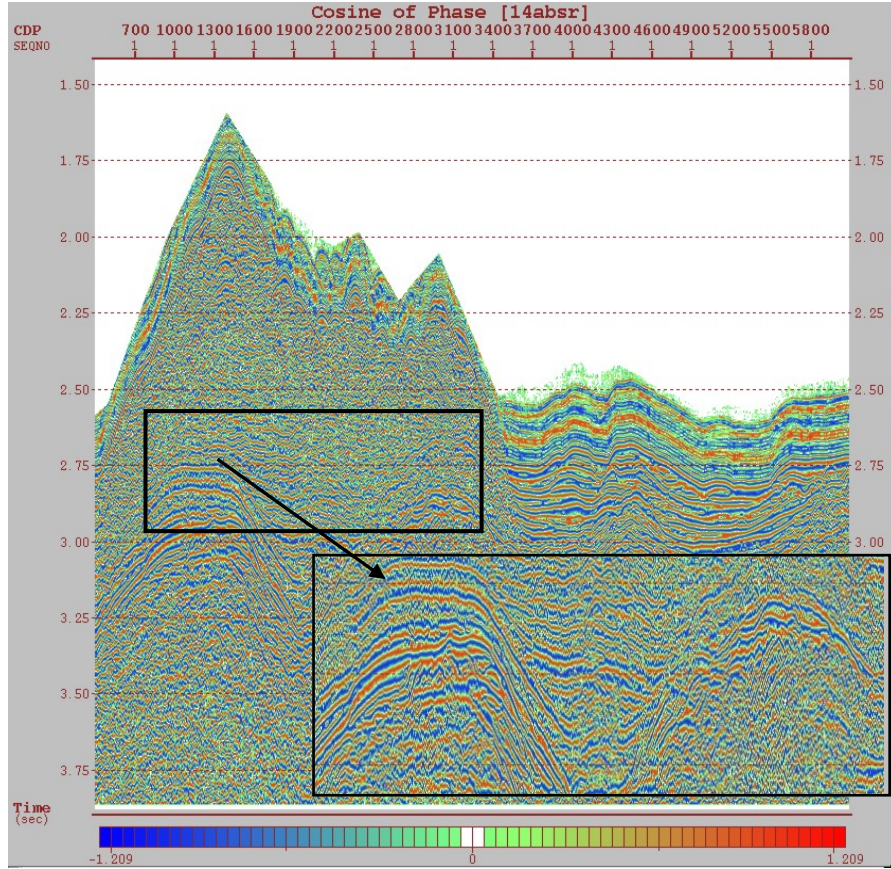
$$\cos \theta(t) = \frac{r(t)}{q(t)} \sin \theta(t) \quad (4.13)$$



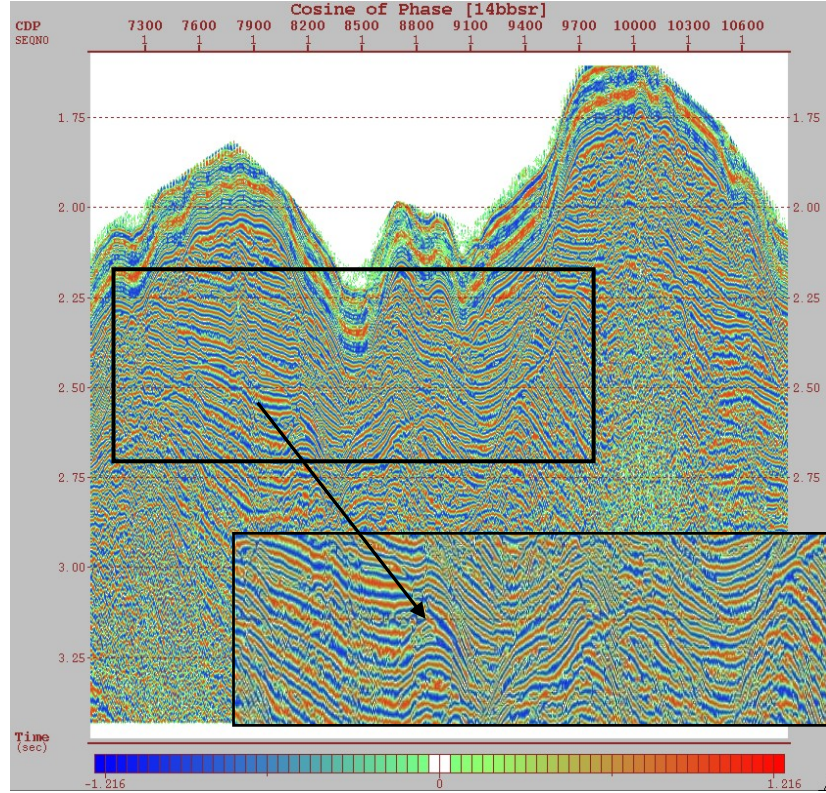
Şekil 4.39: 07 Numaralı hatta ait anlık fazın kosinüsü nitelikleri kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



