

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZMİR, GÜLBAHÇE VE SIĞACIK KÖRFEZLERİ'NİN SIĞ SİSMİK
YANSIMA VERİLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zehra ALTAN

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZMİR, GÜLBAHÇE VE SIĞACIK KÖRFEZLERİ'NİN SIĞ SİSMİK
YANSIMA VERİLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zehra ALTAN
(505111409)**

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Neslihan OCAKOĞLU GÖKAŞAN

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111409 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zehra ALTAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İZMİR, GÜLBAHÇE VE SIĞACIK KÖRFEZLERİ’NİN SIĞ SİSMİK YANSIMA VERİLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Neslihan OCAKOĞLU GÖKAŞAN**.....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Doğa DÜŞÜNÜR DOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hakan ALP
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2014**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, TUBİTAK-İTÜ-MTA işbirliğinde 2000 yılında MTA Sismik-1 Araştırma Gemisi ile bölgede toplanan tek ve çok kanallı sismik yansıma verileri işlenmiş ve sismik kesitlerde görülen özel yapılar karmaşık iz nitelik analizleri ile incelenmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca büyük bir özveri göstererek yardım ve desteğini esirgemeyen, tecrübe ve bilgilerini paylaşan, danışman hocam Doç. Dr. Neslihan OCAKOĞLU GÖKAŞAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım sırasında görüş ve önerilerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Doğa DÜŞÜNÜR DOĞAN'a teşekkür ederim.

Tüm tez çalışmalarım sırasında her türlü desteğini gördüğüm, imkan ve yardımlarını esirgemeyen, her ihtiyacım olduğunda yardımına koşan sevgili çalışma arkadaşım Araş. Gör. N. Gözde OKUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca bana destek olan aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2014

Zehra ALTAN
Jeofizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. TÜRKİYE’NİN TEKTONİK YAPISI VE JEOTERMAL POTANSİYELİ...	1
1.1 Türkiye’nin Aktif Tektoniği.....	1
1.2 Türkiye’nin Jeotermal Potansiyeli	4
1.3 Çalışma Sahası	6
1.4 Çalışma Sahasının Aktif Tektoniği ve Jeotermal Potansiyeli	8
1.5 Çalışma Sahasının Depremselliği.....	12
1.6 Çalışmanın Amacı	14
2. SİSMİK YANSIMA YÖNTEMİ	17
3. SİSMİK YANSIMA VERİLERİNİN İŞLENMESİ VE KARMAŞIK İZ NİTELİK ANALİZLERİ	23
3.1 Veri Toplama Parametreleri	24
3.2 Tek Kanallı Sismik Yansımaya Verilerinin Veri-İşlem Adımları	24
3.2.1 SEG-D veri formatının okutulması	26
3.2.2 İzlerin ayıklanması	26
3.2.3 Tek izin seçimi	27
3.2.4 Kaynak- Alıcı datum düzeltmesi.....	28
3.2.5 Yığılma kesiti eldesi	28
3.2.6 NMO düzeltmesi	29
3.2.7 Çentik süzgeçleme	29
3.2.8 Küresel açılım düzeltmesi	30
3.2.9 Sismik göç.....	32
3.2.10 Kesme ve band geçişli süzgeç.....	33
3.3 Çok Kanallı Verilerin Veri-İşlem Adımları	34
3.3.1 CDP düzenine geçiş	34
3.3.2 Hız analizi	35
3.3.3 Yığılma.....	37
3.3.4 Göç	38
3.4 Sismik Modelleme Çalışması	38
3.5 Karmaşık İz Nitelikleri Analizi	40
3.5.1 Anlık genlik (Yansımaya Gücü)	42
3.5.2. Anlık faz.....	42
3.5.3 Anlık frekans	42
3.5.4 Anlık fazın kosinüsü ve sinüsü	42
4. SİSMİK YANSIMA KESİTLERİNİN KARMAŞIK İZ NİTELİK ANALİZLERİ İLE BİRLİKTE YORUMLANMASI	43
4.1 Hat 1 ‘in Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri	43

4.2 Hat 2'nin Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri	49
4.3 Hat 3 'ün Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri	55
4.4 Hat 4 'ün Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri	61
4.5 Hat 5 'in Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizi Sonuçları	64
4.6 Hat 6'nın Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri	67
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

AGC	: Otomatik Genlik Kazancı
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
NMO	: Dik Yola Kaydırma Düzeltmesi
CDP	: Ortak Derinlik Noktası
CMP	: Ortak Orta Nokta
DAF	: Doğrultu Atımlı Fay
DAFZ	: Doğrultu Atımlı Fay Zonu
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Sismik veri toplama parametreleri	24
---	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1.1** : Türkiye'nin aktif tektonik haritası (Okay ve diğ., 2000'den değiştirilerek alınmıştır). 2
- Şekil 1.2** : Türkiye için GPS hız vektörleri (Reilinger ve diğ., 2010). 3
- Şekil 1.3** : Çalışma alanının depremselliği (1969-2014 yılları arasındaki USGS verileri kullanılarak hazırlanmıştır). 3
- Şekil 1.4** : İdeal jeotermal sistemin şematik gösterimi (Mary H. Dickson ve Mario Fanelli, 2004). 4
- Şekil 1.5** : Türkiye'nin jeotermal potansiyeli (ZREU, 2005'ten değiştirilerek). 5
- Şekil 1.6** : Batı Anadolu alanında en sıcak yerler için kesişme modeli (Ercan, 1997'den değiştirilerek). 6
- Şekil 1.7** : A) Çalışma sahasının kara jeolojisi (Ocakoglu ve diğ., 2005) B) Bölgede bulunan aktif faylar (Ocakoglu, 2004'ten değiştirilerek). 7
- Şekil 1.8** : Çalışma alanı diri fay haritası (MTA'nın Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritaları serisi 1/25.000 ölçekli Urla ve İzmir paftalarının birleştirilmesiyle elde edilmiştir). 9
- Şekil 1.9** : Gülbahçe Körfezi'ne ait batimetri haritası ve deniz tabanında gözlemlenen morfolojik yükselteleri gösteren ekosounder kesiti (Pekçetinöz, 2010'dan değiştirilerek). 10
- Şekil 1.10** : a) Olası gaz içeren sedimanlarda gözlenen akustik gölge zonu b) İzmir Körfezin'nde tespit edilen diapirik yapıları gösteren CHIRP kesiti c) İzmir Körfezi'nde gaz içeren sedimanların deniz tabanından derinliğini gösteren harita (Dondurur, 2011'den değiştirilerek). 11
- Şekil 1.11** : A) Çalışma alanının 1969-2004 yılları arasındaki depremselliği B) Çalışma alanının 2004-2014 yılları arasındaki depremselliği (Her iki depremsellik haritası 1969-2014 yılları arasındaki USGS deprem katalogları kullanılarak hazırlanmıştır). 13
- Şekil 1.12** : Çalışma alanındaki deprem lokasyonları ve fay düzlemi çözümlerini gösteren harita. Sağ üst köşede ise sismoloji istasyon ağı gösterilmektedir. Siyah çizgiler fayları temsil etmektedir. SK:Sığacık Körfezi, GK:Gerence Körfezi, SFZ:Seferihisar Fay Zonu, GFZ:Gülbahçe Fay Zonu, OFZ:Orhanlı Fay Zonu (Tan, 2012'den değiştirilerek alınmıştır). 14
- Şekil 2. 1** :Yatay tabakalı bir ortamda sismik yansıma yönteminin şematik gösterimi ve örnek modelin zaman uzaklık varış eğrileri.....17
- Şekil 2. 2** :Yatay tabakalı bir ortamda arayüze gelen P dalgasına göre oluşan yansıma ve kırılma dalgalarının gösterimi 18
- Şekil 2. 3** :A) Örnek bir sıfır fazlı dalgacık. B) Bu dalgacığın akustik empedansları farklı bir arayüzeyden yansıması ve bunun sonucunda oluşan yansıma katsayıları serisi ile negatif ve pozitif polarite kavramı 19
- Şekil 2. 4** :Örnek bir kesitte hız çekmesi gösterimi (Müller, 2001) 20
- Şekil 2. 5** :Örnek kesitte hız çekmesi gösterimi (Lee ve diğ.,2005'den değış.) 21

Şekil 3.1 : Çalışma sahasının batimetrisi ve sismik hatların lokasyonlarını gösteren harita (Ocakoglu, 2004'den değiştirilerek).....	23
Şekil 3.2 : Veri-işlem akış diyagramı.	25
Şekil 3.3 : Tamamıyla veriden atılacak örnek bir atış kaydı.	26
Şekil 3.4 : Örnek bir atış kaydında aletsel gürültü kaydeden kanalın veriden atılması.....	27
Şekil 3.5 : A) Örnek bir atış kaydında seçilen izin gösterimi, B) Her atıştan seçilen 6. izin yanyana diziliminin şematik gösterimi.	28
Şekil 3.6 : Seçilen tek izlerin yanyana dizilimi ile elde edilmiş yığma kesiti.	29
Şekil 3.7 : A) Çentik filtreleme öncesi, B) Çentik filtreleme sonrası.	30
Şekil 3.8 : A) Küresel açılım düzeltmesi öncesi B) Küresel açılım düzeltmesi sonrası.	31
Şekil 3.9 : A) Göç öncesi B) Göç sonrası.	32
Şekil 3.10 : A) Göç kesitine ait frekans spektrumu, B) Göç kesitinin filtreleme öncesi durumu ve filtreleme işlemi sonrası iyileşme görülen kısımlar.	33
Şekil 3.11 : Örnek bir kesitte elde edilen 15 katlamalı CDP düzeninin gösterimi. ...	34
Şekil 3.12 : Solda NMO düzeltmesi yapılmış CDP'ler, sağda ise CDP'nin hız spektrumu.	36
Şekil 3.13 : A) Hat-6'ya ait yığma kesiti.	37
Şekil 3.14 : Hat-6'ya ait göç kesiti.	38
Şekil 3.15 : Modelleme adımları.....	39
Şekil 3.16 : Normal geliş açısı için ışın izleme yöntemi (Disco/Focus Help Manual).....	39
Şekil 3.17 : Hilbert dönüşüm çifti (Bracewell, 1965 'den değiştirilerek alınmıştır).	41
Şekil 4.1 : A) Hat-1'e ait sismik kesit B) Hat-1'in yapısal ve stratigrafik yorumu....	44
Şekil 4.2 : A) Hat-1'e ait yansıma gücü kesiti B) Hat-1'e ait anlık frekans kesiti	46
Şekil 4.3 : Hat-1'e ait anlık faz kesiti	47
Şekil 4.4 : A) Hat-1'e ait fazın kosinüsü kesiti B) Hat-1'e ait fazın sinüsü kesiti.....	48
Şekil 4.5 : A) Hat-2'ye ait sismik kesit B) Hat-2'in yapısal ve stratigrafik yorumu .	50
Şekil 4.6 : A) Hat-2'ye ait yansıma gücü kesiti B) Hat-2'ye ait anlık frekans kesiti.....	51
Şekil 4.7 : A) Hat-2'ye ait anlık faz kesiti B) Hat-2'ye ait anlık fazın kosinüsü kesiti.....	52
Şekil 4.8 : Sismik kesitte tespit edilen çamur diapiri yapısı ve bu yapının nitelik analizi sonuçlarının karşılaştırılması	53
Şekil 4.9 : A) Model geometrisi ve parametreleri B) Modelleme sonucu elde edilen sentetik kesit C) Model için temel alınan sismik yansıma kesiti	54
Şekil 4.10 : A) Hat-3'e ait sismik kesit B) Hat-3'ün yapısal ve stratigrafik yorumu.....	56
Şekil 4.11 : A) Hat-3'e ait yansıma gücü kesiti B) Hat-3'e ait anlık frekans kesiti ..	58
Şekil 4.12 : A) Hat-3'e ait anlık faz kesiti B) Hat-3'e ait anlık fazın kosinüsü kesiti.....	59
Şekil 4.13 : Sismik kesitte tespit edilen olası gazlı sedimanlar ve bunların nitelik analizi sonuçlarının karşılaştırılması	60
Şekil 4.14 : A) Hat-4'e ait sismik kesit B) Hat-4'ün yapısal ve stratigrafik yorumu.....	61
Şekil 4.15 : A) Hat-4'e ait anlık yansıma kesit B) Hat-4'e ait anlık frekans kesiti.....	62

Şekil 4.16 : A) Hat-4'e ait anlık faz kesit B) Hat-4'e ait anlık fazın kosinüsü kesiti	63
Şekil 4.17 : A) Hat-5'e ait sismik kesit B) Hat-5'in yapısal ve stratigrafik yorumu.....	64
Şekil 4.18 : A) Hat-5'e ait anlık genlik kesiti B) Hat-5'e ait anlık frekans kesiti	65
Şekil 4.19 : A) Hat-5'e ait anlık faz kesiti B) Hat-5'e ait anlık fazın kosinüsü kesiti	66
Şekil 4.20 : A) Hat-6'ya ait sismik kesit B) Hat-6'nın yapısal ve stratigrafik yorumu.....	67
Şekil 4.21 : A) Hat-6'ya ait anlık genlik kesiti B) Hat-6'ya ait anlık frekans kesiti	68
Şekil 4.22 : A) Hat-6'ya ait anlık faz kesiti B) Hat-6'ya ait anlık fazın kosinüsü kesiti	69

İZMİR, GÜLBAHÇE VE SIĞACIK KÖRFEZLERİ'NİN SIĞ SİSMİK YANSIMA VERİLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada tek kanallı ve çok kanallı sismik yansımaya verileri kullanılarak Batı Anadolu'nun, Ege kıyılarında yer alan Gülbahçe, İzmir ve Sığacık Körfezleri'nin stratigrafik ve yapısal unsurlarının rutin veri işlem yöntemleri ve karmaşık iz nitelik analizleri ile araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma alanında karada önemli sıcak su çıkışları mevcuttur. Bu sistemlerin deniz içerisinde devamlılıklarının araştırılması ve bölgenin jeotermal aktivitesinden sorumlu yapısal unsurların sismik kesitlerdeki imzalarının ortaya konması açısından bu tez çalışması kapsamında TÜBİTAK-İTÜ-MTA işbirliğinde 2000 yılında MTA Sismik-1 Araştırma Gemisi ile bölgede toplanan 5 adet tek kanallı ve 1 adet çok kanallı sismik yansımaya verileri işlenmiş ve yorumlanmıştır.

Sismik veriler İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü 'Nezihi Canitez Veri İşlem Laboratuvarı'nda Linux/Unix işletim sistemi altında çalışan Disco/Focus 5.0 ve Echos 2011.1 versiyonlu yazılımlar kullanılarak işlenmiştir. Sismik yansımaya verileri ham atış dâtasından zaman ortamı migrasyonlu kesit eldesine kadar rutin veri-işlem adımlarından geçirilmiştir. Çalışma sahasında olası su veya gaz çıkışlarının sismik kesitlerdeki imzasını inceleme adına rutin veri işlem uygulamaları sırasında yansımaya sinyallerinin gerçek genlik değerlerini korunmuş ve verilere otomatik genlik kazancı (AGC) uygulanmamıştır. Daha sonra zaman ortamı göç işlemi uygulanarak elde edilmiş olan sismik yansımaya kesitlerinin karmaşık iz nitelik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu her bir yansımaya profiline ait anlık genlik, anlık frekans, anlık faz ve fazın kosünüsü kesitleri elde edilmiştir.

Elde edilen tüm kesitler stratigrafik ve yapısal anlamda yorumlanmıştır ve birbiri ile ilişkilendirilmiştir. Bu yorumlamalar sonucu yeraltının deniz tabanından itibaren yaklaşık 1 km derinliklerine kadar sismik hız yapısı ortaya çıkarılmıştır.

Bölgede stratigrafik anlamda kaotik yansımaya şekillenmesine sahip akustik bir temel ve onun üzerinde yatay tabakalı sediman birikiminin olduğu genç çökeller görülmüştür. Yapısal anlamda ise bölgede pekçok aktif fay haritalanmıştır. Bu faylar genellikle doğrultu atım karakterli olup fay zonları şeklinde Gülbahçe-Sığacık ve İzmir Körfezi içerisinde haritalanmıştır. Bölgede az oranda aktif normal fay da haritalanmıştır. Normal fayların deniz tabanında atımları çok düşük ve açıları oldukça diktir. Bu faylar İzmir Körfezi'nin iç kısmında İzmir Fayı'nın deniz içerisindeki devamında haritalanmıştır. D-B yönelimli sismik kesitlerde haritalanan yapısal unsurlardan doğrultu atımlı faylar bölgede K-G yönelimlerde deformasyona sebep olurken; K-G doğrultularındaki sismik kesitlerde haritalanan normal faylar ise bölgede D-B doğrultularında haritalanmıştır.

Karmaşık iz nitelik analizleri yapısal ve stratigrafik yorumlamalarda oldukça önemli bir rol oynamıştır. Örneğin fay olan alanlarda yanal yönde anlık genlik, anlık faz ve anlık frekansta zayıf yansımalar, düşük frekans içeriği ve devamsızlıklar sırasıyla gözlenmiştir. Özellikle Gülbahçe Körfezi'nde su ve gaz çıkışlarının olduğu alanlarda gözlenen olası çamur diapirleri haritalanmıştır. Bu diapirik yapılar doğrultu atımlı fay kontrollü olup, bölgede deniz içerisinde sıcak su çıkışlarının varlığını destekler niteliktedir. Sözkonu yapılarında anlık, genlik, anlık frekans ve anlık faz kesitlerinde sırasıyla zayıf yansıma gücü, frekansta soğrulma ve yanal yönde takip edilememe gözlenmiştir. Yine İzmir Körfezi içerisinde genç çökellerde ve sığdaki bir paleo-delta yapısında görülen yansısız zonlar ve çok sayıda fay kontrollü olası su veya gaz çıkışları bölgede karada varolan sıcak su ve gaz çıkışlarının deniz içerisinde devamlı olduğunun delillerini ortaya koymaktadır.

INVESTIGATION OF GULF OF İZMİR, GÜLBAHÇE AND SIĞACIK BAYS BY SHALLOW SEISMIC REFLECTION DATA

SUMMARY

Nowadays, seismic reflection method is one of the most useful geophysical methods in exploration of the subsurface in detail. In the past 20 years, the quality of seismic information has been greatly improved. The reflection technique has the potential for being more powerful in terms of its ability to generate interpretable observations over complex geologic structures. Recent applications of the marine seismic methods make it possible to investigate submarine structures and correlate them with onland tectonic features.

The purpose of this study is the investigation of the stratigraphic and structural features of the Gülbahçe, İzmir and Siğacık Bays to understand the offshore geothermal potential of the area in the western Anatolian Coast by single channel shallow seismic reflection data. For these aims, two types of process were applied to data. First is conventional process to obtain time migrated seismic sections and the second is complex trace attribute analysis to obtain the attribute sections such as reflection strength, instantaneous frequency, instantaneous phase, cosine and sine of phases.

Turkey has very special geographic position at the crossroads between Europa and Asia and it is located on an active tectonic, orogenetic belt, the Alpine-Himalaya Orogen with young trenches, active tectonic and volcanism which is the reason for Turkey's substantial geothermal resources. The study area is located in the central Aegean Sea, along the western coasts of Anatolia including Gulf of İzmir, Gülbahçe and Siğacık Bays. Western Anatolia and Aegean Sea are commonly considered as under N-S extension in response to westward motion of Anatolian block which is in collision with Arabian Plate. Onland sources that contain high-temperature geothermal fluid exist mostly in Western Turkey which includes study area because of grabens that are formed in result of recent tectonic activities. Onshore geology of the study area is widely covered by Mio-Pliocene and younger units. Additionally, Pre-Miocene basement, which consists of Silurian, Carboniferous, Triassic and Cretaceous rocks, only crops out along high elevated areas such as Karaburun, Seferihisar.

Although the onland geothermal systems are well known in this region, their offshore continuation, structural and stratigraphical features and seismic signatures on the sections are not studied in detail to day. and seismic signatures It is very well known onland geothermal systems. For these aims, approximately total of 68 km seismic reflection data which were collected in E-W and NE-SE orientations by MTA Sismik-1 research vessel in cooperation with MTA-TÜBİTAK-İTÜ during the summer of 2000, were processed and interpreted.

The seismic data were processed in the 'Nezihi Canitez Data Processing Laboratory' of the Department of Geophysics, İTÜ by using Disco/Focus 5.0 and Echos 2011.1 data processing softwares. A conventional data processing stream was applied to the single channel seismic reflection data as follows: data transcription, editing, choosing

one channel, source-receiver array datum correction, sorting, NMO correction, notch filtering, spherical divergence correction, migration, band-pass filtering for single channel lines. For one multi-channel seismic line, multi-channel seismic processing steps were applied to data which includes velocity analysis, stack, deconvolution and migration steps differ than single channel process. Particularly, automatic gain analysis was not applied to data to keep the true amplitudes. Moreover, to exhibit the special structures in the seismic sections, complex trace attribute analyses were applied to the data. By this method, the seismic signatures of possible fluid or gas saturated sediments and their outflows were investigated in detail. Seismic attributes sections and conventionally processed seismic sections were interpreted together to understand the submarine structure and stratigraphy which may be responsible from possible geothermal or gas pathways of this region from sea floor to approx. 1 km depth.

Stratigraphically, one main erosional surface was interpreted which separates the lower seismic basement unit with chaotic reflection pattern from the upper basin sediments with parallel reflection configuration. The upper seismic unit was interpreted as basin deposits that onlap the basement surface. The upper sediments were marked as Pliocene–Quaternary deposits while the lower basement was interpreted as Miocene rocks due to Oçakoğlu (2004) study.

Tectonically, many active faults were identified on the sections. According to these interpretations, some faults were interpreted as primary faults and some of them are secondary faults in this region which they align from N-S to NE-SW directions. Primary faults have mostly strike-slip characters and are seen as fault zones on the seismic sections in the Gülbahçe and Sığa. However, secondary faults which have normal characters were rarely mapped at the inner part of the Gulf of İzmir. These faults have very little slip on the sea floor, also they have right-angled. The major of them was followed as the offshore extension of İzmir Fault at the inner part of Gulf of İzmir. It lies in E-W direction.

After conventional data processing, complex trace attribute analyses were applied to the seismic data to reveal detailed special structures in seismic section which is not possible with conventional seismic data processing. These analyses effect on two quantities which are amplitude and phase. The amplitude attribute is called “reflection strength”. The phase information is both an attribute in its own right and the basis for instantaneous frequency measurement. Amplitude and phase information are also combined in additional attributes, cosine and sine of phase. All of these attributes, reflection strength, instantaneous frequency, instantaneous phase, cosine and sine of phase were decided to apply to data after considerable number of tests.