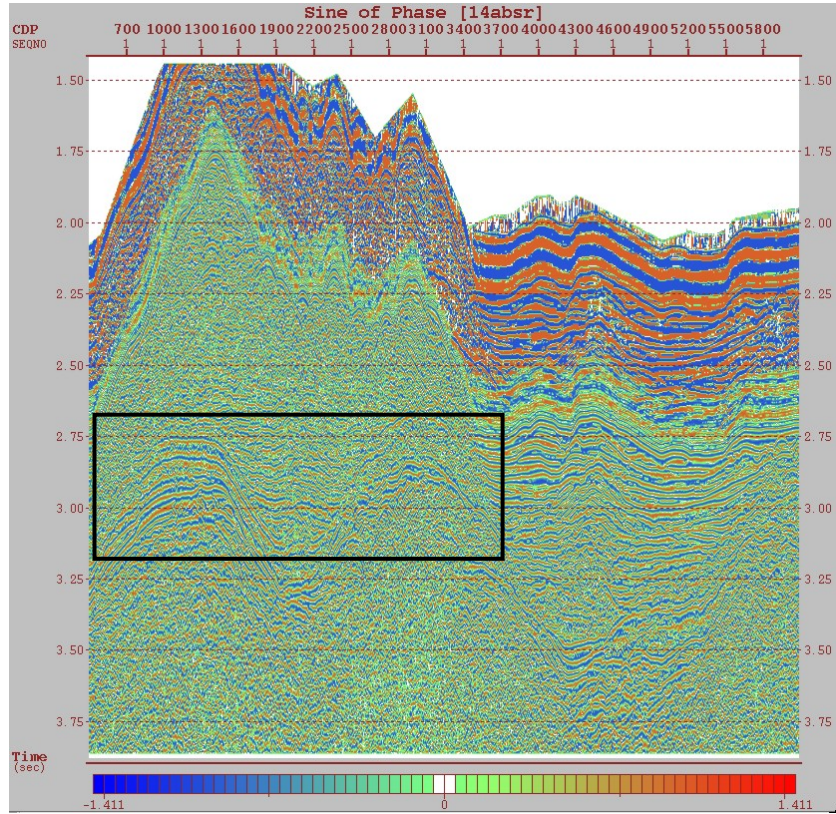
Şekil 4.40: 07 Numaralı hatta ait anlık fazın sinüsü nitelikleri kesiti. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



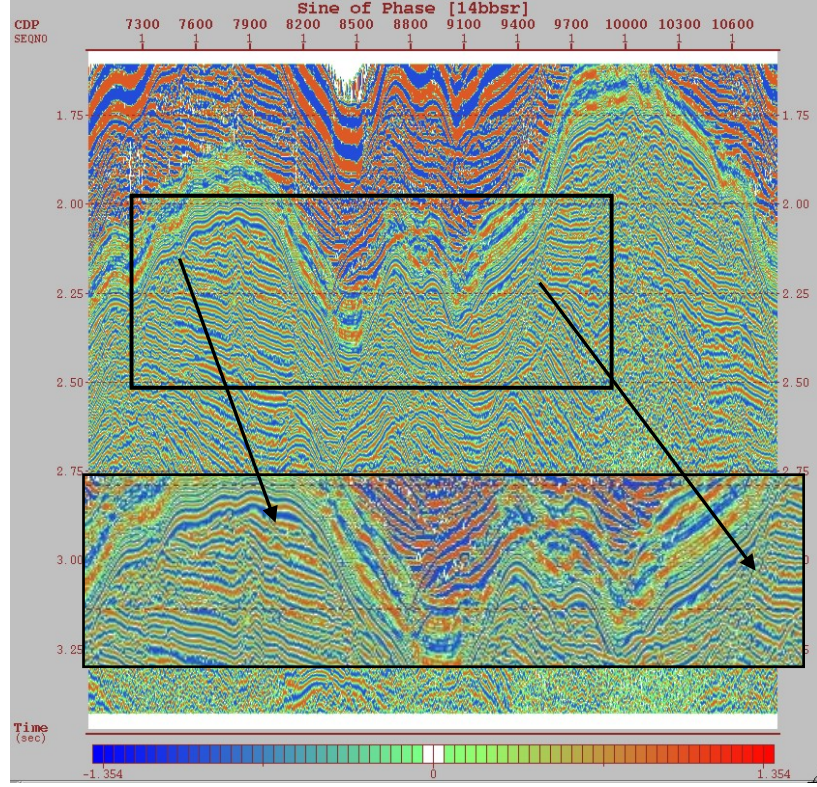
Şekil 4.41: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık fazın kosinüsü kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.42: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık fazın kosinüsü kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.43: 14 Numaralı hattın 700–5800 CDP aralıklarındaki anlık fazın sinüsü kesitinin görünümü. BSR seviyesinin görüldüğü alan işaretlenmiştir.



Şekil 4.44: 14 Numaralı hattın 7300–10600 CDP aralıklarındaki anlık fazın sinüsü kesitinin görünümü. BSR seviyesi görüldüğü alan işaretlenmiştir.