Complex trace attribute analysis were applied to the seismic sections in which were observed some elevated structures on the reflection levels in Gülbahçe Bay. Inside these elevated structures, it is seen that the reflection strength and continuity are very weak and frequency content is absorbed. These structures were interpreted as possible mud diapirs which represent the early stage of a mud volcano. Diapiric structures are known as domes or anterooms produced by the plastic deformations or flow of fine-

grained sediments; they may deform or rupture overlying rocks. Indeed, many mud volcanoes are developed in the crests of such diapirs, but also, many of them are not connected with diapiric structures at all. It is thought that there is a mass transport in the crest of these structures because of the plastic deformation of the tectonic regime of the region. These diapirs formed by the input of the fluidized sediment along the fracture zones, have risen from depth due to density inversion and appear on/under the seafloor. There are two main reasons for these kind of structures: first one is the high sediment accumulation rate, second one is the lateral tectonic compression which makes study region perfect place for these kind of structures. Hence, some possible mud diapirs inside the compressed sediments in the Gülbahçe Bay were interpreted on the seismic sections due to their complex attributes.

In addition to Gülbahçe Bay, conventional data processing steps applied to the seismic data in Gulf of İzmir. Same seismic units are observed in Gulf of İzmir. Thicker basin deposits separated with an erosional surface from acoustic basement. Complex trace attribute analysis were applied to the seismic sections in Gulf of İzmir too. Particularly, It was seen very low amplitude values in reflection strength section and very low frequency values in instantaneous frequency section at the shallower part of section which corresponds to offshore continuation of Gediz Delta inside the gulf. Structurally, it is seen that the gulf of İzmir was highly deformed by strike-slip faults. These fault can be seen as fault zones on the seismic sections. These structural features are well defined on the attribute sections. Particularly, cosine and sine of phases were used to crosscheck these faults on the seismic sections. These attributes have indicated possible potential gas or fluid saturated sediments in the shallow depth and pathways of these contents along fault zones in the Gulf of İzmir.

It is seen that not only normal faults are responsible from the geothermal activity in the study area but also strike-slip faults are. It is concluded that high deposition rate of organic-rich material from the Gediz River drives biogenic gas generation in the muddy sediments in Gulf of İzmir resulting in acoustic turbidity on the seismic data.

Although, we have shown evidence for shallow gas related formations in the Gulf of İzmir, some analyses still need to be done to reveal sign of faults on the sea floor and some chemical analyses need to be done to decide whether these activities in the study area are geothermal or gas related. Deeper structures and their possible connection to a deeper overpressured shale formation and their relation to the gas charged sediments in the area should be carefully investigated.

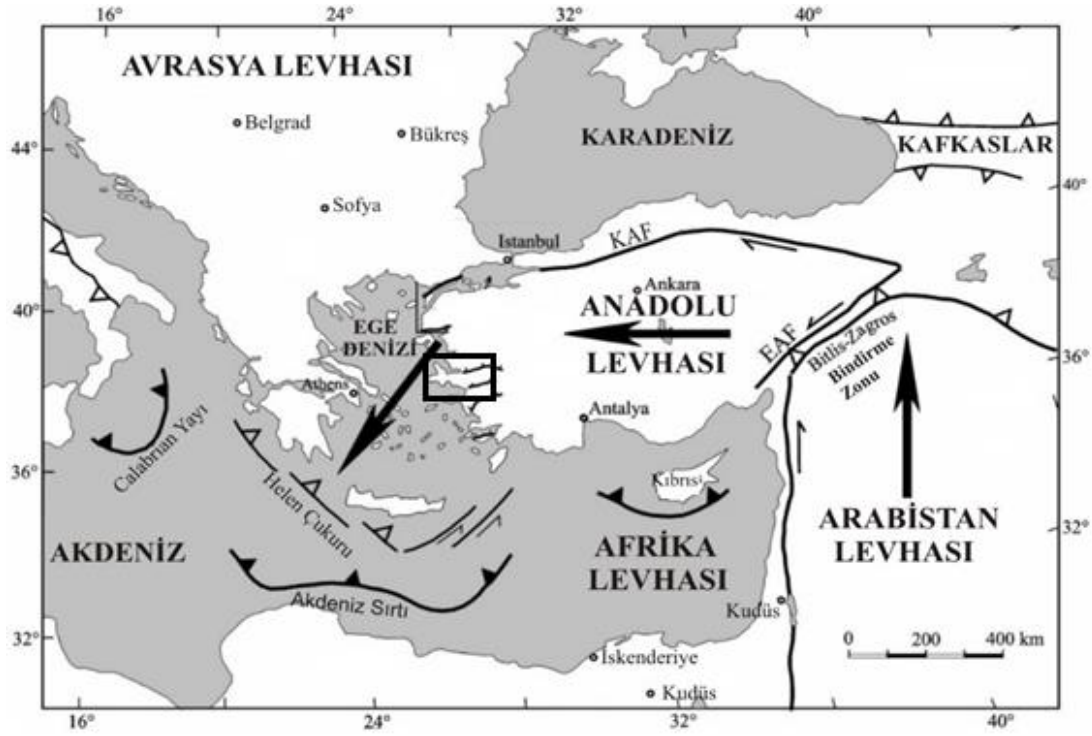
1. TÜRKİYE’NİN TEKTONİK YAPISI VE JEOTERMAL POTANSİYELİ

1.1 Türkiye’nin Aktif Tektoniği

Neotektonik dönem bir bölgede meydana gelmiş olan son tektonik rejim değişikliğinden günümüze kadar geçen zaman içerisindeki tektonizmanın tümüdür. Türkiye’nin neotektonik dönem aktif tektoniği üzerine yapılan çalışmalar (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1980 ve 1982; Barka ve Kadinsky-Code, 1988; Taymaz ve diğ., 1990; Şaroğlu ve diğ., 1992; Barka ve Reilinger, 1997; Okay ve diğ., 1999; İmren ve diğ., 2001) ile beş ana yapı ve bu yapıların oluşturduğu üç ana bölge ile tarif edilmiştir (Şekil 1). Buna göre neotektonik dönemi şekillendiren ana yapılar şu şekilde sıralanabilir.

- Ege-Kıbrıs Yayı
- Kuzey Anadolu Fay Zonu
- Doğu Anadolu Fay Zonu
- Bitlis-Zagros Bindirme Zonu
- Ölü Deniz Fayı

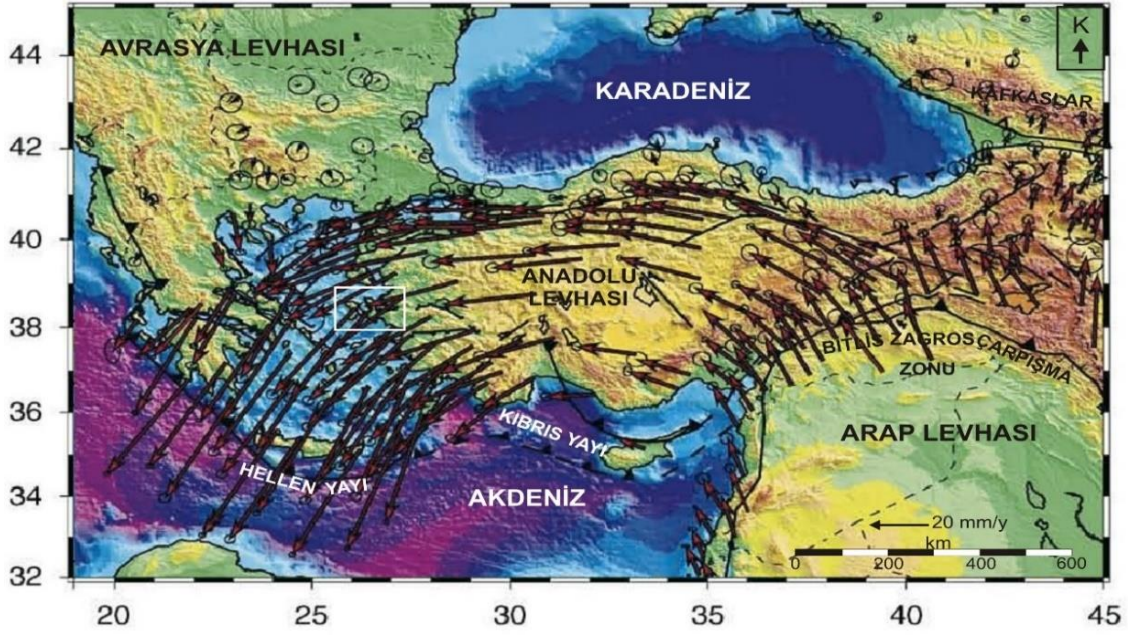
Şengör (1980), bu ana yapıların şekillendirdiği tektonik bölgeleri üçe ayırmıştır. Bunlar; Doğu Anadolu sıkışma bölgesi, Orta Anadolu ovalar bölgesi ve Ege graben sistemidir. Bu bilgilere göre Batı Anadolu’nun aktif tektoniği iki büyük jeolojik olayın etkisindedir. Bunlar Ege dalma-batma sistemi ve Arabistan levhasının Bitlis Sütur Zonu boyunca Anadolu’yu kuzey yönde sıkıştırmasıdır (Şekil 1.1). Orta-geç Miyosen döneminde başlayıp günümüze dek devam eden Arabistan ve Avrasya levhalarının birbirine doğru hareketi, bu levhaların sınırları arasında kalan Doğu Anadolu kabuğunun K-G yönünde kışalmasına ve kalınlaşmasına neden olmuştur. Ancak bir süre sonra bu kalınlaşmayı daha fazla karşılayamayan Anadolu levhası Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu transform fayları boyunca batıya doğru kaçmaya başlamıştır.



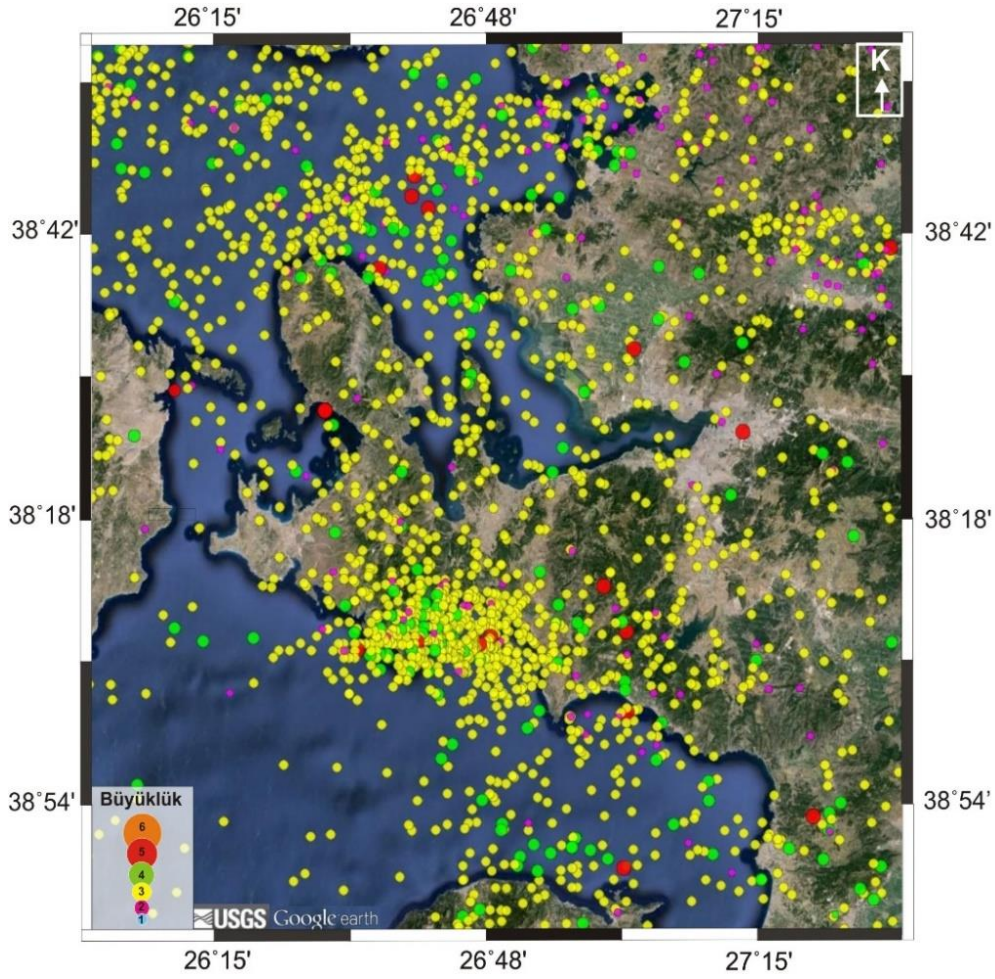
Şekil 1.1 : Türkiye'nin aktif tektonik haritası (Okay ve diğ., 2000'den değiştirilerek alınmıştır).

Batıda ise, Anadolu'nun altına kuzey yönü boyunca dalan Afrika levhasıyla karşılaşır. Afrika levhasının bu dalma-batma hareketi Batı Anadolu kabuğunun genişlemesine ve volkanizmaya neden olmaktadır. Böylece batıdaki dalma-batmadan kaynaklı "çekme" hareketi ile doğudaki bindirmeden kaynaklı "itme" hareketi etkisi altında kalan Anadolu-Ege bloğu saatin tersi yönünde rotasyonel bir hareket yapmaya başlamıştır (Taymaz ve diğ., 1990, 1991a, 1991b, 2007; Şengör, 1979, 1980). İran'ın güneyinden başlayıp Anadolu ve Ege bölgesini de içine alan ve 7×10^6 km²'lik bir alanı kapsayan bu rotasyonel hareketin değerini Reilinger ve diğ. (2006), Doğu Anadolu'da 20.6 ± 0.8 mm/y, Batı Anadolu'da 24.6 ± 1.0 mm/y, çalışma alanımızı da kapsayan Ege bölgesi ve güneyinde ise 31.1 ± 0.9 mm/y olarak hesaplamıştır (Şekil 1.2).

Reilinger ve diğ. (2006), Ege bölgesine doğru artan GPS hız vektör değerlerine dayanarak Anadolu'nun batıya kaçışında etken olan başlıca kuvvet olarak Afrika levhasının Hellen ve Kıbrıs yayları boyunca Anadolu'nun altına doğru kayması ve burada meydana getirdiği deformasyon olarak gösterir. Bölgedeki gerilme kuvvetleri etkisinde litosfer incelik. Litosferin inceliği ve magmanın yüzeye yaklaşmasıyla bölgede jeotermal potansiyel artarken, sismik aktivite de birçok yıkıcı depreme neden olmaktadır (Şekil 1.3) (Yılmaz, 2000).

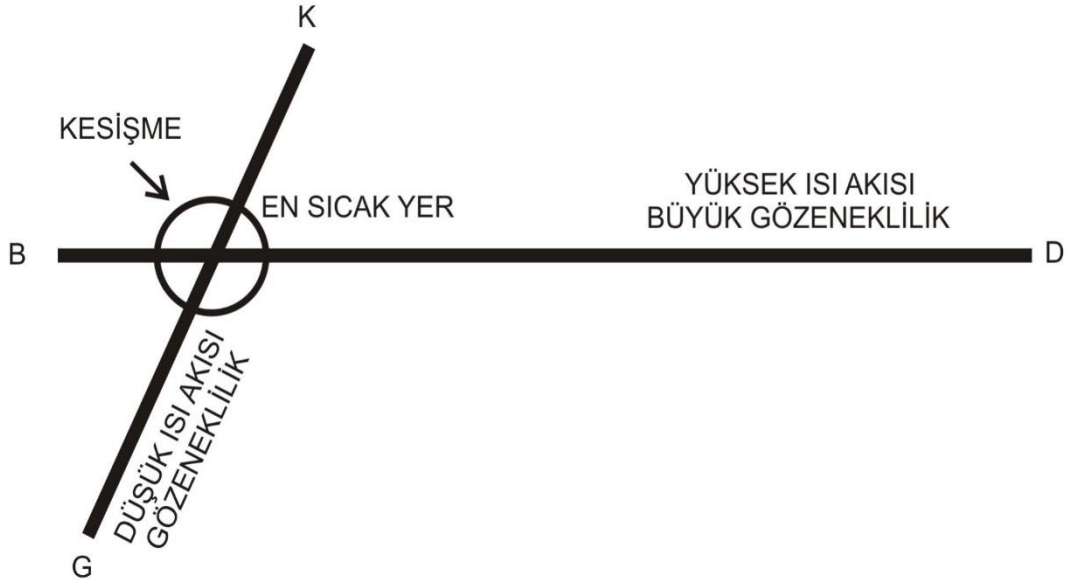


Şekil 1.2 : Türkiye için GPS hız vektörleri (Reilinger ve diğ., 2010).



Şekil 1.3 : Çalışma alanının depremselliği (1969-2014 yılları arasındaki USGS verileri kullanılarak hazırlanmıştır).

Sıcak sular hem kuzey - güney ve hem de doğu - batı çöküntüler ve kırıklar boyunca sıralanmaktadır.



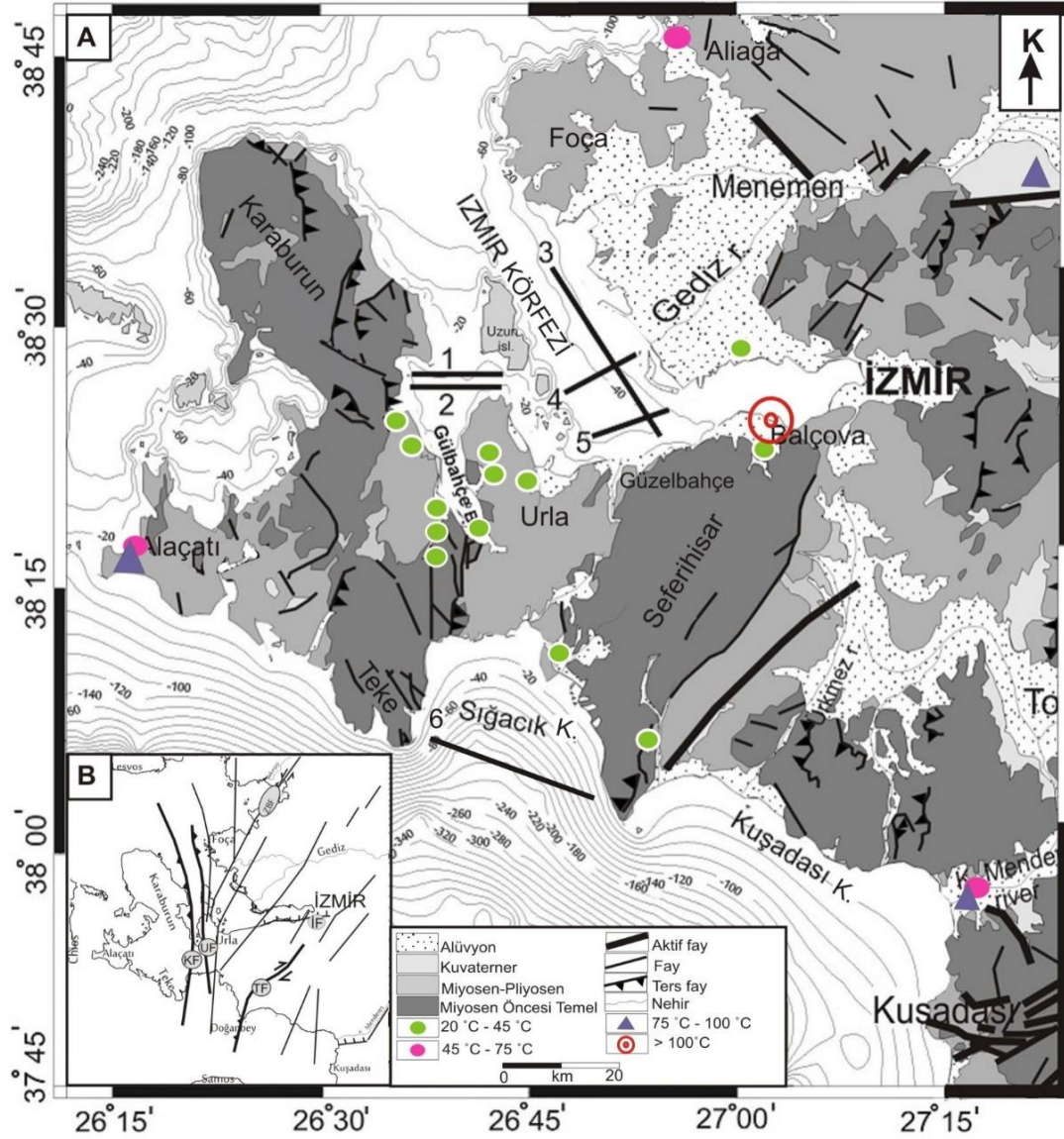
Şekil 1.6 : Batı Anadolu alanında en sıcak yerler için kesişme modeli (Ercan, 1997'den değiştirilerek).

Bu modele göre D-B doğrultulu güncel kırıkların K-G doğrultulu eski kırıklara göre daha sıcak sular ürettiği görülmektedir. Çalışma alanımızda bulunan en önemli jeotermal sahalardan biri olan Balçova jeotermal üretim sahası D-B uzanımlı İzmir fayı etkisinde en yüksek sıcaklık değerine sahip jeotermal sahalardan biridir. K-G doğrultulu fayların etkisinde olan sahalarda ise genellikle düşük-orta ısı yüklü sahalardır (Öngür, 2009). Serpen (2009)'a göre Ege kıyı kuşağında bulunan tüm bu düşük-orta ısı yüklü jeotermal sistemler grabenlerin kenarlarında oluşmuştur. Buradaki termal akışkanların kaynağı olarak çevresindeki termal ortam tarafından ısıtılmış deniz suyu olarak gösterilmiştir. İlkışık (1995), bölgenin ısı akısını değerini $107 \pm 45 \text{ mW/m}^2$ olarak hesaplamış ve bu değer dünya ortalamasının %60 üzerinde bir değer olduğunu belirtmiştir.

1.3 Çalışma Sahası

Çalışma alanımız Batı Anadolu'da D-B doğrultulu grabenlerin doğusunda yer alan K-G uzanımlı İzmir, Gülbahçe ve Sığacık Körfezleri'dir. Erdoğan (1990) bölgede üç farklı paleotektonik kuşak tanımlamıştır. Yazara göre bu kuşaklar doğudan batıya doğru, Alt Eosen yaşlı metamorfik kayalardan oluşan Menderes Masifi, masifin üzerine bindirmiş olan Kampaniyen-Daniyen yaşlı tortul kayalar ile kireçtaşı

bloklarından oluşmuş İzmir-Ankara Zonu ve kalın bir Mesozoyik karbonat istifinden oluşan Karaburun kuşağı olarak sıralanırlar. Bölgenin kara jeolojisi ve aktif fayları, basitleştirilmiş jeoloji haritasında verilmiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 : A) Çalışma sahasının kara jeolojisi (Ocakoğlu ve diğ., 2005) B) Bölgede bulunan aktif faylar (Ocakoğlu, 2004'ten değiştirilerek).

Şekil 1.7'de görüldüğü üzere bölgedeki jeolojik birimler genel anlamda K-G ve KD-GB gidişli dokanak sınırları ve süreksizliklerle birbirinden ayrılmaktadır. Bölgede Orta Üst Miyosen'den başlayıp günümüze devam eden gerilme rejimi ile oluşan neotektonik yapılar paleotektonik kuşakları etkilemiştir ve bu kuşaklar arasındaki sınırlar çoğu yerde Neojen tortullarla örtülmüştür. İzmir Körfezi ve çevresinde ırmaklarla taşınmış alüvyon çökellere rastlanırken Gülbahçe-Seferihisar arasında ve Karaburun'un kuzeyinde Karbonifer yaşlı karbonatlar ve kırıntılar görülmektedir.

Alaçatı dolaylarında ise Alt-Orta Miyosen volkanikleri hakimdir. Arazide genel anlamda en üstte beyaz renkli kireçtaşları görülmektedir (Erdoğan, 2000).

Çalışma alanındaki temel faylar ise Şekil 1.7 B’de gösterilen KD-GB ve KKB-GGD’dan K-G istikametine değişen doğrultularda uzanan; Karaburun, Zeytindağ-Bergama ve Tuzla fayları, KKB-GGD ve KD-GB istikametlerinden K-G doğrultusuna döndükleri yerlerde önemli ölçüde ters fay bileşeni kazanmaktadır. K-G uzanımlı ve önemli ölçüde ters fay bileşenine sahip olan aktif faylar Ege Denizi’nde meydana gelen D-B yönlü sıkışmanın İzmir Körfezi ve çevresindeki göstergesi olarak yorumlanmıştır (Ocakoğlu ve diğ., 2005).

1.4 Çalışma Sahasının Aktif Tektoniği ve Jeotermal Potansiyeli

Çalışma sahasının aktif tektoniğini belirlemeye yönelik çalışmaları karada yapılan ve denizde yapılan çalışmalar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

Öncelikle karada yapılan çalışmalardan, Kaya (1979), Ortadoğu Ege Çöküntüsünün, Neojen öncesinden kalıtsal, başlıca KD ile K arasında gidişli yapısal yüzeyler boyunca gelişmiş düşey yerdeğiştirmelerin ürünü olduğunu belirtmiştir. Çöküntünün batıdan Karaburun-Midilli, doğudan Menderes yapısal yükseltileriyle çevrili olduğunu söylemiş; batıdan doğuya yapısal basamaklardan oluşan Foça çöküntüsünün, Yamanlar yükseltisi ve Akhisar çöküntüsüne ayrıldığını belirtmiştir.

Şengör vd. (1984)’ne göre, D-B gidişli grabenler ana sıyrılma fayı boyunca gerilirken bu sıyrılma fayına dik yönde tavan bloğunda onunla eş zamanda K-G doğrultulu grabenler gelişmektedir.

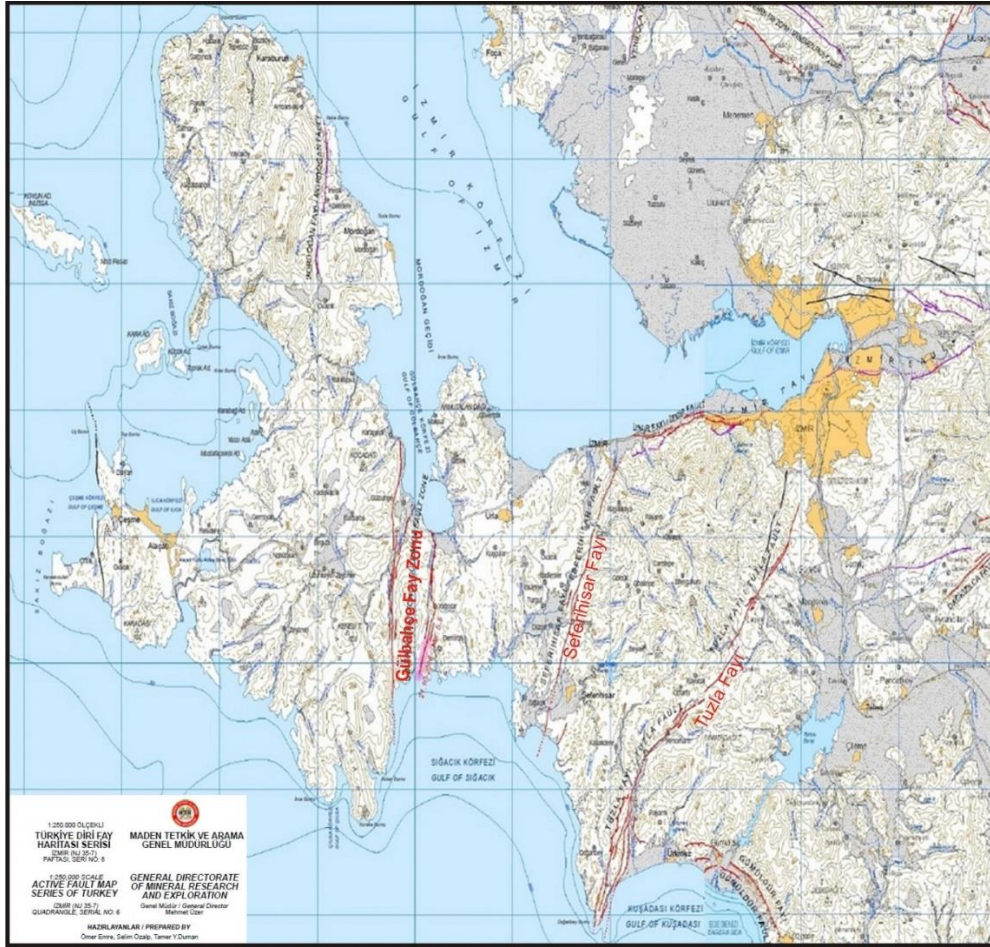
Şaroğlu vd. (1992), MTA Enstitüsü işbirliğiyle 1:2.000.000 ölçekli Türkiye diri fay haritasını oluşturmuşlardır. Bu haritada bölgede hakim aktif faylar D-B uzanımlı grabenleri sınırlayan normal faylardır.

Yılmaz vd. (2000)’ne göre Batı Anadolu’da D-B giden horst-graben yapılar kendilerinden önce bölgede gelişmiş olan K-G gidişli yapıları kesmektedir. Eski ve yeni grabenin kesiştiği yerlerde ise sediman kalınlık değerleri artmaktadır.

Emre ve Barka (2000) yılında Seferihisar horstunu sınırlayan ve körfezden güneye KD-GB doğrultuda uzanan Tuzla Fayı’nı incelerken bölgedeki arazi gözlemlerinde fay boyunca fay tarafından kesilen en genç akarsu yataklarında 200-700 m’ye varan sağ yanal ötelenmeler görmüşlerdir.

Bu çalışmaların çoğu bölgede en genç tektoniği gerilmeye bağlı oluşan normal fayların varlığı ile açıklar.

Genç ve diğ., (2001), İzmir ve Küçük Menderes grabenleri arasında haritalanmış olan Tuzla fayını “Orhanlı fayı” olarak isimlendirmiş ve sol yönlü bir doğrultu atımlı fay zonu olarak yorumlanmıştır. Morfolojik anlamdan Doğanbey Burnu’nda görülen sol atım fayın doğrultusu hakkındaki bu yorumu desteklerken, bölgedeki odak mekanizması çözümleri ve sonraki çalışmalar fayın sağ yönlü olduğuna dair daha çok delil ortaya koymaktadır.



Şekil 1.8 : Çalışma alanı diri fay haritası (MTA'nın Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritaları serisi 1/25.000 ölçekli Urla ve İzmir paftalarının birleştirilmesiyle elde edilmiştir).

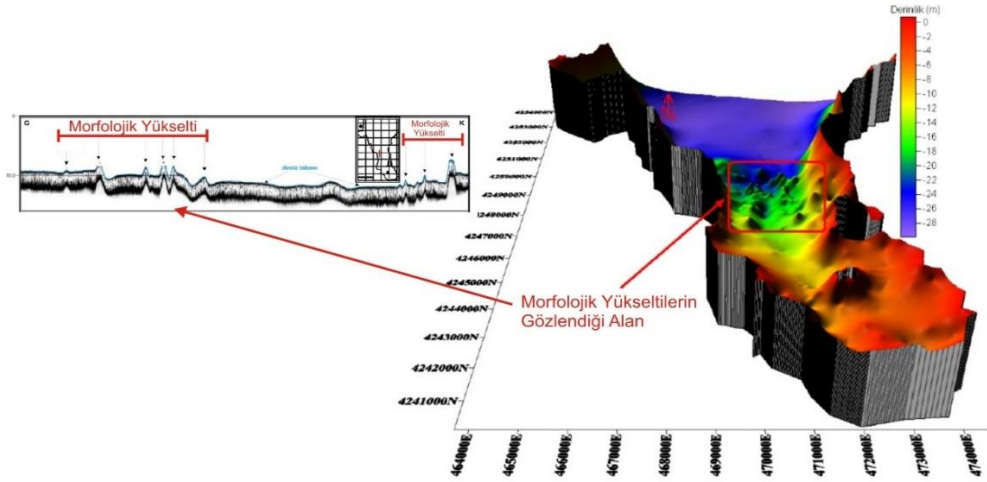
MTA'nın 2011 yılında yenilediği 'Türkiye Diri Fay Haritası'na bölgede üç tür aktif faylanma görülmektedir. Bunlar, sağ yanal atımlı doğrultu atım karakterine sahip Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı ve Gülbahçe Fay Zonu (Karburun Fayı)'dur (Şekil 1.8).

Çalışma alanında denizde gerçekleştirilen çalışmalardan Aksu ve diğ. (1987), İzmir Körfezi'ni KB-GD doğrultulu normal faylarla sınırlamaktadır.

Aksu ve diğ. (1990), İzmir Körfezi'nden elde edilen 3.5 kHz sismik kayıtlara göre Gediz Nehri ağındaki kıta sahanlığının birbirinin üzerine binmiş deltalardan oluştuğunu göstermişlerdir.

Ocakoğlu ve diğ. (2004 ve 2005), ilk kez 2-3 km derinliklere kadar İzmir körfezi ve Alaçatı-Doğanbey-Kuşadası açıklarının stratigrafik ve yapısal unsurları yoğun bir sismik yansıma verisi ile inceleyerek bölgenin denizaltı aktif tektonizmasından sorumlu KD-GB gidişli aktif doğrultu atımlı faylar ve yer yer D-B gidişli aktif normal fayları haritalamıştır (Şekil 1.7 B).

Daha sonra bölgede lokal ölçekte ve daha sığ sismik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan, Pekçetinöz (2010), çalışmasında Gülbahçe Körfezi'nden toplanan yüksek ayırmalı sığ sismik, yanal taramalı sonar, batimetri, sedimantolojik ve palinolojik çalışmalar ışığında körfez içerisinde “morfolojik yükselti” olarak adlandırdığı yapılar görmüştür (Şekil 1.9). Sediman örneklerine göre, yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde “Cladocora Caespitos” olarak bilenen mercan türleri tespit edilmiştir. Bu türün en önemli özelliğinin sıcak ortamlarda yaşaması ve çoğalarak kümeler oluşturması şeklinde ifade edilmiştir.

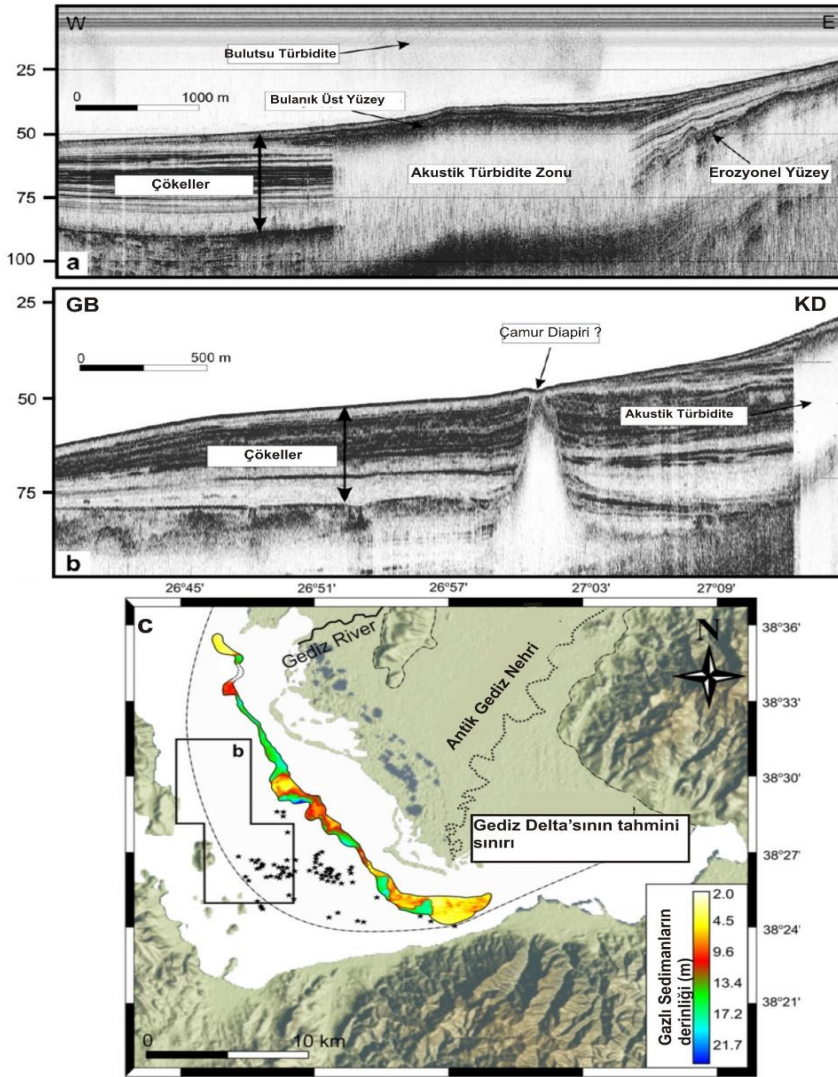


Şekil 1.9 : Gülbahçe Körfezi'ne ait batimetri haritası ve deniz tabanında gözlemlenen morfolojik yükseltileri gösteren ekosounder kesiti (Pekçetinöz, 2010'dan değiştirilerek).

Tarcan (1990), Gülbahçe Körfezinin güney kesimindeki jeotermal alanın hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla belirlenen istasyonlarda

hidrojeokimyasal analizler gerçekleştirmiş ve su sıcaklığının 37°C olduğunu belirtmiştir.

Dondurur ve diğ. (2011)'nin, 2008 ve 2010 yıllarında İzmir Körfezi'nden topladıkları CHIRP, çok ışınli batimetri ve yanal taramalı sonar verilerinde, körfez içerisinde gaz ile ilişkili gaz bacaları, çamur diapiri, aktif/aktif olmayan pockmark gibi yapılar ile akustik gölge zonları (Şekil 1.10a) gözlemlenmiştir. Körfezin kuzeyinden elde edilen CHIRP kesitlerinde sıg gaz birikimleri (Şekil 1.10c) ve çamur diapiri olduğunu düşündükleri bir yapı tespit etmişlerdir (Şekil 1.10b).



Şekil 1.10 : a) Olası gaz içeren sedimanlarda gözlenen akustik gölge zonu b) İzmir Körfezin'nde tespit edilen diapirik yapıları gösteren CHIRP kesiti c) İzmir Körfezi'nde gaz içeren sedimanların deniz tabanından derinliğini gösteren harita (Dondurur, 2011'den değiştirilerek).

Serpen (2004), Balçova jeotermal sistemi üzerinde yaptığı hidrojeolojik araştırmalarda, bu sistemin yaklaşık olarak 2 km'lik alanı etkileyen Agamemnon Fayı

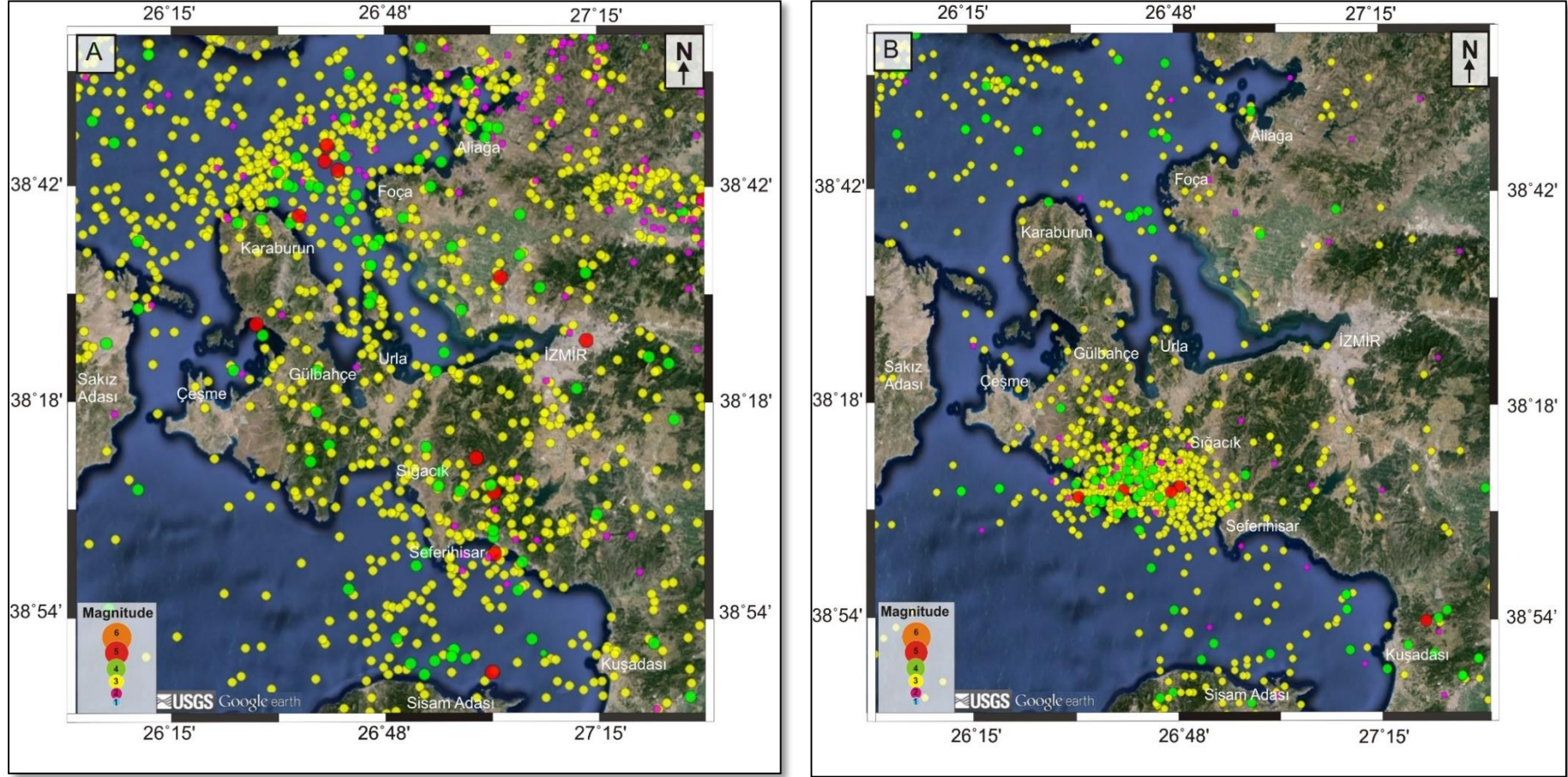
(İzmir Fayı) ile oluşan kırık zonu ile ilişkili olduğunu ve yüzeye yakın yerlerde su sıcaklığının kaynama noktasına ulaştığını belirtmiştir. Reservuarın, ilk 100 m'lik kısımdaki alüvyonlar ile daha derinde (400 ile 700 m arasında) bulunan daha gözenekli fliş formasyonu içinde yer alan yatay yönde akışlarla boşaldığını ifade etmiştir.

Çalışma sahasında yapılan aktif tektoniği ve jeotermal potansiyeli incelemeyi amaçlayan çalışmalar bölgenin jeotermal potansiyelinden yüksek oranda bölgede varolan aktif fayların sorumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı, İzmir Körfezi'nde İzmir Fayı ve Tuzla Fayı bölgede karadaki jeotermal çıkışlardan sorumlu faylardır (Şekil 1.8). Bu fayların deniz içerisinde devamlılıkları ve jeotermal aktivitedeki rollerinin bu çalışma kapsamında araştırılması amaçlanmaktadır. Faylarla ilişkili jeotermal sahalardan bazıları ve bunların sahip olduğu sıcaklık değerlerine örnek olarak Seferihisar 153°C (ZREU, 2005), Balçova 140°C (Serpen, 2004), Tuzla 174°C (ZREU, 2005) verilebilir.