Tez çalışmasında karmaşık sismik iz nitelikleri analizlerinden anlık faz niteliği analizi 07 numaralı ve 14 numaralı yığma sismik kesitlere uygulanmıştır. Fazın sinüsü ve fazın kosinüsü nitelikleri de tez kapsamında incelenmiştir. Bu analizin diğer nitelik analizlerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. BSR seviyesi özellikle 07 numaralı hatta daha belirginleşirken 14 numaralı hatta anlık fazın kosinüsü istenilen iyi sonuç vermiştir. Sismik hatların anlık faz analizi yapılan alanları diğer niteliklerle aynı CDP aralıklarından seçilmiştir. Hatlara ait yığma kesitleri Şekil 4.27 ve Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Şekil 4.36’da 07 numaralı hatta ait anlık faz kesiti gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 1085–2485 CDP aralıklarında BSR seviyesi çok net bir şekilde gözlenirken diğer yansıma seviyeleri ve ayrıntılar renklendirme ile daha belirgin hale gelmiştir. BSR seviyesi 14 numaralı hatta daha iyi sonuç almak için iki bölümde incelenmiştir. Anlık faz kesitinde belirgin bir sonuç elde edilememiş fakat fazın kosinüsünde BSR seviyesi izlenebilir hale gelmiştir. Buna göre anlık faz nitelikleri analizinin 07 numaralı hatta iyi sonuç verirken 14 numaralı hatta iyi sonuç vermediği söylenebilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında Karadeniz’de Akçakoca-Kurucaşile arasında toplanan 07 ve 14 numaralı hatlara ait sismik yansıma verilerinde BSR seviyesini daha iyi görebilmek amacıyla karmaşık sismik iz nitelikleri analizi ve AVO sismik iz nitelikleri analizleri yapılmıştır. İlave olarak MATLAB yazılımı altında çalışılan bir modelleme yazılımı yani düz çözüm programı geliştirilmiştir. Ham sismik verilere yığma işleminden önce ortak orta nokta (common depth point; CDP) geometrisinin oluşturulması, statik düzeltme, dinamik düzeltme (normal moveout; NMO), atış-alıcı düzeni değişikliği (sort), genlik düzeltmesi, hız analizi işlemleri uygulanmıştır. Yığma (stack) kesitleri oluşturulması amacıyla uygulanan bütün bu veri işlem aşamaları bu tez çalışmasından önce tamamlanmıştır. Tez çalışmasında amaç yapılan modellemelerde ofsete bağlı yansıma katsayısı değişimine göre düz çözüm ile gaz hidrata ait anamolileri elde etmektir. Ayrıca bölgeye ait deniz sismiği verilerinde BSR seviyesini, karmaşık sismik iz nitelikleri analizi ve AVO sismik iz nitelikleri analizleriyle daha belirgin hale getirilerek yorumlamaktır. Disco Focus sismik veri işlem paket programında 07 ve 14 numaralı hatlar için yapılan karmaşık sismik iz nitelikleri analizlerinde sismik hatlara ait yansıma gücü, anlık faz, anlık frekans, fazın kosinüsü, fazın sinüsü kesitleri elde edilmiştir. AVO sismik iz nitelikleri analizinde ise 07 numaralı hat için gerekli modüller kullanılarak sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Bununla birlikte Disco Focus programında interaktif olarak “super gather” tekniğinden yararlanılarak sözü edilen gaz hidrata ait BSR seviyesinin ofsete bağlı olarak değişimi genlikler üzerinden incelenmiştir.

Tez çalışmasında uygulanan düz çözüm yöntemi için MATLAB yazılımı altında çalışan bir modelleme yazılımı yani düz çözüm programı geliştirilmiştir. Önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere programa girdi olarak ortamların sismik parametreleri (P-S dalga hızı ve yoğunluk), çıktı ise ortama ait yansıma katsayıları serisinin açığa bağlı değişimini gösteren grafiklerdir. Bölgede alınan deniz sismiği verilerindeki veri toplama parametrelerine göre yansıma katsayıları ancak 10 dereceye kadar incelenebilmektedir. Modellemede 10 derece kadar yansıma

katsayılarındaki değişim gözlenemeyeceği için ortam parametreleri doğrultusunda kritik açıya kadar olan değişim incelenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda modellemeye uygun daha belirgin anamoliler elde etmek için veri toplama parametreleri değiştirilerek bölgeye ait daha ayrıntılı bilgi edinilebilir.

MATLAB programında 3 adet yatay tabakalı yeraltı modeli seçilmiştir. Bu modellerde üstte genç örtü kayacı olarak kil, altta ise kumtaşı uygun görülmüştür. Modellerde üst ortamın yani örtü kayacın sismik parametreleri değiştirilmemiş, alt ortamın yani kumtaşının suya doygun, gaz hidrata doygun ve gaza doygun halleri olmak üzere değiştirilmiştir. Oluşturulan 3 farklı modelin sismik parametreleri Karadeniz’de Akçakoca-Kurucayıle arasındaki bölgenin jeolojik özellikleri (%10 poroziteye sahip Atbaşı formasyonundaki kumtaşı özellikleri) dikkate alınarak seçilmiştir. MATLAB programında seçilen parametreler ve geliş açıları girdi olarak yazılarak P dalga hızına ait yansıma katsayısı serisi hesaplanmıştır. Yansıma katsayısının açıya bağlı olarak değişiminin 3 modelde de farklı olduğu görülmüştür.