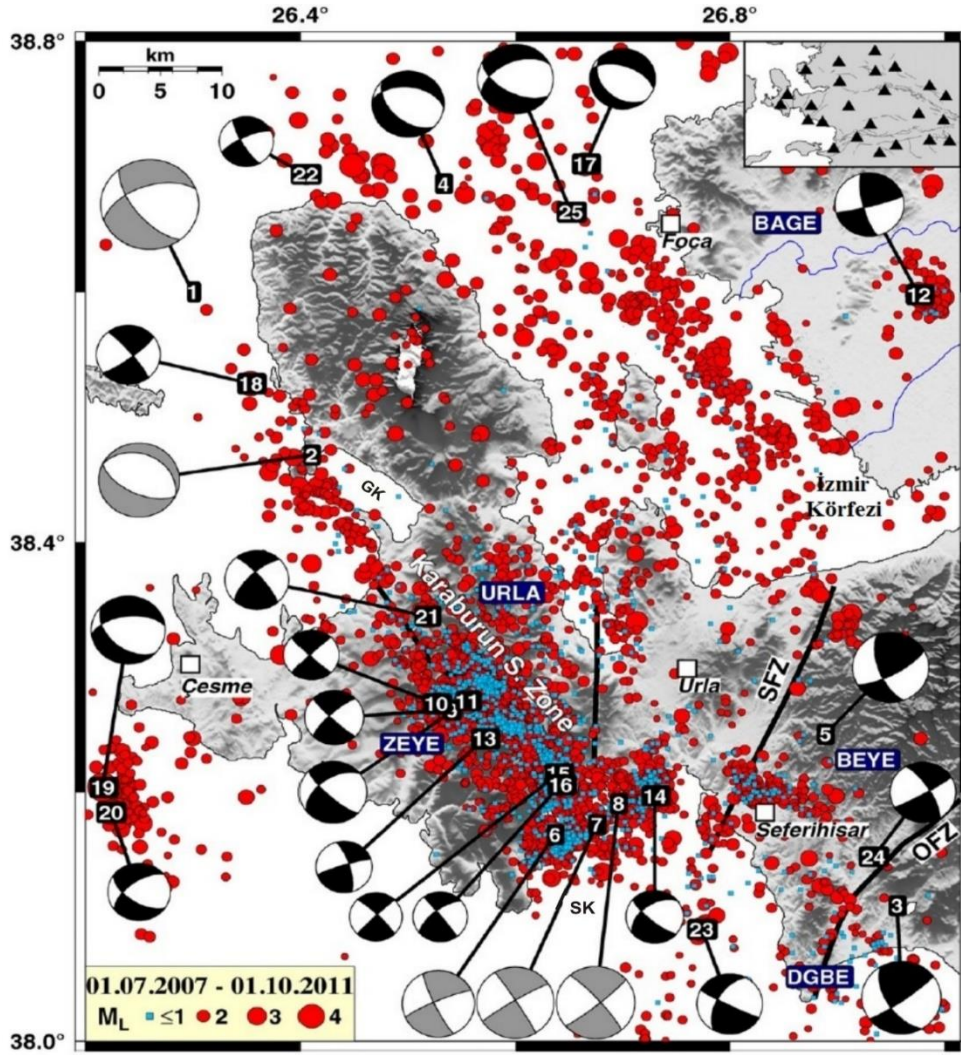
1.5 Çalışma Sahasının Depremselliği

Çalışma sahasını kapsayan İzmir, Gülbahçe ve Sığacık Körfezleri, Batı Anadolu'nun depremselliği açısından en yoğun bölgelerinden biridir. Şekil 1.11 A'ya göre İzmir Körfezi'nin çıkışı, Tuzla Fay Zonu, Karaburun Yarımadası ve Gediz grabeni boyunca yoğun aktivite olduğu görülmektedir. Ancak Sığacık Körfezi'nde 2005 yılında meydana gelen depremden sonra bu bölgedeki aktivitenin diğer yerlere nazaran arttığı görülür (Şekil 1.11 B). Önceki çalışmalar Sığacık Körfezi'ndeki bu aktiviteden faylar dışında burada varolabilecek jeotermal etkinliğin sorumlu olabileceğini belirtmiştir. Bölgede varolan odak mekanizması çözümlerinden Tan (2012)'ye göre İzmir Körfezi çıkışında normal faylanmalar; Gediz Grabeni, karaburun Yarımadası doğusu ve güneyi, Sığacık Körfezi ve Seferihisar'da hakim faylanma türü doğrultu atım karakterindedir (Şekil 1.12).

Çalışma alanına hakim aktif tektoniğinin bir sonucu olan aktif faylar ve bunlara bağlı gelişen depremsellik, incelen litosfer ve yüzeye yakınlaşan magma ile birleşince çalışma alanımızın jeotermal potansiyelinin arttığı görülmektedir.



Şekil 1.11 : A) Çalışma alanının 1969-2004 yılları arasındaki depremselliği B) Çalışma alanının 2004-2014 yılları arasındaki depremselliği (Her iki depremsellik haritası 1969-2014 yılları arasındaki USGS deprem katalogları kullanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 1.12 : Çalışma alanındaki deprem lokasyonları ve fay düzlemi çözümlerini gösteren harita. Sağ üst köşede ise sismoloji istasyon ağı gösterilmektedir. Siyah çizgiler fayları temsil etmektedir. **SK**:Sığacık Körfezi, **GK**:Gerence Körfezi, **SFZ**:Seferihisar Fay Zonu, **GFZ**:Gülbahçe Fay Zonu, **OFZ**:Orhanlı Fay Zonu (Tan, 2012'den değiştirilerek alınmıştır).

1.6 Çalışmanın Amacı

Bugüne değin bölgede karada ve denizde yapılan çalışmalarda bölgenin hakim tektoniğinden sorumlu KD-GB gidişli doğrultu atımlı faylar ile D-B gidişli normal faylar olarak haritalanmıştır. Bölgede karada pekçok sıcak su çıkışlarının olması o bölgedeki jeotermal aktiviteden bu fayların sorumlu olduğunu göstermektedir. Bu fayların deniz içerisinde devamlılıkları bilinmekle beraber karada varolan jeotermal aktivitenin deniz içerisinde de devamlı olup olmadığı, sıcak su/gaz çıkışlarının olduğu

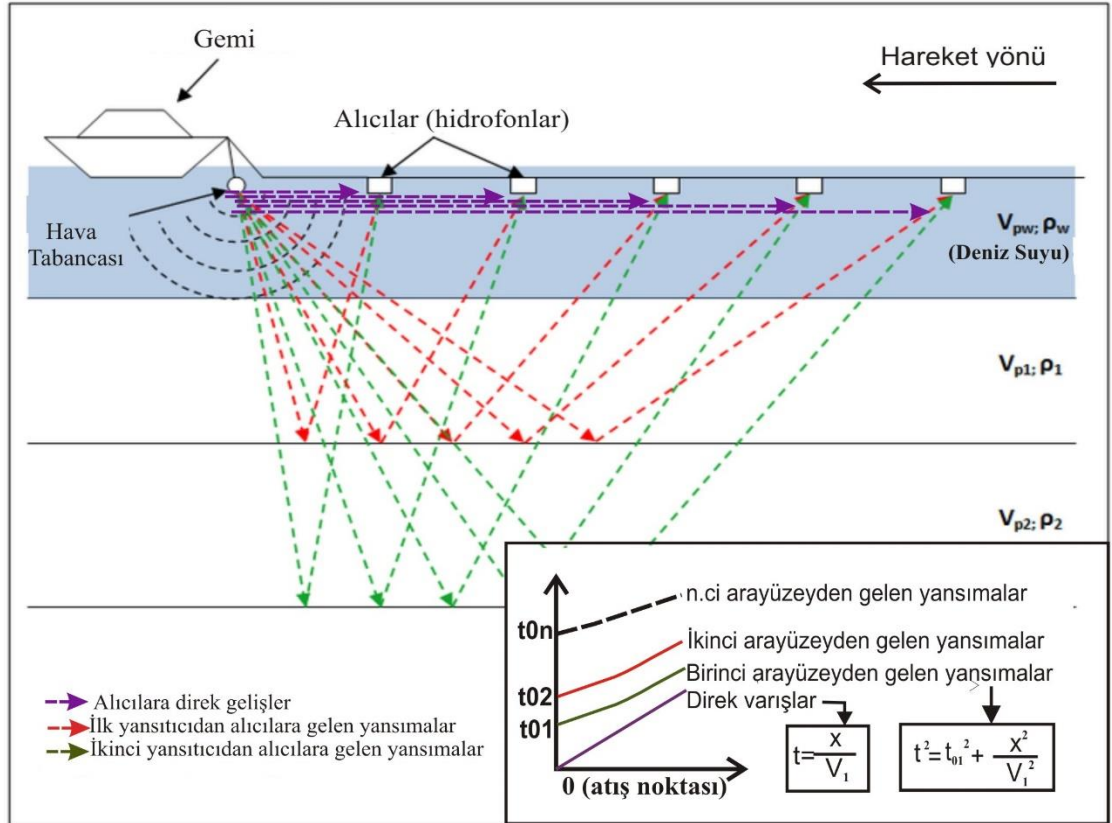
yerlerde sismik yansıma kesitlerinde görülebilecek bazı yapısal ve stratigrafik özellikler günümüze değin çok detaylı olarak araştırılmamıştır.

Bu projede tek kanallı ve çok kanallı sismik yansıma verileri ile söz konusu denizel alanlarda yaklaşık 1 km derinliklere kadar sıcak su veya gaz çıkışı belirtisi olabilecek sismik unsurların rutin veri-işlem ve karmaşık iz nitelik analizleri ile detaylı olarak araştırılması amaçlanmıştır.

2. SİSMİK YANSIMA YÖNTEMİ

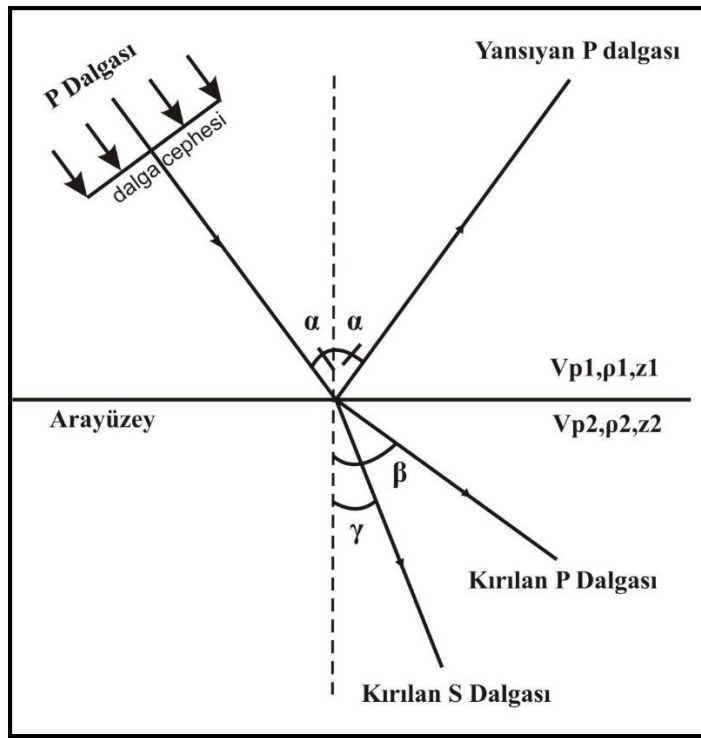
Bu çalışma kapsamında 2000 yılında MTA Sismik-1 Araştırma gemisi ile toplanan veriler kullanılmıştır. Bu verilerin uzunluğu 1.3 sn'dir. Toplanan sismik yansımaya verileri rutin veri işlemden geçirilmiştir.

Deniz sismiği yönteminde, kaynak olarak kullanılan hava tabancalarından sıkıştırılmış hava suyun altında belirli bir derinlikte serbest bırakılır. Böylece üretilen ses dalgaları (P-dalgaları) küresel dalga cepheleri halinde yayılarak yer içinde ilerler. Bu dalgaların bir kısmı su içerisinde yayılarak basınç farklılıklarına duyarlı alıcılara (hidrofonlara) direk gelirken bir kısmı da değişik yoğunluk ve hızlara sahip arayüzeylerden yansyarak ve kırılarak alıcılara iletilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Yatay tabakalı bir ortamda sismik yansımaya yönteminin şematik gösterimi ve örnek modelin zaman uzaklık varış eğrileri.

Arayüzeyler arasındaki sismik hız ve yoğunluk farkı akustik empedans kavramıyla açıklanır ve 'z' ile gösterilir. Akustik empedans tabakaların sahip olduğu hız ve yoğunluk değerlerinin çarpımına eşittir. Alıcılar aracılığıyla kaydedilen sismik izler, kaynak dalgacığının yerin akustik empedans farklılıklarından kaynaklanan arayüzeylere ait yansıma katsayısı serisi ile zaman ortamında evrişiminden oluşan bir zaman serisidir. Teorik olarak P dalgası, akustik empedansları farklı olan iki ortamı ayıran bir arayüze normale α açısı yaparak geldiği zaman arayüze çarparak üst ortama aynı açıyla geri yansıyan P dalgası ve alt ortama farklı açılarla kırılarak iletilen P ve S dalgaları oluşur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Yatay tabakalı bir ortamda arayüze gelen P dalgasına göre oluşan yansıma ve kırılma dalgalarının gösterimi.

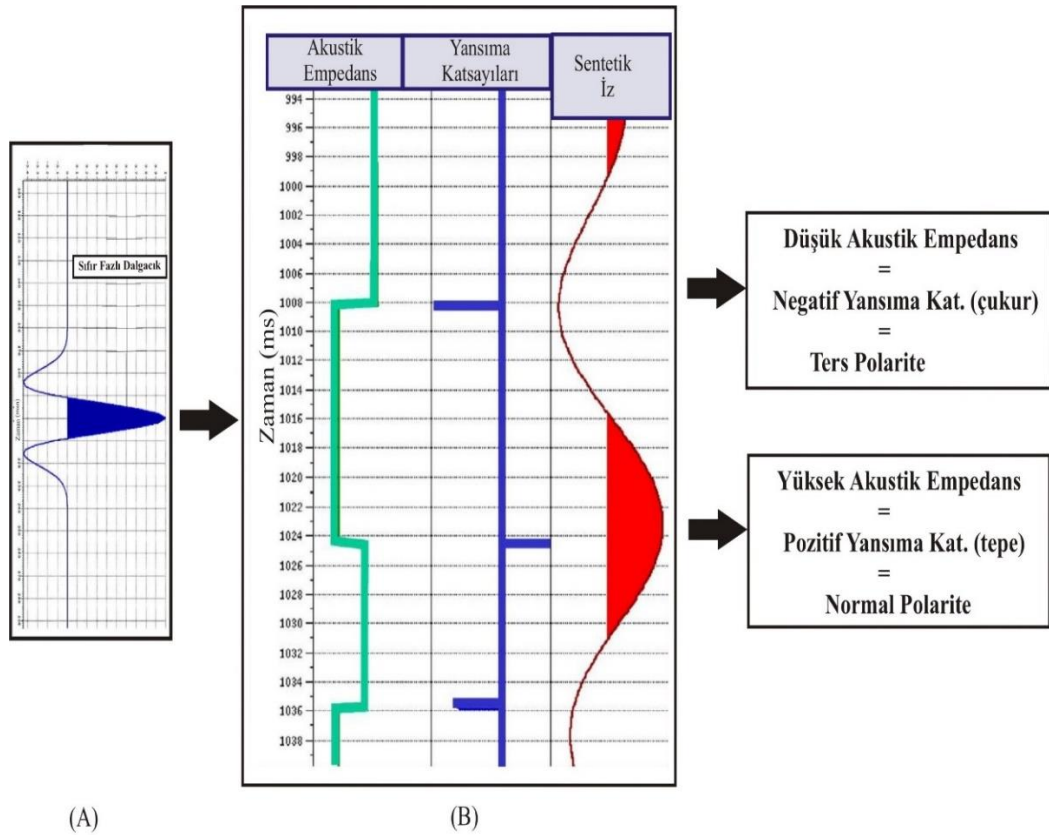
Snell yasasına göre arayüzeyde oluşan açılar ve ortamların hızları arasındaki bağıntı eşitlik 2.1'de verilmiştir.

$$\frac{\sin \alpha}{V_{p1}} = \frac{\sin \beta}{V_{p2}} = \frac{\sin \gamma}{V_{s2}} \quad (2.1)$$

Yansıyan dalgaların genlikleri ise ortamların yoğunluklarına, hızlarına ve geliş açlarına bağlıdır. Sıfır ofset açılım için arayüzeyden yansıyan ve iletilen dalgaların genliklerini belirleyen yansıma (R) ve iletim (T) katsayıları eşitlik 2.2 ile ifade edilebilir (Mc Quillin ve diğ., 1984).

$$R + T = 1, R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{Vp_2 \cdot \rho_2 - Vp_1 \cdot \rho_1}{Vp_2 \cdot \rho_2 + Vp_1 \cdot \rho_1} \text{ ve } T = \frac{2 Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{2 Vp_1 \cdot \rho_1}{Vp_2 \cdot \rho_2 + Vp_1 \cdot \rho_1} \quad (2.2)$$

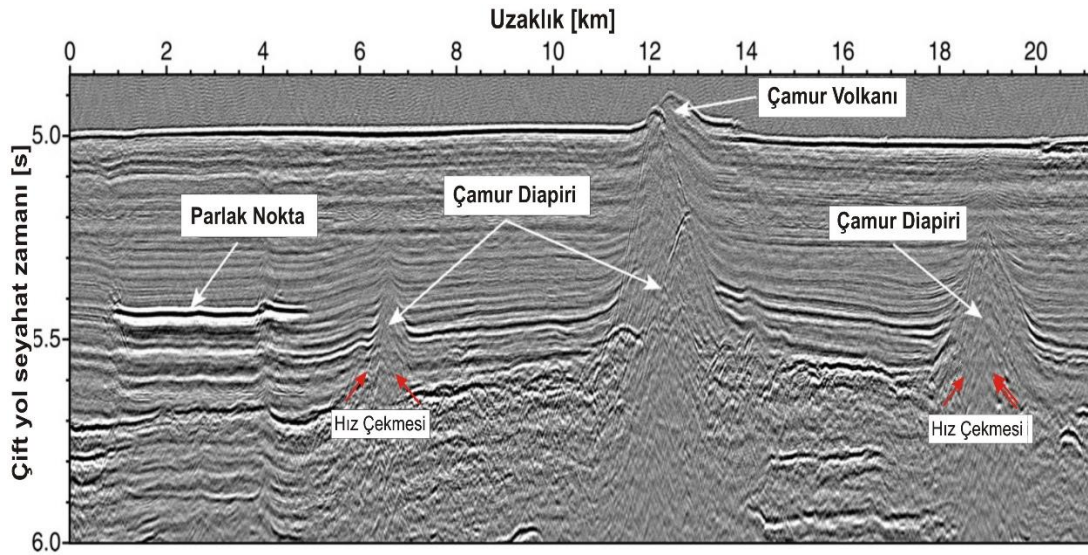
Farklı akustik empedans değerlerine sahip ortamlar sismik izlerin salınımlarına (tepe-siyah ve çukur-beyaz kısımlar) da etki ederler. Yansımaların sismik izdeki bu gösterim şekli ‘polarite’ olarak adlandırılır. Yansıma, akustik empedansı küçük olan ortamdaki büyük olan ortama doğru gerçekleşiyorsa pozitif yansıma, bunun tersi durumunda ise negatif yansıma olarak adlandırılır. SEG (Society of Exploration Geophysicists)’ e göre sıkışma dalgalarının çukur (beyaz) olarak gösterildiği şekil ‘normal polarite’, tepe (siyah) olarak gösterildiği yani ikinci ortamın akustik empedansının küçük olduğu durumda ise ‘negatif polarite’dir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : A) Örnek bir sıfır fazlı dalgacık. B) Bu dalgacığın akustik empedansları farklı bir arayüzeyden yansıması ve bunun sonucunda oluşan yansıma katsayıları serisi ile negatif ve pozitif polarite kavramı (Veeken, 2006’dan değiştirilerek).

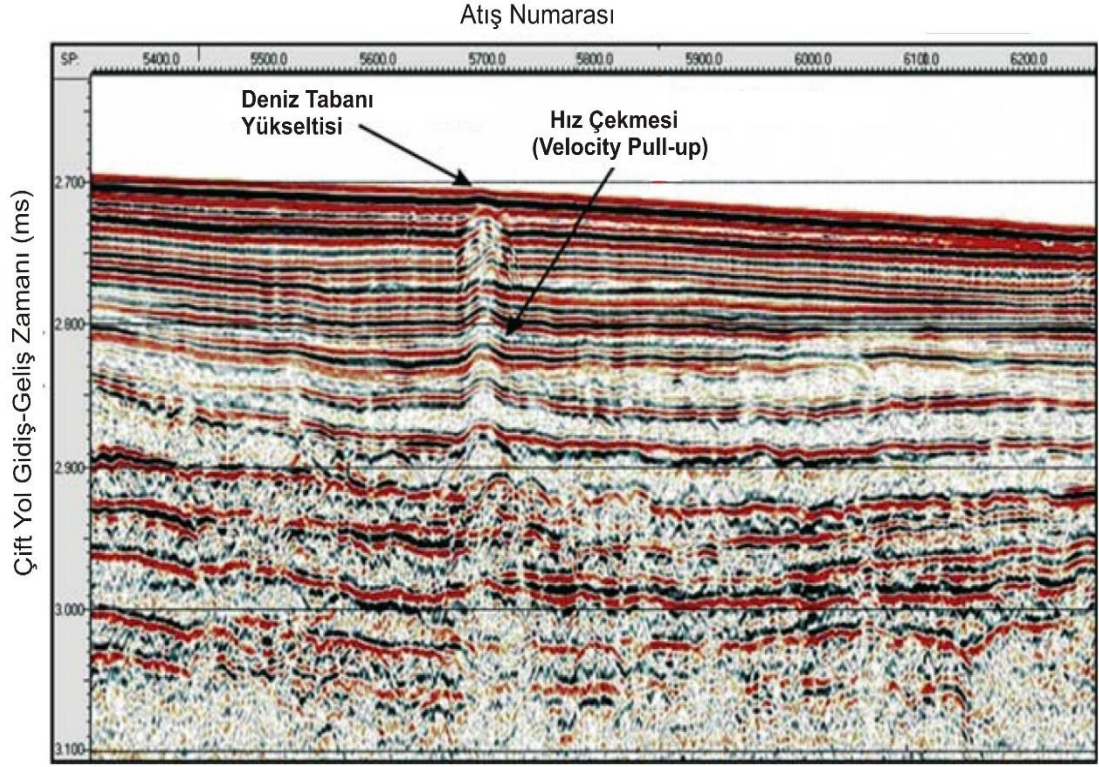
Sismik kesitlerde özellikle hidrokarbon veya jeotermal içeren ortamlarda gerçek jeoloji dışı hatalı yansımalar ortaya çıkabilir. Örneğin çalışma alanında bir tuz kütlelerinin var olması durumunda tuzun sahip olduğu hız, gömülü olduğu civar kayalara göre çok daha yüksektir. Bu nedenle ses dalgaları tuzun içerisinde civar

kayaçlara göre daha hızlı hareket ederler. Tuz kütesinin altındaki kayaçlardan yansıyan dalgalar, alıcılara daha çabuk ulaşacağından sismik kesitlerde daha yukarıda görünürler. Bu etki sismik kesitte “**hız çekmesi (velocity pull-up)**” olarak adlandırılır (Us, 2003). Hız çekmeleri veya itmeleri gaz çıkışına bağlı yapılarda da görülebilir (gaz bacaları, çamur diapirleri vb.). Örneğin Şekil 2.4’te ise gelişmekte olan çamur diyapirleri ve bunların deniz tabanında yüzeylemesiyle oluşan çamur volkanları örnek bir kesit üzerinde görülmektedir. Dimitrov (2002), çamur diapirleri ve çamur volkanlarını derin sediman yapılardan deniz tabanına doğru gaz bakımından zengin yarı sıvı karakterde çamur malzeme çıkaran yapılar olarak tanımlamıştır. Bu gaz bakımından zengin yarı sıvı malzeme kendisini çevreleyen kayaca göre daha düşük hıza sahiptir. Sismik sinyal su kolunundan geçtikten sonra göreceli olarak daha yüksek hıza sahip deniz tabanına ulaşır. İçerisinde su ve/veya gaz olan birime rastlandığında üstteki yüksek hızlı birim nedeniyle hız çekmesi meydana gelir.



Şekil 2.4 : Örnek bir kesitte hız çekmesi gösterimi (Müller, 2001).

Lee vd. (2005)’den alınan örnek kesitte ise gaz hidrat ve altında serbest gaz içeren bir ortamda yine gaz ve düşey yönlü akışkan hareketine bağlı olduğu düşünülen hız çekmesi görülmektedir (Şekil 2.5). Sismik kesitlerde yanlış yorumlamaya neden olan yapılardan biri de karbonat kökenli resiflerdir. Resifin çevresinde dolomitler olduğunda çevresinden daha düşük hıza sahip olacaktır. Bu etki ise sismik kesitte “**hız düşmesi (velocity pull-down)**” olarak adlandırılır.



Şekil 2.5 : Örnek kesitte hız çekmesi gösterimi (Lee ve diğ., 2005’den değiştirilerek).

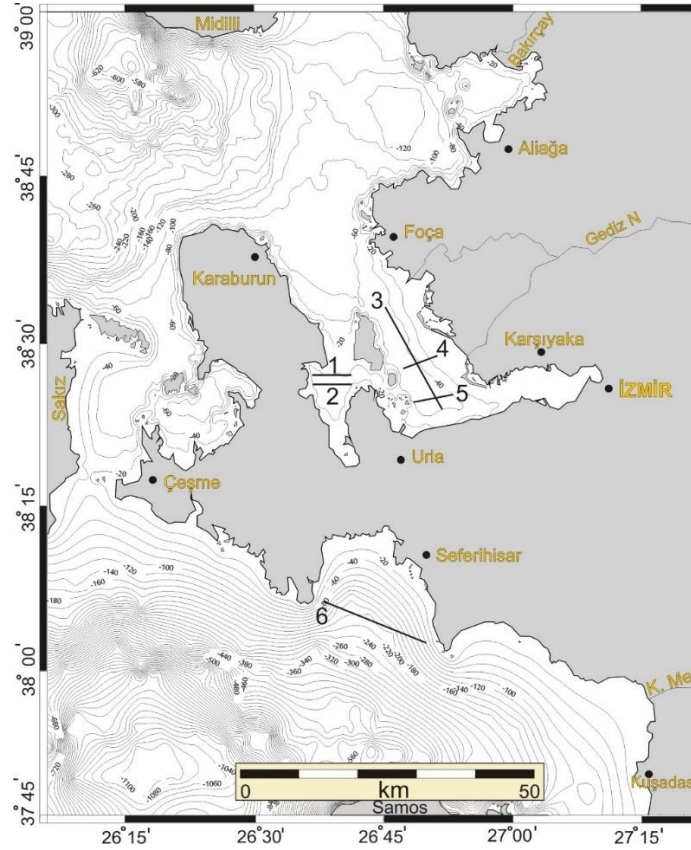
Başka bir örnek olarak tortullar içerisinde gaz birikmesi verilebilir. Bu durumun sismik hızı sudaki P dalgası hızının da (ortalama 1500 m/s) altına düşürdüğü bilinmektedir. Bu durum ani ve büyük akustik empedans değişimine bunun sonucu olarak da negatif polariteye neden olmaktadır. Böylece gaz içeren birimin altındaki yansılarda hız sarkması meydana gelmektedir.

Kayıt işlemleri sırasında her akustik empedans farklılığının alıcılara ayrı bir yansıma olarak iletildiği düşünülürse, farklı polariteli ve değişik genliklere sahip pek çok dalgacığın üst üste toplanmasıyla sismik cevap elde edilir.

Bu çalışmada da Gülbahçe ve İzmir Körfezleri’nde olası sıcak su ve gaz çıkışları, bu tarz yapıların ve yansımaların varlığıyla araştırılmıştır. Daha önceki bölümde bahsedilen sığ çalışmalardan biri olan Dondurur (2011)’de, İzmir Körfezi içerisinde çamur diapiri yapıları görülmüştür (Şekil 1.10).

3. SİSMİK YANSIMA VERİLERİNİN İŞLENMESİ VE KARMAŞIK İZ NİTELİK ANALİZLERİ

Sismik yansımaya ham atış verilerinden sismik yansımaya kesitlerinin elde edilmesi için veriler veri işlem adımlarından geçirilmiştir. Bu tez kapsamında, çalışma alanını inceleme amaçlı lokasyonları Şekil 3.1’de verilen tek (1,2,3,4 ve 5 no’lu hatlar) ve çok kanallı (6 no’lu hat) sismik yansımaya verileri 2000 yılında MTA Sismik-1 Araştırma gemisi ile toplanmıştır. Bu veriler İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Nezihî Cantez Veri İşlem Laboratuvarı’nda, Unix/Linux işletim sistemi altında çalışan Paradigm Geophysical firması tarafından geliştirilen Disco/Focus 5.2 ve Echos 2011.1 yazılımları kullanılarak işlenmiştir. Sismik yansımaya verilerine rutin veri-işlem adımlarının yanı sıra karmaşık iz nitelik analizleri uygulanmıştır.



Şekil 3.1 : Çalışma sahasının batimetrisi ve sismik hatların lokasyonlarını gösteren harita (Ocakoglu, 2004’den değiştirilerek).

Bu bölümde, çalışma alanından toplanan verilere uygulanan tüm veri işlem adımları hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir. Uygulanan her bir yöntemin veri üzerindeki etkileri ile uygulamada kullanılan parametreler ayrı ayrı açıklanacaktır.

3.1 Veri Toplama Parametreleri

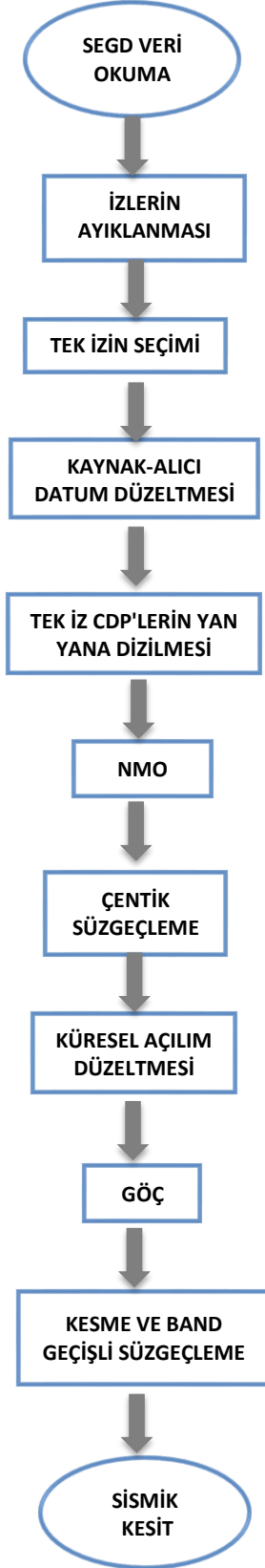
2000 yılında MTA Sismik-1 gemisiyle körfez içerisinde batimetrinin yer yer 20 metrenin altına düştüğü İzmir, Gülbahçe ve Sığacık Körfezleri'nde toplanan tek ve çok kanallı sismik yansıma verilerinin veri toplama parametreleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Sismik veri toplama parametreleri

PARAMETRE	2000 Yılı (Tek Kanallı)	2000 Yılı (Çok Kanallı)
Kanal Sayısı	6	48-60
Kaynak (GI) Sayısı	2	6
Kaynak Top. Hacim	180	780
Basınç (PSI)	1500	1500
Alıcı Boyu	75 m	600-750 m
Yakın Ofset	30 m	50-100 m
Uzak Ofset	105 m	838 m
Atış Aralığı	10 m	25 m
Alıcı Aralığı	12.5 m	12.5 m
Örnekleme Aralığı	1 msn	2 msn
Katlama Sayısı	—	12 –15
Kayıt Uzunluğu	1536 msn	3072 msn
Alıcı Kablo Derinliği	4-5 m	5 m

3.2 Tek Kanallı Sismik Yansıma Verilerinin Veri-İşlem Adımları

Tek kanallı olarak toplanan 5 adet sismik yansıma hattına uygulanan veri-işlem adımları Şekil 3.2'de görülen akış diyagramında verilmiştir.



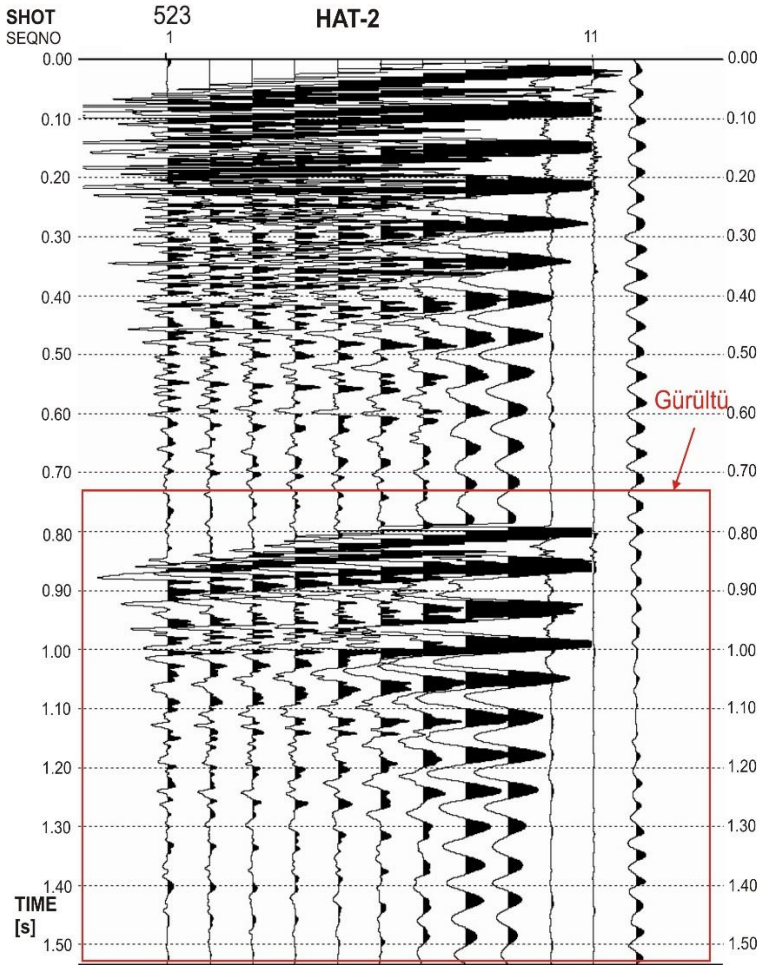
Şekil 3.2 : Veri-işlem akış diyagramı.

3.2.1 SEGD veri formatının okutulması

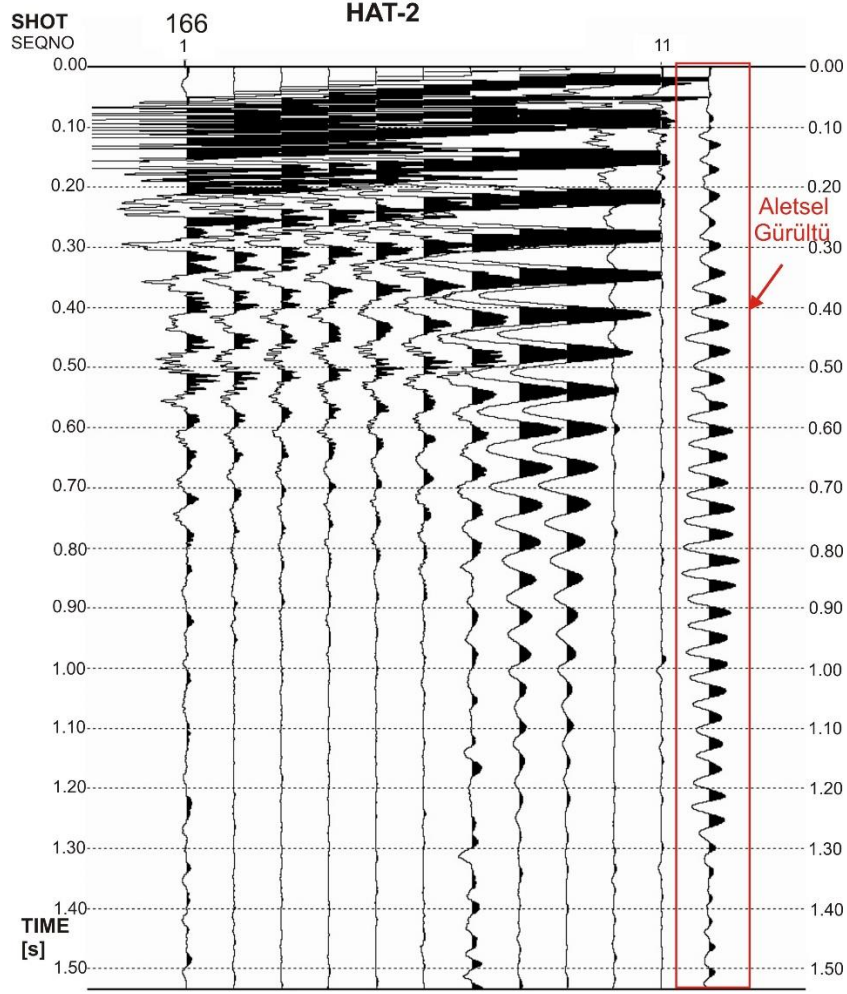
Sismik verinin okutulması, arazide toplanan verinin formatının, kullanılan veri-işlem yazılımının kendi formatına dönüştürülmesi işlemidir. Bu tez kapsamında çalışma alanından toplanan SEGD formatlı veriler Disco/Focus'un kendi formatı olan VDS formatına dönüştürülmüştür.

3.2.2 İzlerin ayıklanması

Her bir sismik hatta ait tüm atışlar tek tek Focus penceresinde gözden geçirilerek atılması gereken atışlar ya da izler belirlenmiştir. Bu problemlili atış topluluklarını ya da izleri veriden ayıklamak için iki ayrı yol izlenebilir. Bunlardan ilki, sorunlu izlerin tamamen veriden atılmasıdır. Bunun için Disco'da EDIT modülüne ek olarak OMIT parametresi seçilmelidir. İzlerin ayıklanmasında ikinci yöntem ise izlerin "0" ile çarpılarak genliklerini sıfırlamaktır. Bunun için de EDIT modülüne ek olarak KILL parametresi kullanılır. Bu çalışmada ikinci yöntem kullanılmıştır.



Şekil 3.3 : Tamamıyla veriden atılacak örnek bir atış kaydı.



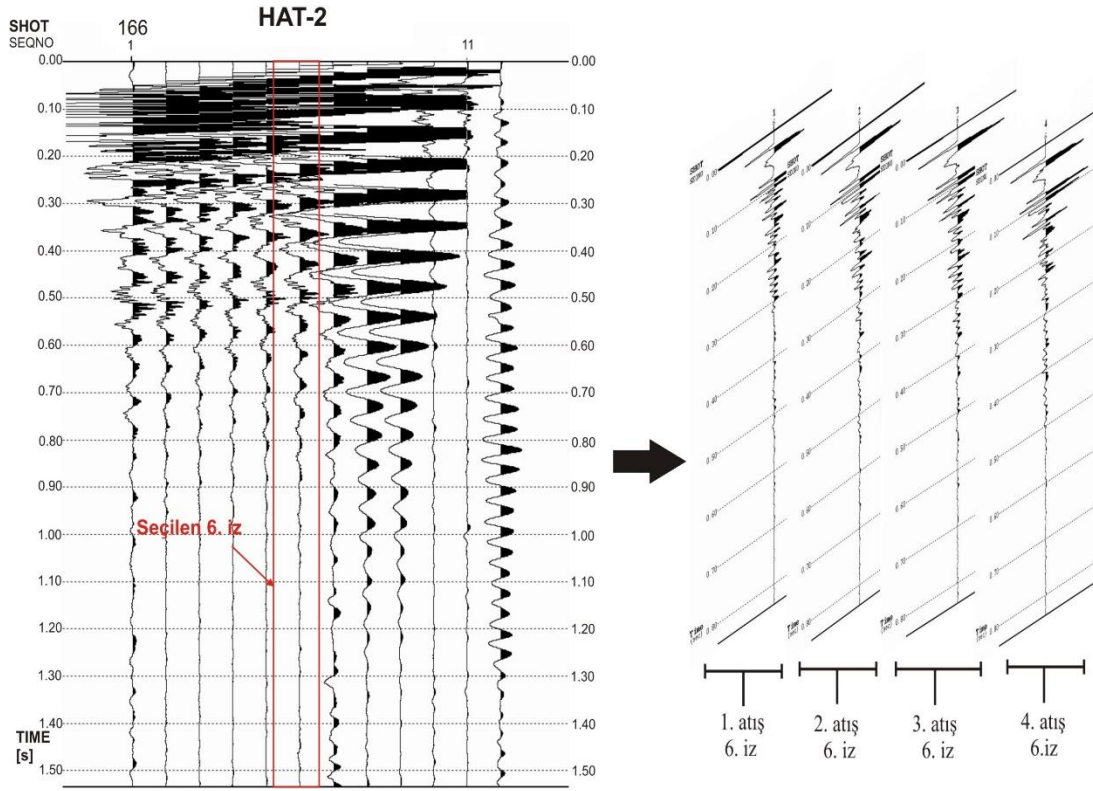
Şekil 3.4 : Örnek bir atış kaydında aleysel gürültü kaydeden kanalın veriden atılması.

Şekil 3.3’de örnek bir hatta ait atış kaydı görülmektedir. Bu atış kaydında tüm kanalları etkileyen gürültüler kaydedilmiştir. Sinyal/gürültü oranını artırmak için bu atışın tamamı yukarıda bahsedilen genliklerin “0” ile çarpılması yöntemiyle veriden atılmıştır. Şekil 3.4’de ise yine aynı hatta ait başka bir atış kaydı ve sinyal içermeyen, sadece aleysel gürültü kaydeden 12. kanal görülmektedir. Yine bu kanal da aynı yöntem ile veriden atılmıştır.

3.2.3 Tek izin seçimi

Tek kanallı verilere çok kanallı veriler gibi veri-işlem uygulamak için bir tanımlama yapmak gerekir. Bunun için tüm atışların gözden geçirildiği sırada veriyi en iyi temsil ettiği düşünülen kanal belirlenir. Bu çalışmada tüm tek kanallı hatlar için 6. kanal seçilmiştir. Bu işlem Disco’da HEADPUT komutu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece sismik hat boyunca herbir atıştan seçilen 6. kanal, sonraki veri-işlem

adımlarında kullanılmak üzere CDP olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : A) Örnek bir atış kaydında seçilen izin gösterimi, B) Her atıştan seçilen 6. izin yanyana diziliminin şematik gösterimi.

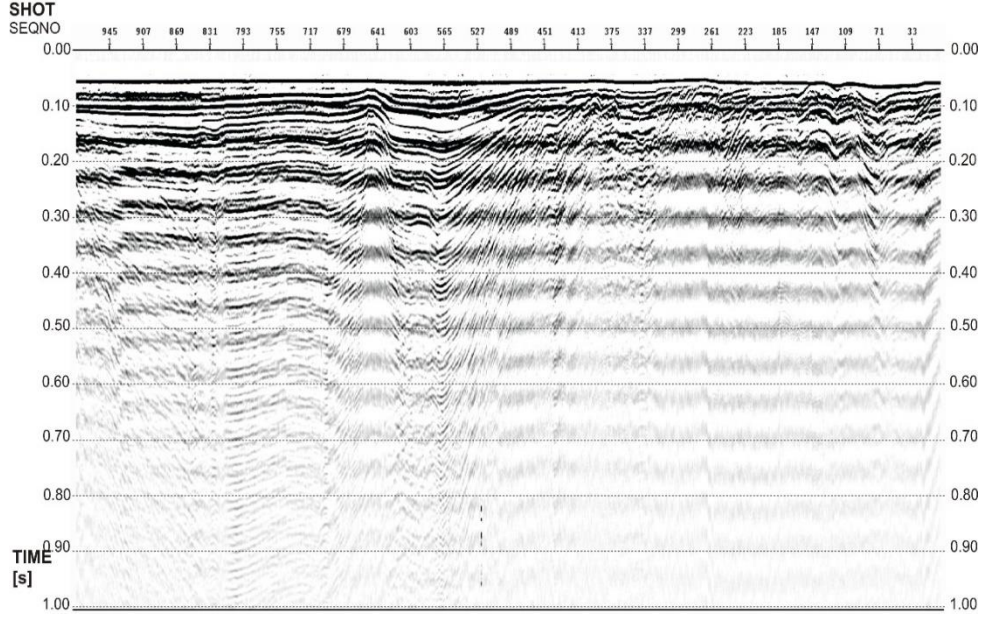
Daha sonraki adıma geçmeden önce veriye yine HEADPUT komutu kullanılarak 30 metrelik bir ofset değeri eklenmiştir. Bu değer kaynak noktasından 6. kanala kadar olan uzaklıktır.

3.2.4 Kaynak- Alıcı datum düzeltmesi

Kaynak ve alıcıların belirli bir seviyeye indirgenme işlemidir. Düzeltme miktarı, deniz seviyesinin yaklaşık 5 m altından çekilen kaynak ve alıcıların datum seviyesinin su yüzeyinde olduğu varsayılarak 1500 m/sn deniz suyu hızı kullanılarak 6.6 msn olarak hesaplanmıştır. Alıcılara gelen sismik izlerin zamanlarına bu ekleme işlemi yapmak için yine Disco'da HEADPUT ve STATIC modülleri beraber kullanılır.

3.2.5 Yığıma kesiti eldesi

Tek izlerden oluşan cdp'ler kaynak ve alıcı düzeltmesi yapıldıktan sonra SORT modülü kullanılarak yanyana dizilmiştir (Şekil 3.6).