Bilindiği gibi gaz hidrat içinde bulunduğu kayacın sismik parametrelerini değiştirmektedir. Gaz hidrat, bulunduğu kayacın P dalga ve S dalga hızını arttırırken ve yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük olduğu için kayacın yoğunluğunu düşürür. Kayaçta gaz hidrat bulunduğu takdirde yansıma katsayıları artan ve pozitif değerler almaktadır. Buna göre Model 1’de en büyük yansıma katsayı değeri yaklaşık 0,76 iken Model 2’de bu değer yaklaşık 0,97 değerinde görülmektedir. Model 2’ye ait yansıma katsayılarının değişimi Model 1’e göre daha hızlı artan ve büyük pozitif değerler şeklindedir. Bu da kumtaşında gaz hidrat bulunması durumunda açıya bağlı olarak yansıma katsayılarında belirgin bir artışa sebep olduğu açıkça göstermektedir. Model 3’de üst ortam olarak seçilen örtü katmanına ait parametreler değiştirilmeden kumtaşının gaza doygun hali düşünülerek ilgili sismik parametreler seçilmiş ve yansıma katsayıları hesaplanmıştır. Bilindiği gibi hidrokarbon aramalarında ortamda doğal gaz bulunması durumunda ortamın sismik hızı ve yoğunluğu belirgin bir şekilde düşer. AVO analizleri için oluşturulan grafiklerde doğal gazın varlığı P dalga hızında artan ofsetle ani büyük düşüşler ve yansıma katsayılarında ise artan büyük negatif polariteli genlikler şeklinde görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda doğal gazın ortamın sismik hızını ve yoğunluğunu düşürdüğünden Model 3’de yani ortamda doğal gaz olması durumunda yansıma katsayıları büyük negatif genlikli değerler alması beklenen bir sonuçtur.

Kumtaşının gaza doygun durumunda artan açi değerlerine bağı olarak negatif artan yansıma katsayıları değerlerinden oluşun bir anamoli görölmektedir. Model 3'deki serbest gaz içeriğine ait grafikler teorik grafiklerle karşılaştırıldığında hidrokarbon aramalarında gazın varlığını gösteren anamoli olduğı görölmektedir. Tez çalışmasında uygulanan düz çözüm yöntemi için MATLAB yazılımı altında çalışılan düz çözüm programına ait sonuçlar değerlendirilecek olunursa 3 farklı model için yapılan düz çözüm modellemeler, literatürde hidrokarbon aramalarında bahsedilen AVO anamolileriyle benzerlik göstermektedir. Oluşturulan farklı model grafiklerinde yansıma katsayılarının açiya bağı olarak belirgin bir şekilde değışiminin açıkça görölmesi yöntemin gaz hidratların veya doğıal gazın sismik yöntemlerle yerinin tespitinde iyi sonuç verdiğinin ve kullanılabilir olduğunun bir göstergesidir.

Tez çalışmasında Karadeniz'de Akçakoca-Kurucaşile arasındaki bölgede alınan sismik ölçülerden 07 ve 14 numaralı hatlar Disco Focus programında karmaşık sismik iz nitelikleri analizi ve AVO sismik iz nitelikleri analizi yapılmıştır. Karmaşık sismik iz nitelikleri analizlerinde yansıma gücü, anlık frekans, anlık faz, fazın kosinüsü ve fazın sinüsü olmak üzere 5 adet sismik iz nitelikleri kesitleri oluşturulmuştur. Bu sismik kesitlerde BSR seviyeleri yorumlanmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmasında 07 numaralı ve 14 numaralı hatların BSR seviyelerinin göröldüğü alanlara karmaşık sismik iz niteliklerinden yansıma gücü niteliğı analizi yansıma seviyelerini daha belirgin hale getirdiğinden BSR seviyeleri daha belirginleştirilmiştir. Sismik kesitlerden 07 numaralı hatta ait yansıma gücü kesitinde BSR seviyesi tam netlik kazanamazken 14 numaralı hatta BSR seviyesi daha belirgin gözlenebilmektedir. BSR seviyesi 07 numaralı hatta ait yığıma kesiti yaklaşık 2,8 sn den başlamakta ve 1085–2485 CDP aralığında görölebilmektedir. Aynı seviye yansıma gücü kesitinde iyi sonuç vermemiştir. BSR seviyesinin göröldüğü alana 14 numaralı hatta 700–5800 CDP ler arasında ve 7300–10600 CDP ler arasında olmak üzere iki farklı bölümde incelenmiştir. 14 numaralı hattın yığıma kesitinde 3,5 saniyeden itibaren sözü edilen CDP ler arasında belirgin bir şekilde gözlenebilen BSR seviyeleri yansıma gücü kesitlerinde 07 numaralı hatta göre daha iyi belirgin hale geldiğı görölmüştür. Özellikle 700–5800 CDP ler arasında bölgede BSR seviyeleri çok net izlenebilmektedir. Buna göre 14 numaralı hattın yansıma gücü kesitleri 07 numaralı hatta göre daha iyi sonuç verdiğini söylemek mümkündür.

Karmaşık sismik iz nitelikleri analizlerinden anlık faz niteliği analizi yansıma gücünden bağımsız incelendiğinden sismik kesitte belirgin olmayan yansımalar daha belirgin hale gelir. Tez çalışmasında 07 numaralı ve 14 numaralı yığma sismik kesitlere uygulanmıştır. Bu analizin diğer nitelik analizlerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Sismik hatların anlık faz analizi yapılan alanları diğer niteliklerle aynı CDP aralıklarından seçilmiştir. BSR seviyesi 07 numaralı hattın anlık faz kesitinde 1085–2485 numaralı CDP aralığında çok net bir şekilde gözlenirken anlık fazın kosinüsü ve sinüsünde de belirgin halde görülmektedir. BSR seviyesi 14 numaralı hatta ise yığma kesitinde gözlenirken anlık faz kesitinde daha az gözlenebilmektedir. Fakat fazın sinüsü ve kosinüsünde BSR seviyeleri tekrar gözlenebilmektedir. Buna göre 14 numaralı hattın özellikle anlık fazın kosinüsünde iyi sonuç verdiği söylenebilir. Buna göre anlık faz nitelikleri analizinin 07 numaralı hatta iyi sonuç verirken 14 numaralı hattın kosinüs bileşeninde iyi sonuç verdiği söylenebilir. Karmaşık sismik iz nitelikleri analizlerinden sonuncusu olan anlık frekans analizi her iki sismik kesite de uygulanmıştır. Fakat yansıma gücü ve anlık faz niteliklerine ait sismik kesitlerdeki gibi iyi sonuç elde edilememiştir bu nedenle anlık frekansa ait analizler değerlendirilmeye alınmamıştır.

Bununla birlikte tez kapsamında 07 numaralı hatta ait sismik kesitte BSR seviyelerini ve AVO anomolisini daha iyi görmek amacıyla Disco/Focus programında interaktif olarak hatta ait CDP verilerini kullanarak literatürde “super gather” olarak geçen işlem gerçekleştirilmiştir. Verinin sismik toplama parametreleri bilindiğinden 07 numaralı hatta ait CDP verilerine ait bilgiler interaktif pencerede tanıtılarak kesite ait izler ve genlik bilgileri görüntülenebilmiştir. Bilindiği gibi Sismik veri gruplarında tek bir noktadan yansıyan yansıma sayısı, katlanma sayısı olarak adlandırılır. Bu durumda çalışmada kullanılan veri toplama parametrelerine göre (Tablo 1.1) katlama sayısı değeri 9 olarak elde edilmektedir. Kanal sayısının katlama sayısına oranı 8 olduğundan “Super gather” terimine göre her 8 CDP grubunda bir ya da herhangi 8 CDP grubu alındığında tüm ofsetler mevcuttur. Buna göre en küçük ofsetten en büyük ofsete kadar genlik değişimi izlenebilir. Disco Focus programında verinin tanıtılması ve bu bilgilerin doğrultusunda gerekli işlemler yapılarak BSR seviyesine ait genlik değişimini ofsete bağlı en iyi örneği gösteren CDP grubu olarak 1471–1478 seçilmiştir. Bu grup aralığında 2,4 sn den itibaren yüksek genliklerin görünümü gaz hidratın varlığını gösteren en iyi kanıttır.

AVO sismik iz nitelikleri analizinde ise Disco Focus programında gerekli modüller kullanılarak 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Tez çalışmasında AVO sismik iz nitelikleri analizi Disco Focus programı kullanılarak ANGATTR (angular attribute) açısal nitelik modülü ve ANGSTK (angular stack) açısal yığılma modülü ile gerekli dosyalar hazırlanarak 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Disco Focus programındaki ANGATTR ve ANGSTK modülü AVO analizleri için yapılan Shuey yaklaşımındaki teoriye uygun modüllerdir. Disco Focus programında ANGSTK modülü ile hazırlanan dosyada 07 numaralı hatta BSR anamolisi sıg kesimde olduğundan sabit hız modeli tanımlanarak CDP düzeninde işlem gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bu iki dosya sonrasında sıfır ofset kesiti için oluşturulan izlerden ilki seçilerek yığılma dosyası yazılmıştır. Tez çalışmasında gerekli modüller kullanılarak 07 numaralı hatta sıfır ofset kesiti elde edilmiştir. Teoride de anlatıldığı üzere AVO kesme zamanındaki değerler yoğunluk ve hız bilgileri içerdiği için oluşan sıfır ofset kesiti P dalgasına ait empedans kesiti olarak da değerlendirilebilir. Analiz sonucunda 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesitinde BSR seviyeleri daha belirginleşirken deniz tabanındaki sedimanter kayaçların kıvrımları ve fayların yerleri daha çok ortaya çıkmıştır. Buna göre AVO sismik iz nitelikleri analizi için 07 numaralı hatta ait sıfır ofset kesitinde BSR seviyesi daha net görüldüğü için yöntem hidrokarbon aramalarında kullanılabilir bir yöntem olabildiği söylenebilir.