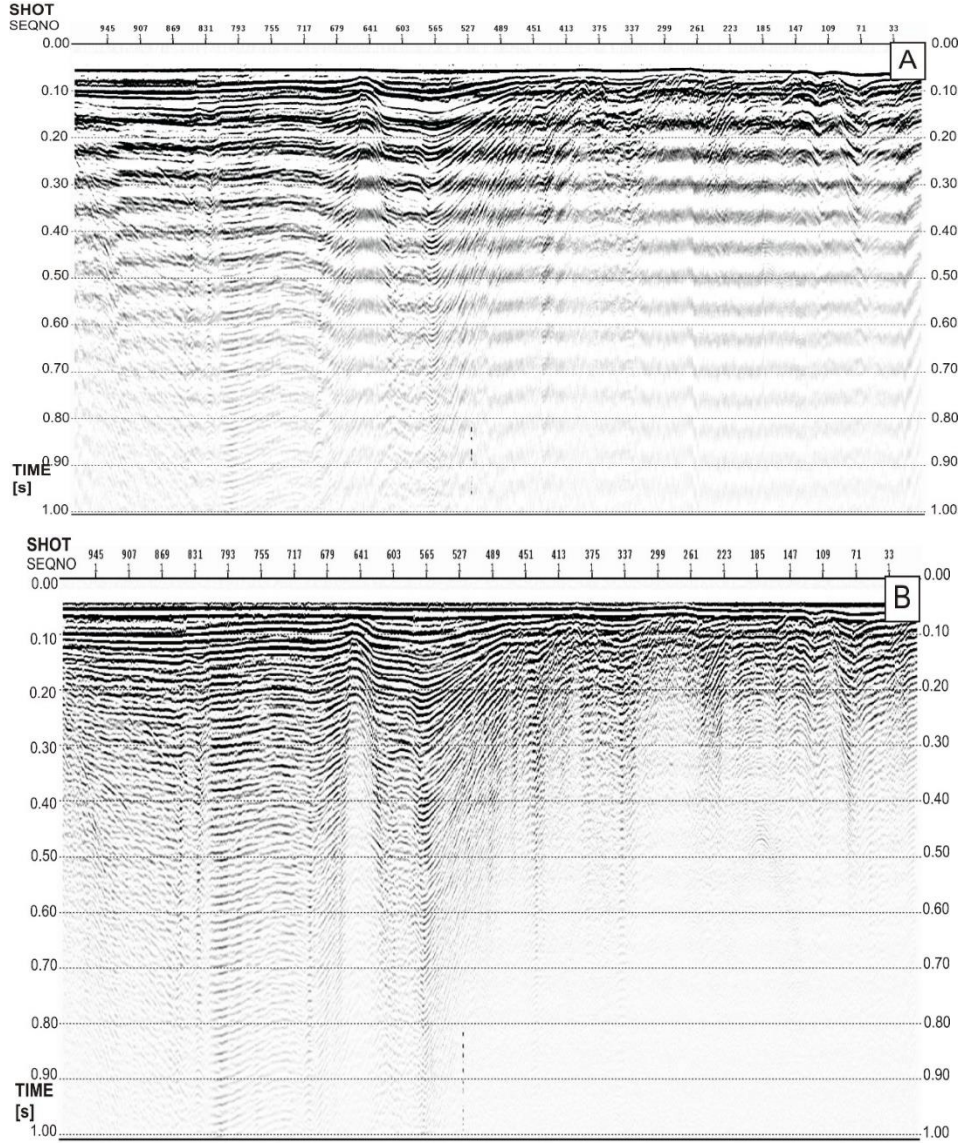
Şekil 3.6 : Seçilen tek izlerin yanyana dizilimi ile elde edilmiş yığma kesiti.

3.2.6 NMO düzeltmesi

Tek izden oluşan cdp'lere Focus ortamında hız analizi yapmak mümkün değildir. Bu nedenle çok kanallı verilerin hız analizinden farklı bir işlem yapılmıştır. Bu işlem için Disco'da DEFINE modülü ile her bir hat için 1500 m/sn'lik sabit deniz suyu hızı tanımlanmıştır. HANDVEL parametresi kullanılarak hattın belirli cdp'lerinde deniz tabanının msn cinsinden varış zamanı ve o zamana karşılık gelen 1500 m/sn'lik hız değeri girilerek bir hız dosyası oluşturulmuştur. Daha sonra yaratılan bu hız dosyası NMO modülü altında çağırılarak NMO işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle sıfır ofset kesite bir yaklaşım sağlanmıştır.

3.2.7 Çentik süzgeçleme

Elde edilen kesit incelendiğinde belirli bir frekans içeriğine sahip gürültünün tüm kesiti etkilediği görülmüştür. Bu gürültünün veriden atılması için Disco'da FILTER modülü ile NOTCH parametresi beraber kullanılır. İncelemeler sonucu bu gürültünün frekans içeriği 14-15 Hz olarak tespit edilmiştir. Çentik filtreleme ile sadece bu frekans içeriğine sahip gürültüler veriden arındırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : A) Çentik filtreleme öncesi, B) Çentik filtreleme sonrası.

3.2.8 Küresel açılım düzeltmesi

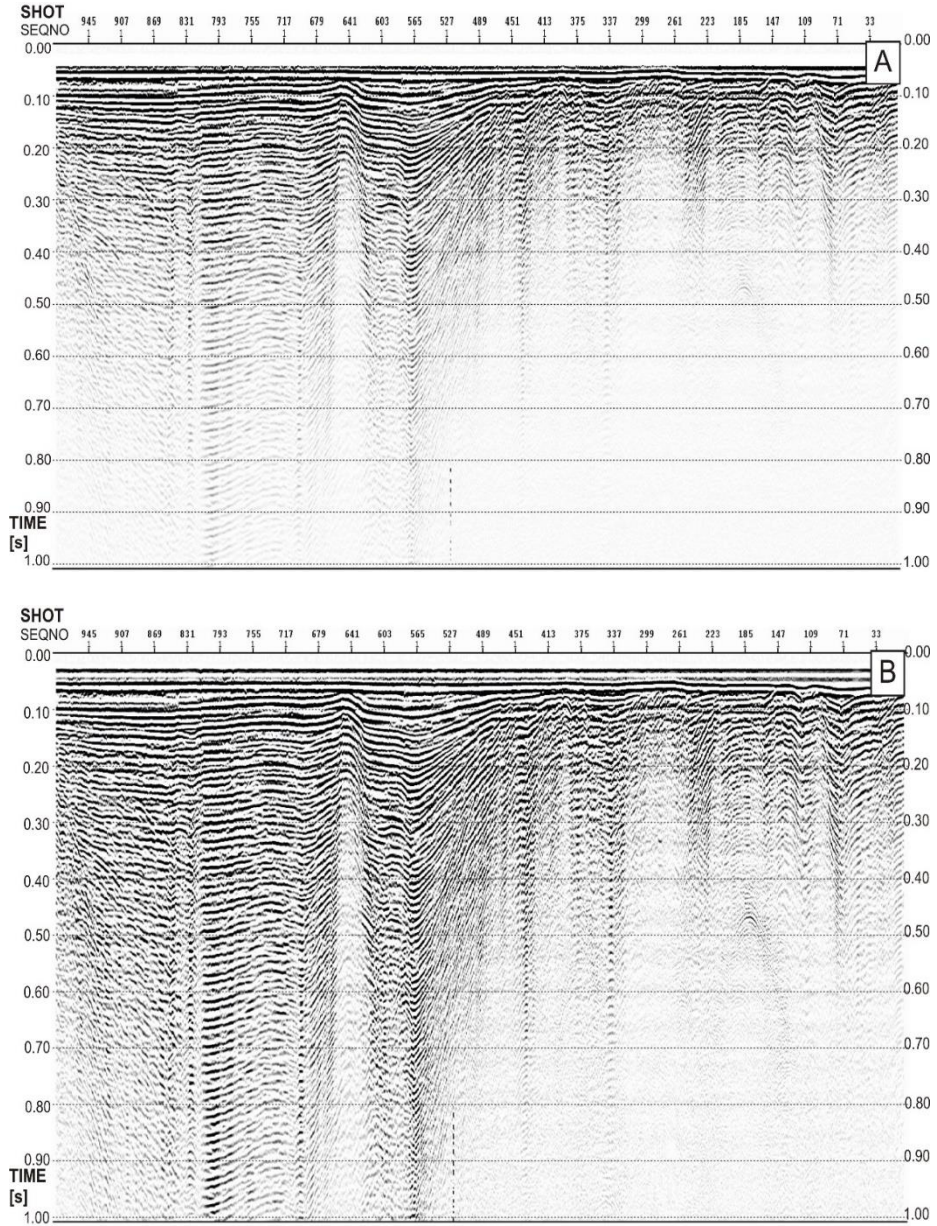
Bilindiği üzere sismik dalga zamana bağlı olarak küresel olarak yayılır. Bu yayılma ilerledikçe, birim alana düşen sismik enerji miktarı azalır. Yer içerisinde ilerleyen sismik sinyallerin enerjileri derinlere ve uzak offsetlere gittikçe azalır. Azalan enerji nedeniyle kaybolan genliklerin geri kazandırılması gerekir. Veri işlemin bu aşamasına kadar gerçek genliklerin korunması ve daha sonraki adımlarda gerçekleştirilecek olan karmaşık iz nitelik analizi için herhangi bir genlik düzeltme işlemi uygulanmamıştır. Yine aynı nedenden dolayı otomatik kazanç kontrolü (AGC) uygulanmamıştır. Kaynaktan çıkan sismik dalganın küresel açılımı sonucu sinyalin genliğindeki azalım tabakalı ortamlar için $1/(tV^2)$ şeklindedir. Buna göre homojen ve tabakalı ortamlar için küresel açılımı karşılama işlemi sırasıyla eşitlik 3.1 ve 3.2' de tanımlanan bir kazanç

fonsksiyonu kullanılmasıyla yapılabilir. Küresel açılım düzeltme işlemi NMO düzeltme işlemi sırasında oluşturulan hız dosyası kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$g(t) = V.t \quad (3.1)$$

$$g(t) = \left[\frac{V(t)}{V(0)} \right]^2 \left[\frac{t}{t(0)} \right] \quad (3.2)$$

Bu işlem ile küresel açılım etkisinin giderilmesi sonucu daha geç varışlardaki sinyallerin genlikleri iyileştirilmiş ve görülebilir hale gelmiştir fakat soğurulma etkileri ile ilgili bir düzeltme ise gerçekleştirilmemiştir.

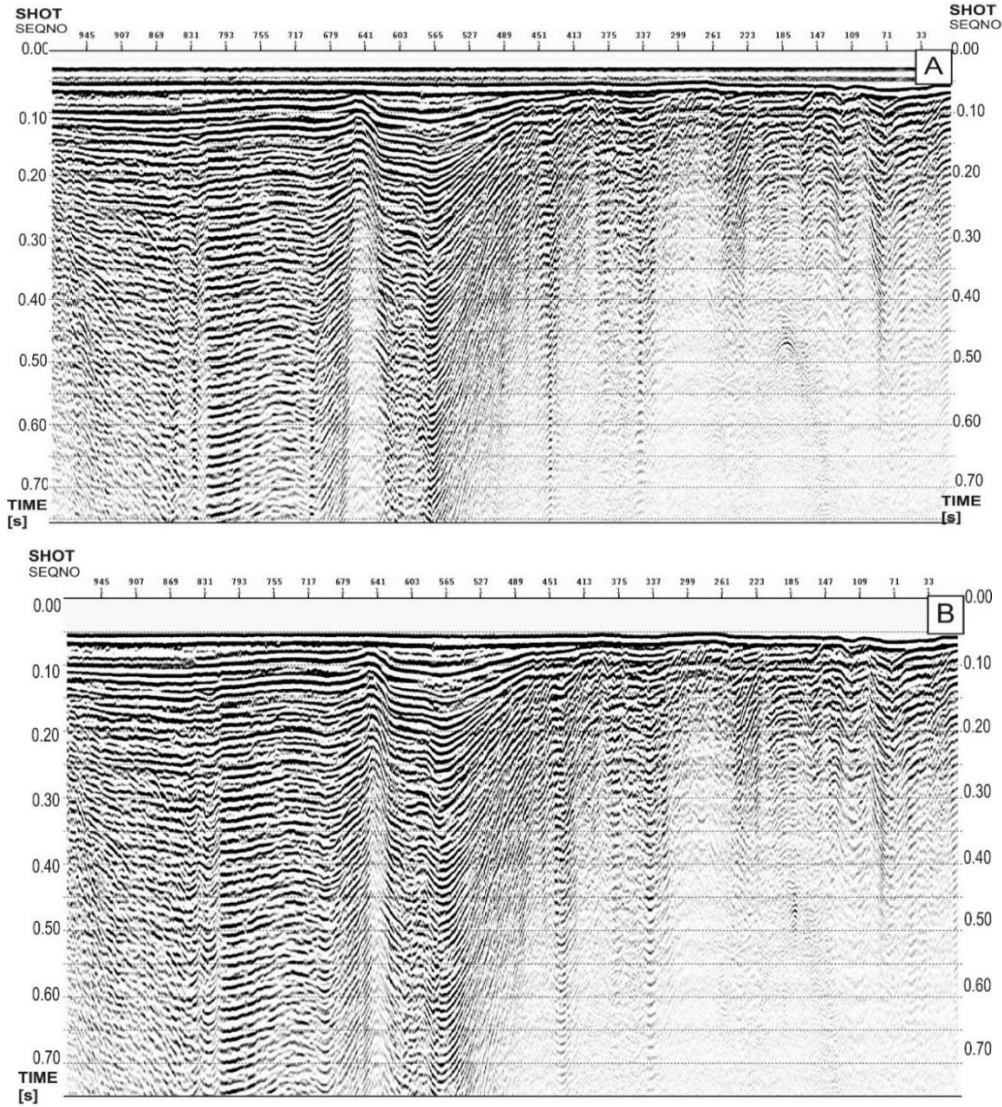


Şekil 3.8 : A) Küresel açılım düzeltmesi öncesi B) Küresel açılım düzeltmesi sonrası.

Şekil 3.8 A'da çentik süzgeçten geçirilen örnek bir hat görülmektedir. Şekil 3.8 B'de ise aynı hatta küresel açılım düzeltmesi uygulamasının sonucu görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere geç varışlarda genliklerin görülebilir hale gelmiştir.

3.2.9 Sismik göç

Yeraltında tabakalarda yanal yönde ani süreksizlikler, eğimli tabakalar, kıvrımlar, faylar, antiklinaller ve senklinaller gibi yapılar sismik yansıma kesitlerinde yansıma seviyelerinde ani değişimlere neden olarak bu noktalarda saçılmalar (yansıma hiperbollerini) oluşturmaktadır. Bu saçılmalar sözkonusu yapıların olduğundan farklı ve karmaşık görünmelerine neden olmaktadır.



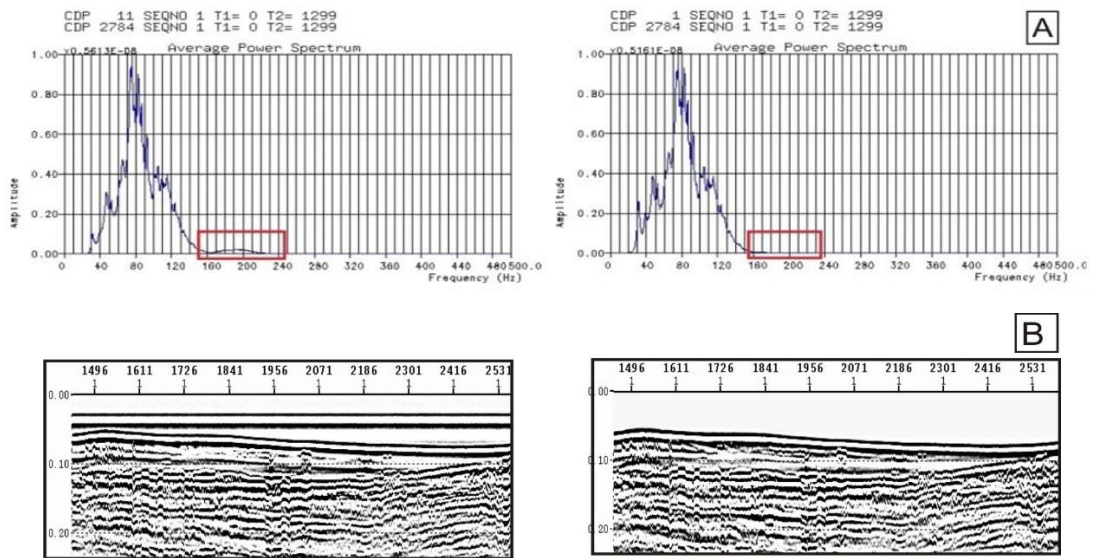
Şekil 3.9 : A) Göç öncesi B) Göç sonrası.

Yansımaların gerçek yerlerine taşınması bir başka deyişle saçılan yansıma hiperbollerini üzerindeki genliklerin hiperbolün tepe noktasına taşınması işlemi için sismik göç işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen kesitlere yığma sonrası, zaman ortamı sonlu farklar yöntemi ile göç işlemi uygulanmıştır. Bu işlem Disco'da MIGRATE modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hız fonksiyonu olarak 1500 m/s'lik sabit hızdan oluşan hız dosyası kullanılmıştır. Migrasyon adım aralığı olan TAU parametresi ise 18 ms ve eğim 1 olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.9 A'da elde edilen yeraltı kesiti görülmektedir. Kesitte çok az sayıda ve düşük eğimde yapılar görülmektedir. Bu nedenle Şekil 3.9 B'de göç işlemi sonrası büyük değişimler elde edilemediği görülmektedir. En belirgin değişim, kesitin ortasında görülen ve daha sonra çamur diapiri olarak yorumlanan antiklinal yapının daralması ve yine sağda akustik temel birimdeki saçılmaların yokolduğu görülmektedir. Bu işlemlerin dışında içnecik ve kestirim dekonvolüsyon yöntemleri ile tekrarlı yansımaların giderilmesine çalışılmış ancak hem deniz tabanının hem de tekrarlı yansımaların yatay olması nedeniyle iyi sonuçlar elde edilememiştir.

3.2.10 Keme ve band geçişli süzgeç

Son aşamada göç işlemi sonucu oluşan gürültüleri yok etmek adına trapezoidal band geçişli Hanning pencerele süzgeçleme işlemi uygulanmıştır. Keme frekansları olarak 5-15 Hz ve 150-190 Hz değerleri kullanılmıştır. En son olarak keme işlemi ile deniz tabanı üzerindeki gürültüler veriden uzaklaştırılmıştır.



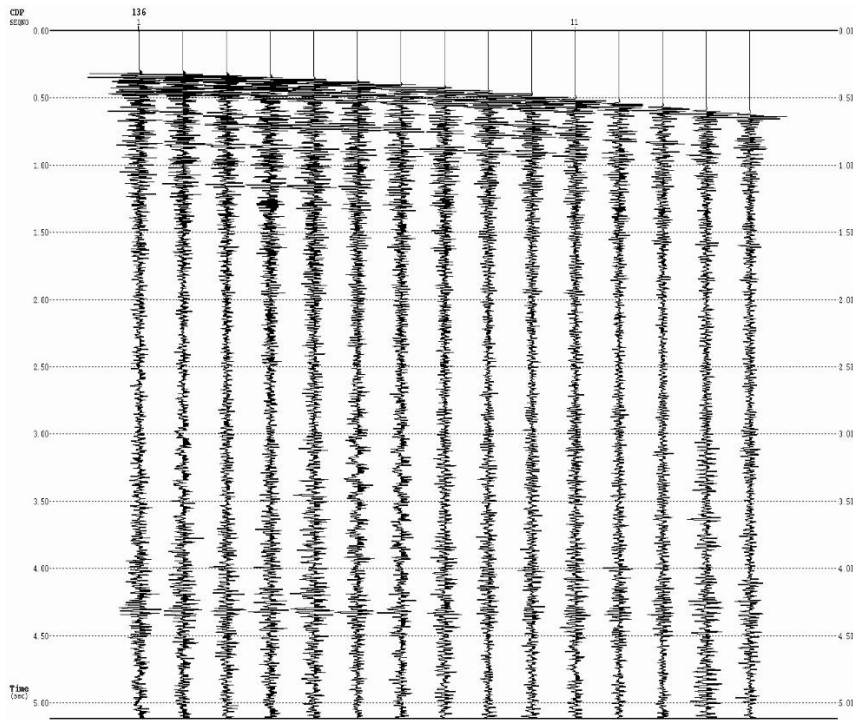
Şekil 3.10 : A) Göç kesitine ait frekans spektrumu, B) Göç kesitinin filtreleme öncesi durumu ve filtreleme işlemi sonrası iyileşme görülen kısımlar.

3.3 Çok Kanallı Verilerin Veri-İşlem Adımları

Çok kanallı sismik yansıma verilerine uygulanan veri işlem adımları kısaca şu şekilde özetlenebilir: SEG-D veri okuma, sismik izlerin ayıklanması, kesme işlemi, süzgeçleme, genlik analizi, atış-alıcı geometrisinin tanımı, kaynak-alıcı datum düzeltmesi, CDP düzenine geçiş, yığma hız analizi, NMO düzeltmesi ve kesme, yığma, ters evrişim, göç ve süzgeçleme olarak sıralanabilir. Bu adımların bazıları Bölüm 3.2’de açıklandığından burada bahsedilmeyecektir. Farklı olarak CDP düzenine geçiş, hız analizi ve NMO düzeltmesi anlatılacaktır.

3.3.1 CDP düzenine geçiş

Bu aşamada veriler atış verisi düzeninden, CDP (Ortak Derinlik Noktası) düzenine geçirilmiştir. Farklı atış-alıcı çiftlerinden oluşan fakat yeraltında aynı noktadan gelen sinyaller CDP (Ortak Derinlik Noktası) veri grubunu oluşturur. Eğer arayüzey yatay ise CDP noktasının yeryüzündeki iz düşümü CMP (Ortak Orta Nokta) noktası olarak bilinir. CDP veri grubunda, atış veri grubuna kıyasla sinyal/gürültü oranı daha yüksek bir veri grubu elde edilmiş olur.



Şekil 3.11 : Örnek bir kesitte elde edilen 15 katlamalı CDP düzeninin gösterimi.

Atış veri grubundan CDP veri grubuna geçildiğinde yeraltındaki CDP noktasından yansıyan toplam iz sayısı katlama sayısı olarak hesaplanır. Katlama sayısının (k) formülü Eşitlik 3.3'te verilmiştir.

$$k = (\text{Kanal sayısı} \times \text{Alıcı aralığı}) / (2 \times \text{Atış aralığı}) \quad (3.3)$$

Bu eşitliğe göre katlama sayısı 15 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.11). Disco yazılımında CDP oluşturmak için SORT modülü kullanılır. Katlama değerleri iş dosyasında SORT modülüne girildikten sonra koşturulur. Böylece hat boyunca oluşan tüm CDP veri grupları yanyana dizilir. Bu noktadan sonra CDP verileri yığma hız analizi ve NMO düzeltmelerine hazır hale gelir.