Yapılan analizler ve düz çözüm modellemelerin gaz hidratların sismik yöntemlerle aranmasında iyi sonuç verdiği söylenebilir. Bölgenin jeolojisi göz önünde bulundurularak tasarlanan düz çözüm yeraltı modelleri ve seçilen sismik parametreler doğrultusunda yansıma katsayıları 3 farklı modelde literatürde tanımlanan AVO anamolileriyle örtüştüğünden yöntemin hidrokarbon aramalarında başarılı ve uygulanabilir olduğu açıkça görülmektedir. Fakat inceleme alanındaki sismik veri toplama parametrelerine göre teorik olarak ancak yaklaşık 10 dereceye kadar olan değişim incelenebilmektedir. Gerçek verinin sismik veri toplama parametreleri bundan sonra yapılacak çalışmalarda daha farklı alınırsa tez kapsamında elde edilen sonuçlar oluşturulan model parametreleriyle tamamen örtüşebilir. Eğer yeterli ofset kullanılarak sismik veri toplanmışsa (örneğin en az 30 dereceye kadar) AVO analizi; gerek modelleme gerekse super gather uygulama

yöntemleriyle gaz hidrat aramalarında önemli bir alternatif yöntem olarak kullanılabilir.

Sismik iz nitelikleri analizlerinde de analiz sonuçları karmaşık sismik iz niteliklerinin teorisi ile de açıkça örtüştüğünden yöntem genel olarak süreksizliklerin, fayların, sediman birimlerin bindirme ve açılma yaparak yataklanması şekillerinin daha net görülmesinde kullanılabilir bir yöntem olduğu söylenebilir. Karmaşık sismik iz nitelikleri açısından yansıma gücü BSR anamolisinin belirginleşmesini sağlarken, anlık faz ve anlık frekans kesitleri ortamın fiziksel ve yapısal özellikleri hakkında ilave bilgi verir. Böylece BSR seviyeleri, sismik kesitlerle daha ayrıntılı yorumlanabilir. Böylelikle sismik yöntemlerde kompleks sismik iz nitelikleri analizi, AVO düz çözüm modelleme ve AVO analizinin hidrokarbon rezervlerinin tespitinde başarılı sonuçlar elde edildiğinden yöntemlerin uygulanabilir yöntemler olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Anaç, S.**, 2003. Enerji Politikalarında Kömürün Yeri, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Angerer, R. H., ve Richgels, H. J.**, 1990. Reservoir states and elastic parametres: Factor which affect reflection AVO: 60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract, 1537-1538.
- Backus, M. M.**, 1987. Full elastic inversion of multi offset marine data on a stratified medium: 59th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract, 359-364.
- Berkhout A. J., ve Wapenaar, C. P. A;** 1998. Delft philosophy on inversion of elastic data: 58th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 831-833.
- Burianyk M., Pickford S, Calgary,** 2000. Amplitude-Vs-Offset and Seismic Rock property Analysis: Aprimer.
- Carroll, J.J.** 2003. Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers Gulf Professional Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Castagna J. P., Backus M.M.**, 1993. Offset Dependent Reflectivity-Theory and Practice of AVO, Vol 8 of Investigations in Geophysics Series, 133-171. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Charles P. Ursenbach.**, 2002. Optimal Zoeppritz Approximations, CREWES Research Report — Volume 14.
- Ergün, M., Çifçi, G., Dondurur, D. ve Limonov, A.**, 2000. Karadeniz Sedimentlerinde Gaz Hidrat Oluşumu ve Etkilerinin Araştırılması, TUBİTAK Projesi, Proje Kodu: 100Y078.
- Dağıstan, H.**, Enerji Hammaddeleri 2005–2006 Yılı Çalışmaları ve 2007 Yılı Hedefleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammaddeleri Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.
- Damcı. E.**, 2004. Bartın – Amasra Açıklarında Deniz Sismiği Verilerinin Derinlik Ortamında Göç Uygulamaları Ve Bölge Jeolojisi İle İlişkilendirilmesi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul, Türkiye.