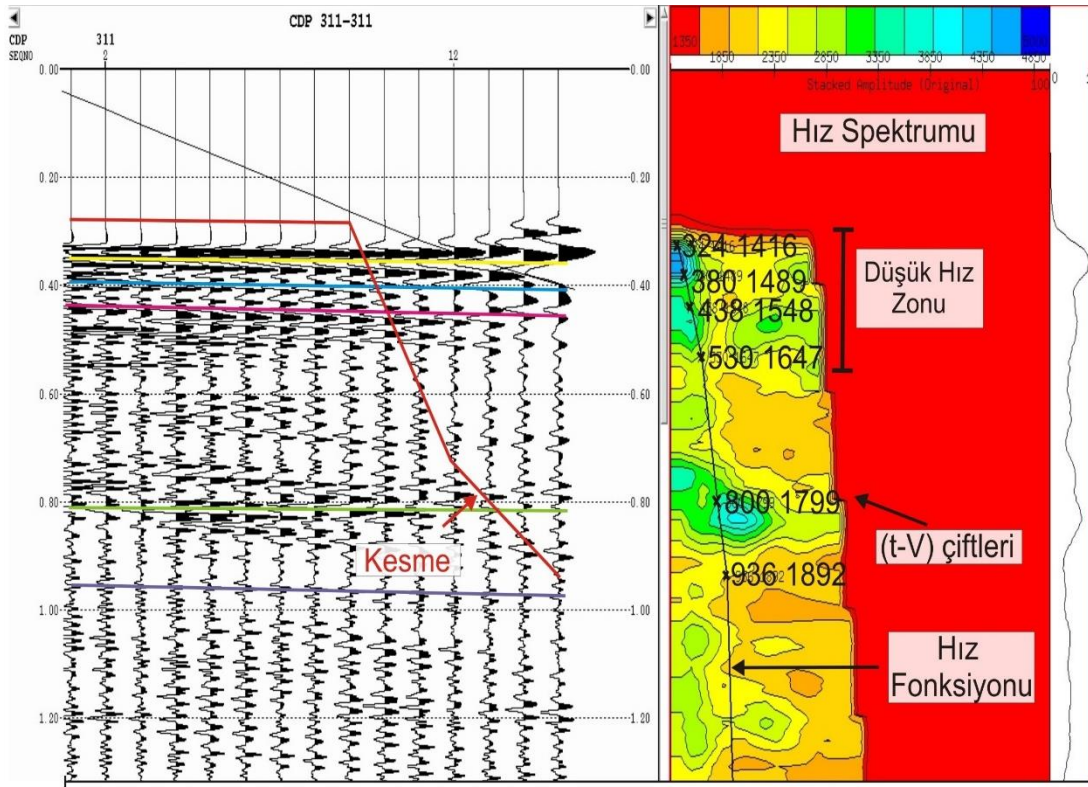
3.3.2 Hız analizi

Hız analizi, sismik veri işlemin en önemli aşamalarından biridir. Hız analizi ile elde edilen hız bilgisi, diğer veri işlem aşamalarında kullanılabildiği gibi, veri işlem tamamlandıktan sonra elde edilen sismik kesitlerin yorumlanmasına da katkı sağlamaktadır. Sismik dalga hızları, yer altındaki kayaların fiziksel özelliklerine göre değişmektedir. Genellikle derinlere doğru gidildikçe yoğunluğun artmasından dolayı artmaktadırlar. Ancak, kayalardaki yoğunluk değişimi hız değişimine oranla çok daha küçük olduğundan, genellikle yoğunluk terimi ihmal edilir ve bu nedenle sismik dalga hızının sismik yöntemin ana değiştirgeni olduğu kabul edilir (Dondurur, 2009).

Yer altında belirli bir derinlikte bulunan bir arayüzeyden yansıyan sinyallerin ortak orta nokta topluluğundaki dizilimi, sabit hızlı bir üst katman olması halinde hiperbol şeklinde bir yansıma seyahat zaman eğrisi ile temsil edilir. Herhangi bir offset ile sıfır offset arasındaki seyahat zamanı farkına ise normal move-out (dik yola kaydırma) denir. Dik yola kaydırma düzeltmesi için gereken hıza NMO hızı denir. Tek katmanlı basit bir yer modeli için NMO hızı, yansıtıcının üzerinde kalan ortamın hızına eşittir. Tek katmanlı ve eğimli bir yer modeli için ise NMO hızı; ortamın hızının, eğimli yansıtıcının eğim açısının kosinüsüne bölünmesiyle elde edilir. Yığma hızları pratikte NMO hızlarına denk kabul edilir (Yılmaz, 1987).

Hız analizi, öncelikle dik yola kaydırma düzeltmesi için gereklidir. Sabit hız yığma, sabit hız tarama, hız spektrumları ve benzerlik (coherency) fonksiyonu gibi yöntemler

kullanılarak yapılabilir. Bu çalışma kapsamında benzerlik (coherency) fonksiyonundan yararlanarak hızların tespit edilmesi yöntemi kullanılmıştır. Benzerlik fonksiyonu, belirli zaman aralıkları boyunca, bir ortak atış topluluğunda bulunan sismik izlerdeki benzerliklerin hesaplanması sonucu oluşturulur (Neidell ve Taner, 1971). Hesaplanan benzerlik katsayıları 0-1 değerleri arasında değişir. Değer, 1'e eşit olduğunda giriş/çıkış sinyallerinin birbirinin aynısı olduğu anlamına gelir. Her bir ortak orta nokta topluluğu için benzerlik katsayıları hesaplanabilir. Oluşturulan hız spektrumu yardımı ile ortak orta noktasında bulunan yansıma hiperbollerine en uygun hız değerleri seçilebilir.



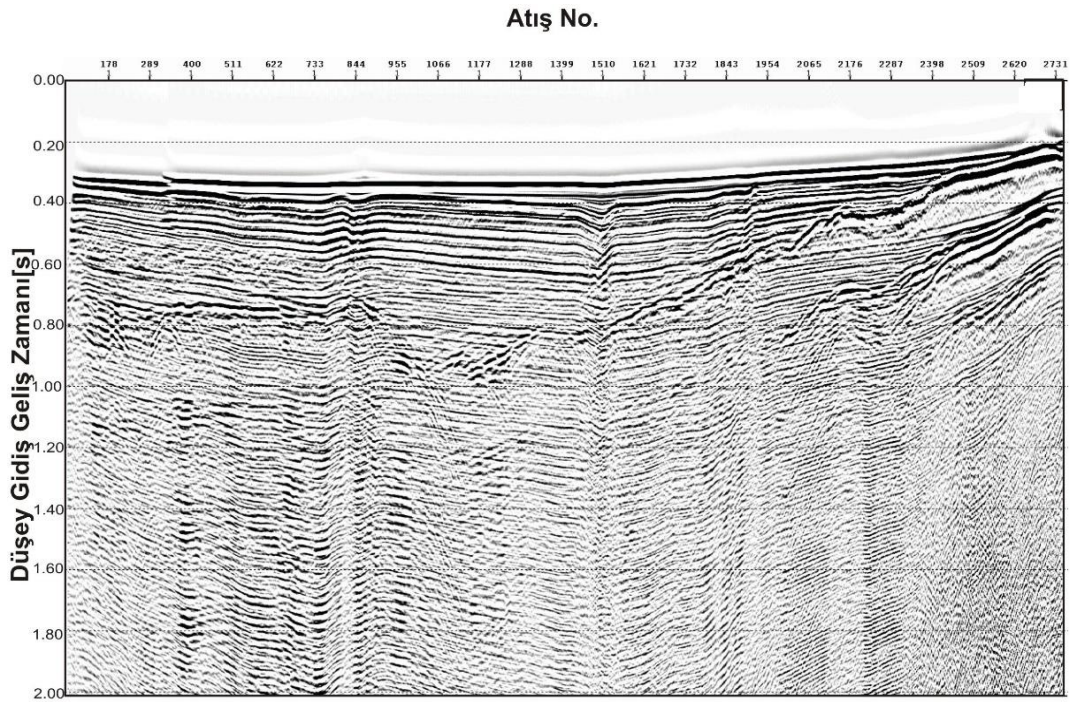
Şekil 3.12 : Solda NMO düzeltmesi yapılmış CDP'ler, sağda ise CDP'nin hız spektrumu.

Şekil 3.12'da Hat-6'dan seçilen bir CDP üzerinde hız analizi ve NMO uygulaması görülmektedir. Solda pekçok arayüzeyden gelen yansımalara ait hiperbollerin NMO düzeltmesinden sonraki durumları görülmektedir. Sağda verilen hız spektrumu ise düşey gidiş-geliş zamanının bir fonksiyonudur ve sığ kısımlarda düşük hız zonu görülmektedir.. Bu spektrum CDP hiperbollerini üzerindeki sinyallerin korelasyon katsayılarının ölçümü ile elde edilmektedir. Hız spektrumunda korelasyonun yüksek olduğu yerlerde hız değerleri kontur kapanımları gösterir. NMO düzeltmesi pratikte CDP veri grubundaki hiperbol seçimi ile aynı zamanda hız spektrumunda da kontur

kapanımlarının pik yaptığı hız değerlerini seçmekle mümkün olmaktadır. Seçilen hiperboller ve hızlara göre NMO düzeltmesi uygulandığında hiperbollerin uzak ofsetlerinde gerilme etkisi görülür. Bu yüksek periyotlu ve genlikli istenmeyen salınımlar seçilen uygun bir kesme (mute) fonksiyonu ile CDP veri grubundan atılır (Şekil 3.12). Bu işlemlerden hız analizi, Disco'da VELDEF ve MUTE modülleri beraber kullanılarak yapılır. Bu aşamada bir hız dosyası oluşturularak tüm değerlerin bu dosyaya yazılması ve gerilme etkisi nedeniyle oluşan salınımların da MUTE modülü kullanılarak veriden atılması sağlanır. Dik yola kaydırma düzeltmesi için NMO modülü ile hız dosyası çağırılır.

3.3.3 Yığıma

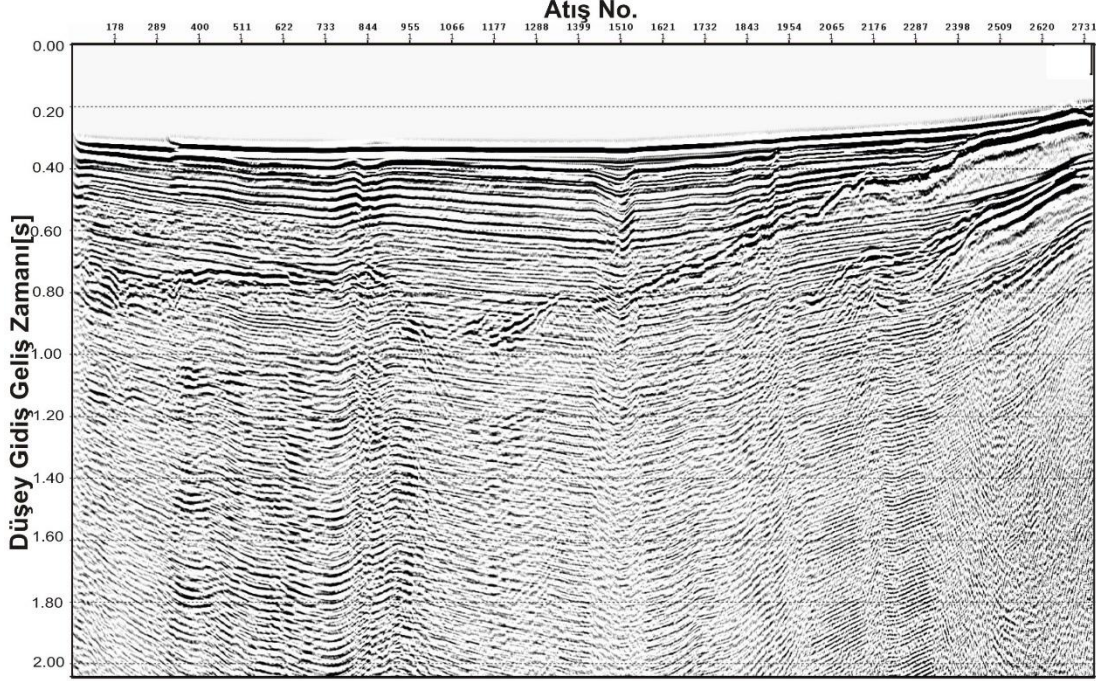
Şekil 3.13 A'da Hat-6'ya ait yağma kesiti görülmektedir. Yığıma aşamasında, NMO düzeltmesi yapılmış CDP'ler sismik hat boyunca yanyana getirilerek toplanır ve herbir CDP noktasına ait birer sismik iz elde edilir. Böylece CDP noktalarına ait sismik izlerin sinyal/gürültü oranı artırılmış olur. Bu işlem Disco'da STACK modülünün koşturulması ile gerçekleşir. Modülün çalışabilmesi için katlama sayısının belirtilmesi gerekir. Eşitlik 3.3 kullanılarak Hat-6'nın katlama sayısı 15 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.13 : A) Hat-6'ya ait yağma kesiti.

3.3.4 Göç

Şekil 3.13 B’de Hat-6’ya ait göç kesiti görülmektedir. Bu çalışma kapsamında çok kanallı sismik veri için zaman ortamı sonlu farklar yöntemiyle göç işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.14 : Hat-6’ya ait göç kesiti.

Disco’da bu işlemin yapılabilmesi için MIGRATE modülü koşturulur. Bu modülde her hatta ait yığma hız bilgileri dosyası, CDP aralığı, sismik hattaki en yüksek eğim (msn/iz değeri) ve migrasyon adım aralığı olan TAU parametresi girilmiştir. Çalışma alanında genelde 2.0 saniyenin altında yetersiz hız bilgisinden dolayı saçılmalı hiperboller oluştuğundan ve yapıya ilişkin bir bilgi vemediğinden kesitler bu değere kadar alınmıştır. Bu hatta yatay tabakalı bir yapı ve bu yapının eğimi çok düşük olduğundan göç sonrası kesitlerde önemli bir değişiklik görülmemiştir.

3.4 Sismik Modelleme Çalışması

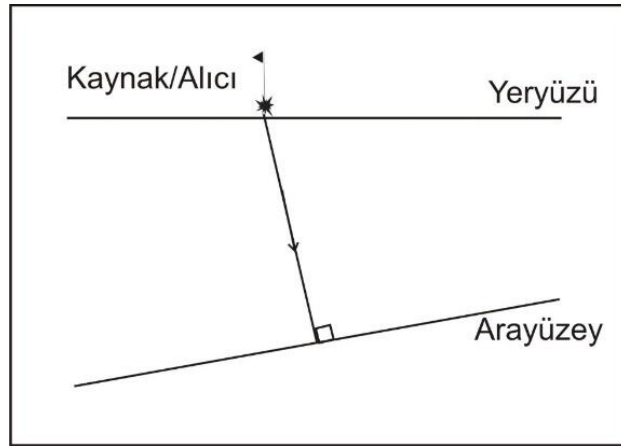
Bu çalışmada sismik kesitlerde görülen ve daha sonraki başlıklarda çamur diapiri olarak yorumlanan bir yapısal unsur için sismik modelleme yapılmıştır. Modelleme, veriye düz çözüm ve ters çözüm olmak üzere iki yöntemle yapılır. Düz çözüm, varolan bir jeolojik modelin jeofizik cevabını elde etmek için uygulanır. Ters çözüm ise jeofizik cevapları kullanarak jeolojik modelin belirlenmesi işlemidir. Bu çalışma kapsamında sismik yansıma kesitlerinde görülen özel yapılar için düz modelleme ile

sentetik sismik kesit elde edilmiş ve model sonucu sismik kesit ile kıyaslanarak ortama ait parametreler hakkında bilgi sahibi olunmaya çalışılmıştır. Modelleme adımları Şekil 3.14’de belirtilmiştir.



Şekil 3.15 : Modelleme adımları.

Düz çözüm yöntemiyle modelleme yapmak için, ilk olarak Disco/Focus programı içerisinde MARINE modülü kullanılarak elde edilecek sentetik kesitin geometrisi oluşturulur (atış, alıcılar, kanal sayısı, ofset vb.). Daha sonra varolan jeolojik modele ait parametrelerin (hız ve tabaka kalınlıkları) tanımlanması gerekmektedir. Bu işlem Disco’da MODRAY modülü ile yapılmaktadır. İkinci olarak, veri-işlem yazılımının içerisinde varolan ışın izleme yöntemine karar vermek gerekir. Disco/Focus yazılımı içerisinde MODRAY modülüne ek olarak “normal”, “diffract” ve “image” isimli 3 tip ışın izleme yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan “Normal” geliş açılı ışın izleme yöntemi seçilerek, arayüze dik gelen ışınlar üretilmekte ve sentetik sismogram oluşturulmaktadır (Şekil 3.15) (Disco/Focus Help Manual).



Şekil 3.16 : Normal geliş açısı için ışın izleme yöntemi (Disco/Focus Help Manual).

Bu çalışma kapsamında veri-işlemi yapılan hatlardan Gülbahçe Körfezi’ne ait 1 ve 2 numaralı hatlarda derinlerden yüzeye doğru görülen yükselim yapısının olduğu kısma ait bir modelleme yapılmıştır. Bu işlem sırasında “normal” ışın izi seçeneği kullanılmıştır. Düz çözüm modelleme için kullandığımız MODRAY modülü bu aşamadan sonra sırasıyla ışın yolları üretimi, yansıma katsayıları ile genlik

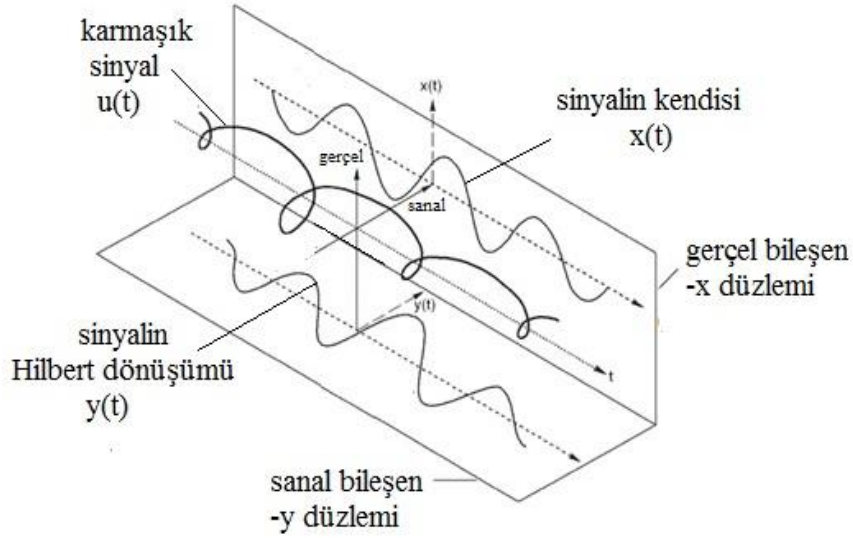
değerlerinin hesabı ve sentetik dalgacık üretimi işlemlerini gerçekleştirir. Son olarak üretilen dalgacığa süzgeçleme işlemi yapılarak kaynak dalgacığı formu verilir. Bu aşamada sıfır fazlı dalgacık tipi seçilmiştir. Böylece sentetik yığma kesiti elde edilmiş olur. Bu modelleme ile tek kanallı veriden elde edemediğimiz hız bilgisini kestirerek sismik kesitte görülen çamur diapiri yapısına bir yaklaşım sağlanmaya çalışılmıştır. Modelleme sonuçları sismik sonuçlar bölümünde detaylı olarak verilecektir.

3.5 Karmaşık İz Nitelikleri Analizi

Karmaşık iz analizi olarak da bilinen bu teknik sismik verideki bölgesel değişimleri koruyan bir dönüşümdür. Temel anlamda, sismik veriden “genlik” ve “faz” olarak adlandırılan iki niteliğin ölçülmesini sağlar. Genlik, “yansıma gücü” olarak da adlandırılır. Faz ise kendisinin bir nitelik olmasının yanı sıra “anlık frekans” olarak adlandırılan ölçümlerin de temelini oluşturur. Bu analizlerin yapılmasındaki amaç, yorumcuya yeni bir bakış açısı kazandırmanın yanısıra, veri içeriğinin önemini kavratmaktır. Aynı zamanda ölçümlerin güvenilirliği ile verinin içerdiği bilginin birbirine olan bağlılığının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Nitelik analizinin yapılabilmesi için verinin frekans ve özellikle genlik içeriğinin korunmuş olması gerekir (Taner, 1978).

Sismik iz analizi kadar bunların sonucunun nasıl görüntülendiği de önemlidir. Sismik veriler alışıla geldiği üzere çeşitli yoğunlukta ve genlikte, düşeyden yataya değişen oranlarda ve skalalarda görüntülenebilirler (Sheriff and Farrell, 1976). Görüntüleme parametreleri aynı zamanda izlerin süperpozisyonu ve renkleri de içerir. Bunlardan renk karmaşık nitelik analizinde çok etkili sonuçlar vermektedir.

Bilindiği üzere sismik algılayıcılar sismik hareketi kaydeder dolayısıyla kinetik enerjiyi ölçerler. Ancak dinamik bir sistemde toplam enerji, kinetik ve potansiyel enerjinin toplamına eşittir. Kaydedilen sismik sinyal kinetik enerji ile orantılı iken bu sinyalin “Hilbert dönüşümü” kullanılarak hesaplanan karmaşık eşleniği ise potansiyel enerji ile orantılıdır (Şekil 3.16). Sanal bileşen aynı zamanda gerçel bileşenin 90° faz kaydırılmış halidir (Dondurur, 2009).



Şekil 3.17 : Hilbert dönüşüm çifti (Bracewell, 1965 'den değiştirilerek alınmıştır).