- Demirbağ, E.,** 1998. Karadeniz Sismik Yansıma Verilerinin Ön Veri İşlem Çalışmaları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Prof. Dr. Nezihi Canitez Veri İşlem Merkezi, Maslak, İstanbul.
- Demirbağ, E., Çoruh, C., Costain, J.K.,** 1993. Inversion of P-wave AVO. Offset Dependent Reflectivity-Theory and Practice of AVO Analysis (Editors: J.P Castagna and M. Backus). Society of Exploration Geophysicists, Investigations in Geophysics, No: 8, p.287-302.
- Dey-Sarkar, S. K., Svatek, S. A., ve Crewe, O. W.,** 1986. Prestack analysis: Data processing : 56th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts,339-341.
- Dillon, W.P.,** 1995. Distribution and controls on gas hydrate in the ocean floor environment. Am. Assoc. for the Advanc. of Sci. Annual Meeting, p. 32.
- Downton, J. E., Russell B. H., and Lines R. L.,** 2000. AVO for Managers: Pitfalls And Solutions, CREWES Research Report — Volume 12.
- Fatti, Jan L., George C. Smith., Peter J. Vail., Peter J. Straussand Philip R. Levitt.,** 1994. Detection of Gas in Sandstone Reservoirs Using AVO Analysis: a 3-D Seismic Case HistoryUsing the Geostack Technique. Geophysics, **59**, 1362-1376.
- Gassman, F.,** 1951. Elastic waves through a packing of spheres : Geophysics, **16**, 673-685.
- Grauls, D.,** 2001. Gas hydrates: importance and applications in petroleum exploration. Marine and Petroleum Geology, **18**, 519–523.
- Güngör, T. Eskibalci, M.F.,** 2003. “Türkiye Enerji Hammaddeleri Potansiyelinin Değerlendirilebilirliği”, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, C:16, S:1.
- Gürgey, K., Philp, R.P., Clayton. C., Emiroglu, H., Siyako, M.,** 2005. Geochemical and isotopic approach to maturity/source/mixing estimations for natural gas and associated condensates in the Thrace Basin, NW Turkey, Applied Geochemistry, **20**, 2017–2037.
- Hyndman, R.D., ve Dallimore, S.R.,** 2001. Natural Gas Hydrate Studies in Canada, Canadian Society of Exploration Geophysicists, **26**, 11-20.
- Kvenvolden, K.,** 1993. Gas hydrates – geological perspective and global change: Reviews of Geophysics, **31**, 173–187.

- Kvenvolden K.A.**, 1999. Potential effects of gas hydrate on human welfare. Proceedings of the National Academy of Science, **96**, 3420–3426.
- Lörtzer, G. J. M., de Haas, J. C., ve Berkhout, A.J.**, 1988. Evaluation of weighted stacking techniques for AVO inversion: 58th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1204-1208.
- Mallick, S.**, 1995. Model-based inversion of amplitude-variations-with-offset data using a genetic algorithm: Geophysics, **60**, 939-954.
- Mallick, S.**, 1999. Some practical aspects of prestack waveform inversion using a genetic algorithm: An example from the east Texas Woodbine gas sand: Geophysics, **64**, 326-336.
- Max, M.D., Dillon, W.P.**, 1998. Oceanic methane hydrate: the character of the Blake Ridge hydrate stability zone and the potential for methane extraction. Journal of Petroleum Geology, **21**, 343–357.
- Milkov, A.V., & Sassen, R.**, 2002. Economic geology of offshore gas hydrate accumulations and provinces. Marine and Petroleum Geology, **19**, 1–11.
- Ocakoğlu. N.**, 1997. AVO analizi ile deniz tabanının modellenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul, Türkiye.
- Ostrander, W.J.**, 1984. Plane-wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Non-normal Angles of Incidence: Geophysics, **49**, 1637-1648.
- Özer Z., T.**, 2002. Yığma Sonrası Sismik Niteleyici Analizi, MTA Dergisi 123-124. 99-105.
- Purdy, G.A.**, 1958. Petroleum, Prehistoric to Petrochemicals. Copp Clark Publishing Company, Toronto, 492 pp.
- Resnick, J.R.**, 1988. Seismic data processing for amplitude versus-offset analysis: 58th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., 56th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Expanded Abstracts, 1354.
- Rutherford, S. R., & Williams, R. H.**, 1989. Amplitude-versus-offset variations in gas sands: Geophysics, **54**, 680-688.
- Shell International Petroleum Company Limited**, 1959. The Petroleum Handbook. Fourth Edition, London.
- Shuey, R.T.**, 1985. Asimplification of Zoeppritz Equations: Geophysics, **50**, 609-814.

Sloan, E. D., 1998 Clathrate Hydrates of Natural Gases. Second edition, Marcel Dekker Inc.:New York.

Sloan, E. D., 2000 Hydrate Engineering. Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc: Texas.

Taner, M. T., F. Koehler, and R. E. Sheriff., 1979. Complex seismic trace analysis: Geophysics, **44**, p. 1041-1063.

Tanoğlu, A., 1971. Enerji Kaynakları, İ. Ü. Coğ. Enst. Yay. İstanbul.

Turgut, S., Türkaslan, M., Perincek, D., 1991. Evolution of the Thrace sedimentary basin and its hydrocarbon prospectivity. In: Spencer, M.A. (Ed.), Generation, Accumulation, and Production of Europe's Hydrocarbons. Oxford University Press, Oxford, pp. 415–437.

Tüysüz, O. Petrol Jeolojisi Ders Notları, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yamanlar , S., Parlaktuna M., 2002. TÜBİTAK_TTGV Bilim –Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu Deniz ve Denizaltı Kaynaklarından Yararlanma Teknolojileri Çalışma Grubu Deniz Ve Denizaltı Enerji Kaynakları, Maden ve Endüstriyel Hammaddeler Alt Grubu Raporu: Gaz Hidrat, Ankara.

YU, G., 1985. Offset-amplitude variation and controlled amplitude processing : Geophysics, **50**, 2697-2708.

W. M. Telford., L. P. Geldart., and R. E. Sheriff.,1991. Applied Geophysics (2nd edition), 770 pp.,Cambridge University Press, Cambridge.

Zoeppritz, K., 1919. Erdbebenwellen VIII B, On the reflection and penetration of seismic waves through unstable layers: Goettinger Nachr., pages 66–84.

http://www.aug.geophys.ethz.ch/teach/iuugeophysik/10_seismogram_preprocess_amplitude_freq.pdf

http://geology.usgs.gov/connections/mms/joint_projects/methane.htm

http://www.dynatog.who.edu/.../gas_hydrates/hyd_gas_ov.png

<http://marine.usgs.gov/fact-sheets/gas-hydrates/title.html>

<http://www.netl.doe.gov/technologies/oilgas/FutureSupply/MethaneHydrates/about-hydrates/conditions.htm>

http://gsc.nrcan.gc.ca/gashydrates/canada/index_e.php

http://web.deu.edu.tr/seislab/tr_gazhidrat.html

<http://unit.aist.go.jp/mhlabo/file.files/e-system.jpg> transportation-production.html

http://www.mes.co.jp/english/mes_technology/ngh.html

http://www.openlearn.open.ac.uk/.../2292/S278_1_021i.jpg

<http://www.bp.com>

<http://www.petrol.itu.edu.tr/documents/turkiyedepetrol.html>

http://www.pmo.org.tr/pmo_yeni/pmo1/petrolnedir/petrolnedir2.htm

http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/yenilenebilen_enerji

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Petrol>

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Komur>

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrokarbon>

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Dogalgaz>

http://www.dtm.gov.tr/dtmadmin/dogalgaz_rezervleri.doc

<http://www.tki.gov.tr>

<http://www.mta.gov.tr>

EKLER

EK A MATLAB DÜZ ÇÖZÜM PROGRAM KODLARI

```

tt=[0;0;0;0]
% Geliş açısı P ve S dalgaları için matris şeklinde okutuluyor.
    tt1= 0; açısı, tt2= 0; açısı,    tt=(0;1)açısı,    tt=(0;2) açısı
%ortama ait sismik hız değerleri matris formunda tanıtılıyor.Sırasıyla birinci
    ortamın P dalga hızı,S dalga hızı,2.ortamın P dalga hızı,S dalga hızı.
%1.ortama ait yoğunluk değeri programda tanıtılıyor
%1.ortama ait yoğunluk değeri programda tanıtılıyor
%Grafikde Hesaplamalar için Y eksenini oluşturuluyor
%Grafikde Hesaplamalar için X eksenini oluşturuluyor
    % 0 dereceden 45 dereceye kadar döngü içinde açılar Snell yasasına göre hesaplanıyor
    for j = 0:45;
        tt(1)=pi / 180 * j
        for i = 2:4
            tt(i) = asin(v(i)*(sin(tt(1)/v(1)))) ;
        end
        A = [sin(tt(1))    cos(tt(2))    -sin(tt(3))    cos(tt(4));
            -cos(tt(1))    sin(tt(2))    -cos(tt(3))    -sin(tt(4));
            sin(2*tt(1))    (v(1)/v(2))*(cos(2*tt(2)))    (r1*v(2)^2*v(1))/(r1*v(2)^2*v(3))*sin(2*tt(3))    ((r2*v(4)*v(1))/(r1*v(2)^2))*cos(2*tt(4));
            cos(2*tt(2))    -(v(2)/v(1))*sin(2*tt(2))    -((r2*v(3))/(r1*v(1)))*cos(2*tt(4))    -((r2*v(4))/(r1*v(1)))*sin(2*tt(4))];
        % Zoeppritz denkleminin A matris formunda yazılması
        B = [-sin(tt(1));    -cos(tt(1));    sin(2*tt(1));    -cos(2*tt(2))] % B matrisi yazılıyor
        sonuc = inv(A)*B
        p = 180/pi;
        gralx(j+1)=asin(tt(1))*p; % Hesaplanan açılar derece çevrilip 1.grafik için X eksenini değerleri oluşturuluyor
        gra2x(j+1)=asin(tt(1))*p; % Hesaplanan açılar derece çevrilip 2.grafik için X eksenini değerleri oluşturuluyor
    end
    plot(gra1x,graly); %Grafik çizimleri için kodlarla eksen isimleri oluşturularak grafikler çizdiriliyor.
    legend('RP')
    xlabel('Degree')
    ylabel('Amplitude')

```

ÖZGEÇMİŞ

Mine Güreli, 1981 yılında İstanbul'da doğdu. İlkokul ve ortaokul öğrenimini Oruçgazi İlköğretim okulunda tamamladıktan sonra orta öğretimini 1995-1999 yılları arasında Fatih Pertevniyal Lisesi (yabancı dil)'nde tamamladı. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde Lisans Öğrenimine başladı. 2005 yılında lisans öğrenimini tamamladıktan sonra, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı bölümünde öğrenimine devam etmektedir. 2005 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Dönüşüm Merkezinde Jeofizik Mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve aynı birimde görevine devam etmektedir.