Bu bilgiler doğrultusunda sinyalin kendisi ve karmaşık eşleniği, zamana bağlı karmaşık bir sinyal olarak ifade edilebilir. Toplam enerjiyi gösteren analitik sinyal $u(t)$, bu sinyalin kendisi yani analitik sinyalin gerçel bileşeni $x(t)$ ve bunun Hilbert dönüşümü yani analitik sinyalin sanal bileşeni $y(t)$ kullanılarak eşitlik 3.4'deki gibi ifade edilebilir.

$$u(t) = x(t) + iy(t) \quad (3.4)$$

Sinyalin kendisi ve bunun Hilbert dönüşümü olan sanal bileşeni eşitlik 3.5 ve 3.6'teki gibi zamana bağlı genlik ve faz ile ifade edilirse,

$$x(t) = A(t). \cos\theta(t) \quad (3.5)$$

$$y(t) = A(t). \sin\theta(t) \quad (3.6)$$

toplam enerji eşitlik 3.7'deki gibi olur.

$$u(t) = A(t). \cos\theta(t) + i [A(t). \sin\theta(t)] \quad (3.7)$$

$$u(t) = A(t). e^{i\theta(t)} \quad (3.8)$$

Eğer $x(t)$ ve $y(t)$ biliniyorsa karmaşık iz nitelikleri adı verilen özel parametreler hesaplanabilir. Temel olarak üç parametre vardır. Bunlar anlık genlik (yansıma gücü) $A(t)$, anlık faz $\theta(t)$ ve anlık frekans $\omega(t)$ 'dir.

$$A(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2} \quad (3.9)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left[\frac{y(t)}{x(t)} \right] \quad (3.10)$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \omega(t) \quad (3.11)$$

3.5.1 Anlık genlik (Yansıma Gücü)

Bu nitelik fazdan bağımsızdır. Maksimum yansıma gücü; uyumsuzluk yüzeyleri, deniz seviyesindeki ani değişimler sonucu oluşan sınırlar ve sedimanların çökme-depolanma alanları gibi temel litolojik değişimlerin göstergesidir. Gaz birikimlerinin olduğu alanlar yansıma gücü kesitlerinde yüksek genlikli alanlar olarak görülürken, kesitlerdeki parlak nokta, düz nokta gibi yansıma genliğinde ani bölgesel değişimlere neden olan yapılar faylanmanın ya da hidrokarbon birikiminin bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Yansıma katsayısının polaritesini tespit etmek için de kullanılabilir.

3.5.2. Anlık faz

Anlık faz, sismik olayların devamlılığının incelenmesinde kullanılır. Anlık faz kesitlerinde sinyalin gerçel bileşenindeki salınımlar (tepe, çukur vb.) aynı renkte görülür bu nedenle sinyalin fazındaki herhangi bir değişim kesitlerden kolayca takip edilebilir. Bu kesitler genlik bilgisi taşımazlar, zayıf ve kuvvetli olayları aynı anda gösterirler. Süreksizliklerin ve faylanmaların en iyi göstergesidir.

3.5.3 Anlık frekans

Kaydedilen yansımaların büyük bir çoğunluğu arayüzeylerden yansıyan birbirinden ayrı yansımaların birleşiminden oluşmaktadır. Birbirinden ayrı yansımaların süperpozisyonu olan bu toplam yansıma bir frekans örüntüsü ile karakterize edilir. Dolayısıyla tabakaların kalınlığında ya da litolojisinde meydana gelen her değişim toplam yansımanın karakterinde de bir değişim meydana getirecektir. Örneğin petrol-su kontakları, gaz içeren kumlar da sinyalin yüksek frekanslarını soğurmasından dolayı düşük frekanslı alanlar olarak gözlemlenirler.

3.5.4 Anlık fazın kosinüsü ve sinüsü

Anlık fazın kosinüsü ve sinüsü, tıpkı anlık faz gibi sismik olayların devamlılığının incelenmesinde kullanılırlar. Genlik bilgisi içermezler. Fayların, kanalların ve çökme alanlarının tespit edilmesinde oldukça yardımcıdırlar. Özellikle sedimanların tabakalanma şekillerini ve stratigrafik birimlerin sınırlarını belirleme de çok iyi sonuçlar verirler. Ancak anlık faz kesitleri bu niteliğe göre daha ayrıntılı bilgi verirler.

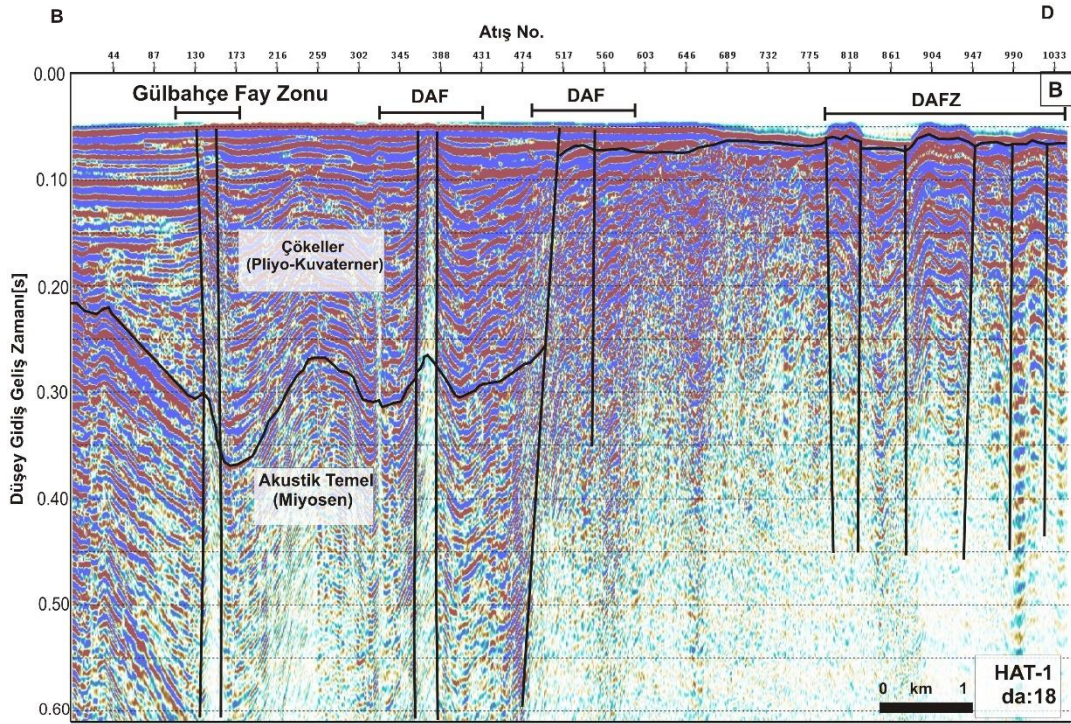
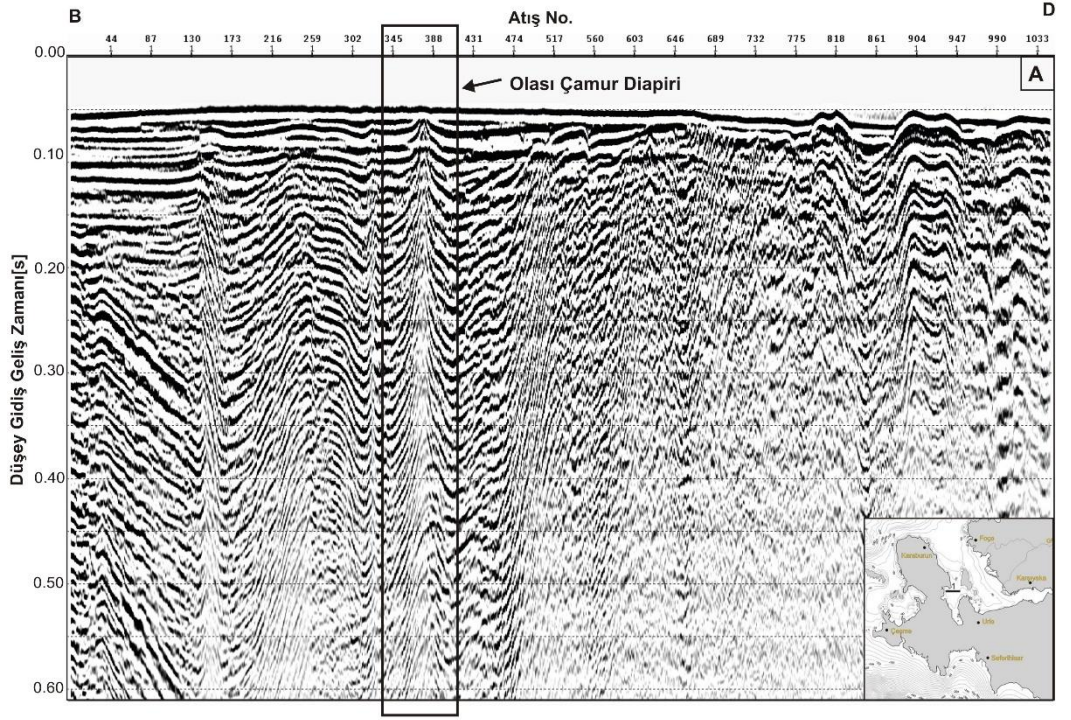
4. SİSMİK YANSIMA KESİTLERİNİN KARMAŞIK İZ NİTELİK ANALİZLERİ İLE BİRLİKTE YORUMLANMASI

Sismik kesitlerde yorumlamalar stratigrafik ve yapısal olarak iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Kesitlerde stratigrafik olarak yatay, paralel tabakalı havza çökelleri derindeki akustik temel üzerinde depolanmıştır. Bu iki yansıma paketi birbirinden bir aşım yüzeyiyle ayrılmıştır. Bu yüzey Ocakoğlu (2004) ve Ocakoğlu ve diğ., (2005)'e göre Pliyosen-Miyosen uyumsuzluğudur. Buna göre üstteki sedimanlar Pliyosen-Kuvaterner, alttaki akustik temel ise Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.

Sismik kesitlerde yapılan yapısal yorumlamalarda ise başlıca iki tür fay belirlenmiştir. Bunlardan birincisi normal, ikincisi ise doğrultu atım karakterinde olan faylardır. Bölgede normal faylar genellikle K-G uzanımlı sismik hatlarda görünürken, doğrultu atımlı faylar ise D-B uzanımlı sismik hatlarda kendini göstermiştir. Sismik kesitlerde tespit edilen fayların önemli bir bölümünün deniz tabanına veya deniz tabanının çok yakınına kadar uzandığı gözlenmiş ve bu nedenle aktif faylar olarak yorumlanmışlardır. Bu faylar çoğunlukla doğrultu atım karakterinde olan faylardır. Doğrultu atımlı faylar genellikle deniz tabanında herhangi bir atıma neden olmayan, sismik yansıma seviyelerinde bir bozuşmaya neden olmayan fay zonları şeklinde haritalanırken, normal faylar doğrultu atımlı faylara göre daha düşük eğimli ve deniz tabanında atım yapan çoğunlukla bir ana fayı veya onun antitetik ve sentetik fayları ile birlikte bulunan fay yapıları olarak haritalanmıştır.

4.1 Hat 1 'in Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri

Şekil 4.1 'de çalışma alanlarımızdan biri olan Gülbahçe Körfezi'nin çıkışında yer alan Hat-1'e ait final kesiti ve bu kesitin yapısal ve stratigrafik yorumu görülmektedir. Sismik kesitlerde tespit edilen uyumsuzluk yüzeyleri ve farklı karakterdeki yansıma tipleri akustik temel ve bu temelin üzerinde biriken çökeller olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.1 : A) Hat-1'e ait sismik kesit B) Hat-1'in yapısal ve stratigrafik yorumu.

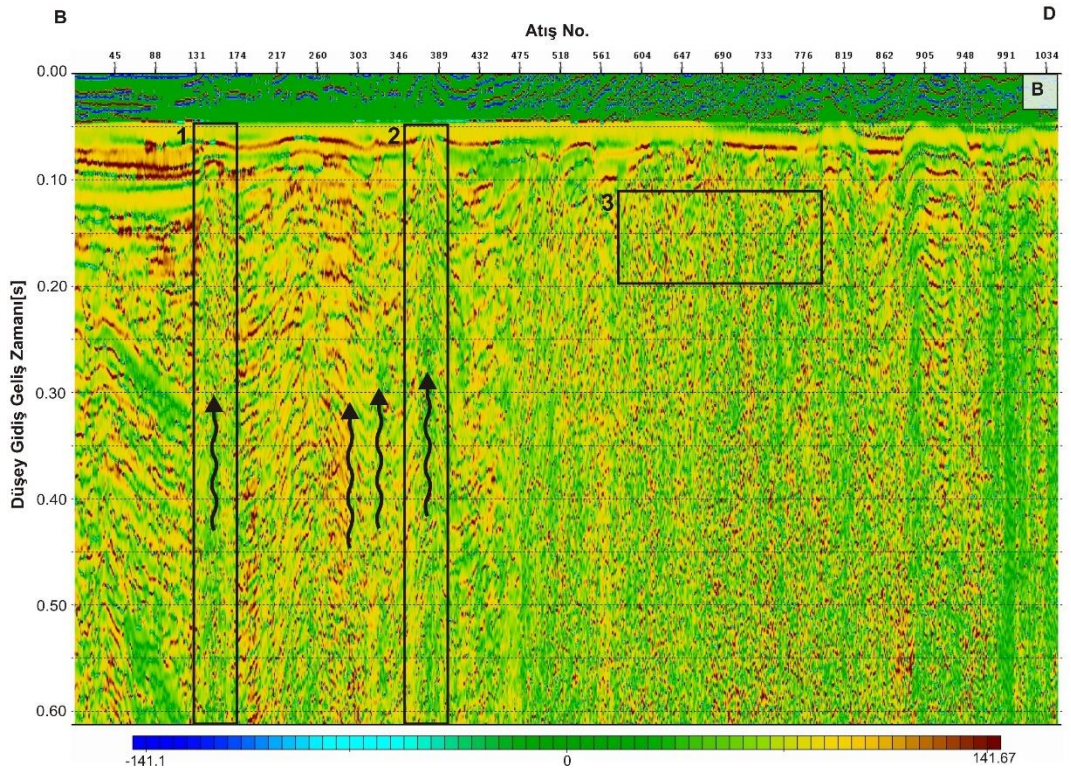
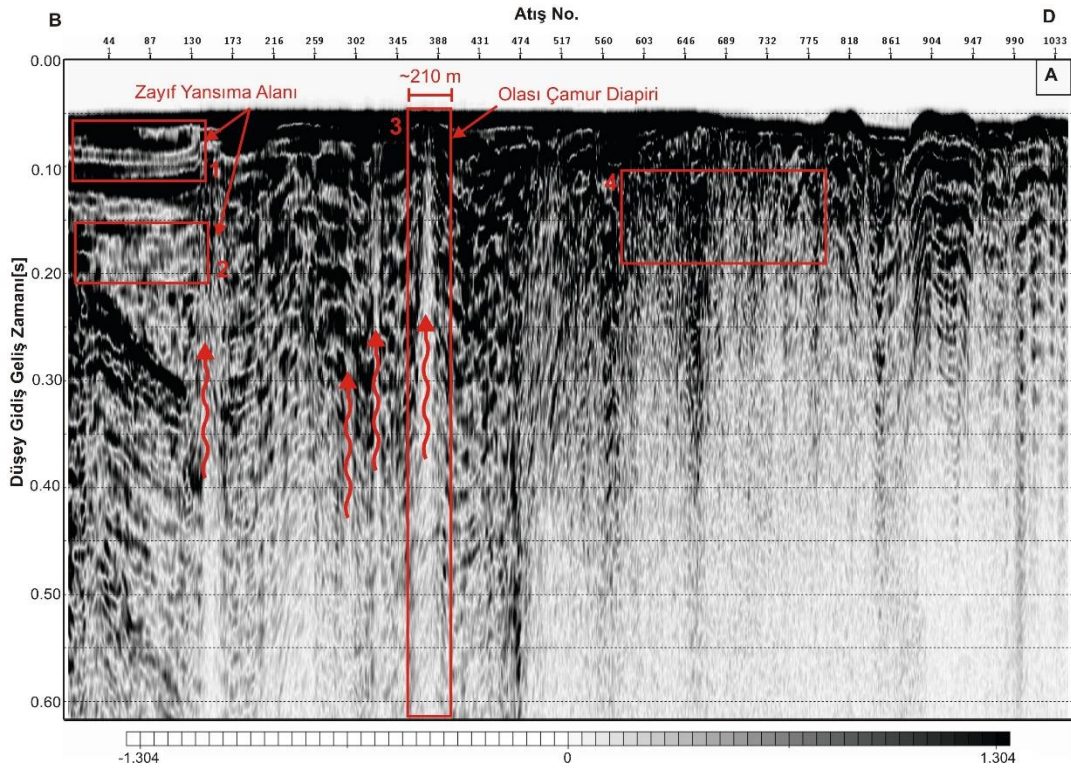
Bu birimlerin jeolojik yaşları Ocakoğlu (2004) tarafından belirlenmiş olup Miyosen yaşlı akustik temel, üzerindeki birimlere göre daha kaotik bir yansıma karakteri gösterirken, temel üzerinde biriken Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç çökeller ise paralel yansıma karakterindedir. Bu iki birim birbirinden siyah renk ile gösterilen uyumsuzluk yüzeyiyle ayrılmıştır.

DB uzanımlı Hat-1 incelendiğinde hattı dik yönde kesen ve herhangi bir atıma neden olmayan doğrultu atım karakterine sahip faylar tespit edilmiştir. Bu faylar, genç çökelleri kesip, deniz tabanına kadar uzanıyor olduklarından aktif faylar olarak yorumlanmıştır. Şekil 4.1 B'de kesitin sol tarafında tespit edilen fay zonunun, MTA'nın diri fay haritasında (Şekil 1.10) karada Gülbahçe Fay Zonunun devamı olduğu düşünülmektedir. Söz konusu fay Ocakoğlu (2004) tarafından Karaburun Fayı olarak adlandırılmıştır.

Kesitlerde çökel birimleri keserek deniz tabanına kadar uzanan yükselimli bir yapı tespit edilmiştir. Bu yapının içerisinde yansımalar sönmülmüş ve transparan hale gelmiştir. Ayrıca kesitin derinlerinden deniz tabanına doğru ortamın etkisinde olduğu tektonik kuvvetler nedeniyle meydana gelen plastik deformasyondan dolayı bir malzeme taşınımı olduğu düşünülmektedir. Bölgedeki aktif faylanma nedeniyle deforme olmuş ve ufalanmış malzemenin ortamdaki sıvı ve/veya gaz ile birleşerek yukarı doğru taşınması söz konusudur. Bu hareket bölgede muhtemel bir çamur diapiri olduğunu düşündürmüştür. Önceleri bu tür yapıların sadece karada görüldüğü düşünülüyse de son zamanlarda yapılan çalışmalar denizel ortamlarda da sıkça rastlandığını göstermektedir.

Dimitrov (2002), çamur diapirlerini çamur volkanlarının deniz tabanına ulaşmamış erken bir evresi olarak tanımlamıştır. Ancak çamur diapirinin varlığının ortamda bir çamur volkanın geliyeceği anlamına gelmediğini de belirtmiştir. Ayrıca bu tür yapıların gelişebilmesi için sıkışmalı bir tektonik aktiviteye ve ortamda bol miktarda çökel birikimine ihtiyaç olduğunu belirtmektedir. Çalışma alanımızın etkisinde olduğu tektonik kuvvetler ve bölgede çökel birikimi için uygun ortamlar sağlayan havzaların çokluğu bu olasılığı artırmaktadır.

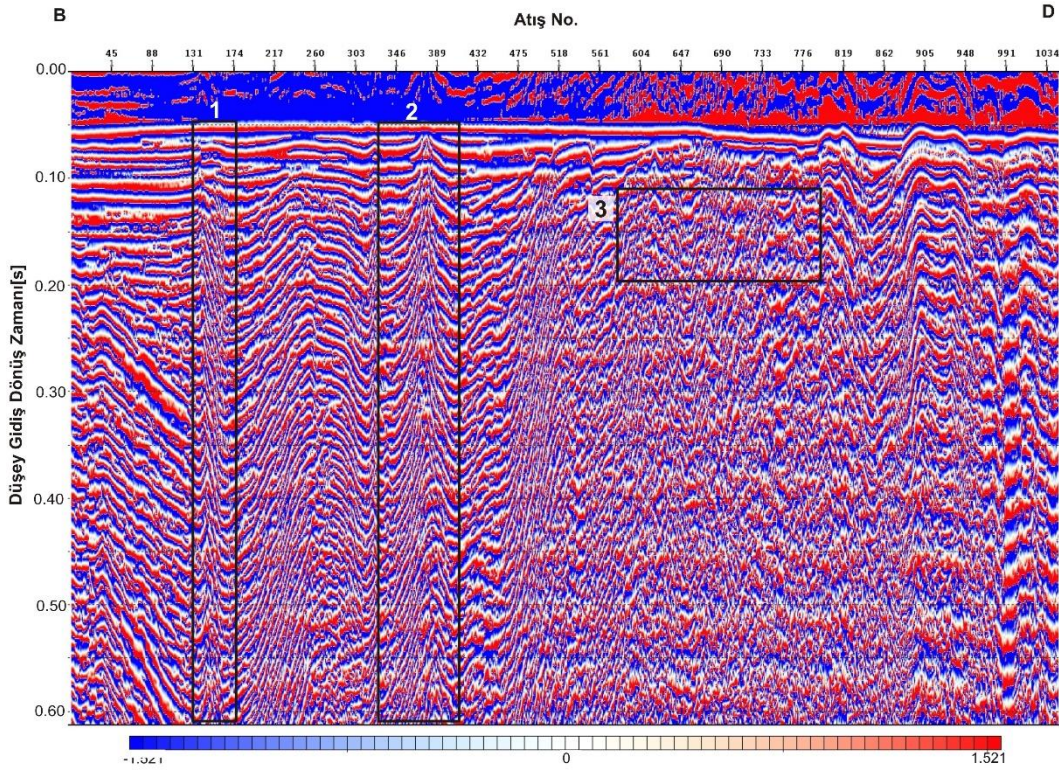
Sismik kesitlerde tespit edilen bu yapının daha iyi incelenebilmesi için karmaşık iz nitelik analizleri yapılmıştır. Veri işlem sırasında verinin gerçek genlik değerleri korunmuş ve otomatik genlik kontrolü (AGC) uygulanmamıştır. Böylece Hat-1'de gözlenen ve çamur diapiri olduğu düşünülen yapı ortaya çıkarılabilmektedir. Bölüm 3.5'te bahsedilen yansıma gücü, anlık frekans, anlık faz, fazın kosinüsü ve sinüsü karmaşık iz niteliklerinin tamamı tüm hatlara uygulanmıştır. Ancak yapılan incelemeler sonucu elde edilen kesitlerde fazın kosinüsü ve sinüsü arasında gözle görülür bir fark tespit edilemediğinden sadece Hat-1'de gösterilecek olup daha sonraki kesitlerin yorumunda fazın sinüsüne yer verilmeyecektir.



Şekil 4.2 : A) Hat-1'e ait yansıma gücü kesiti B) Hat-1'e ait anlık frekans kesiti.

Şekil 4.2 A'da Hat-1'e ait yansıma gücü (anlık genlik) kesiti görülmektedir. Kesitte akustik temel ile çökellerin yansıma karakterleri birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Akustik temel içerisinde sismik dalga hızı (yoğunluk) çok yüksek olduğundan enerji çok çabuk soğurulmuştur. Bu nedenle akustik temel boyunca 4

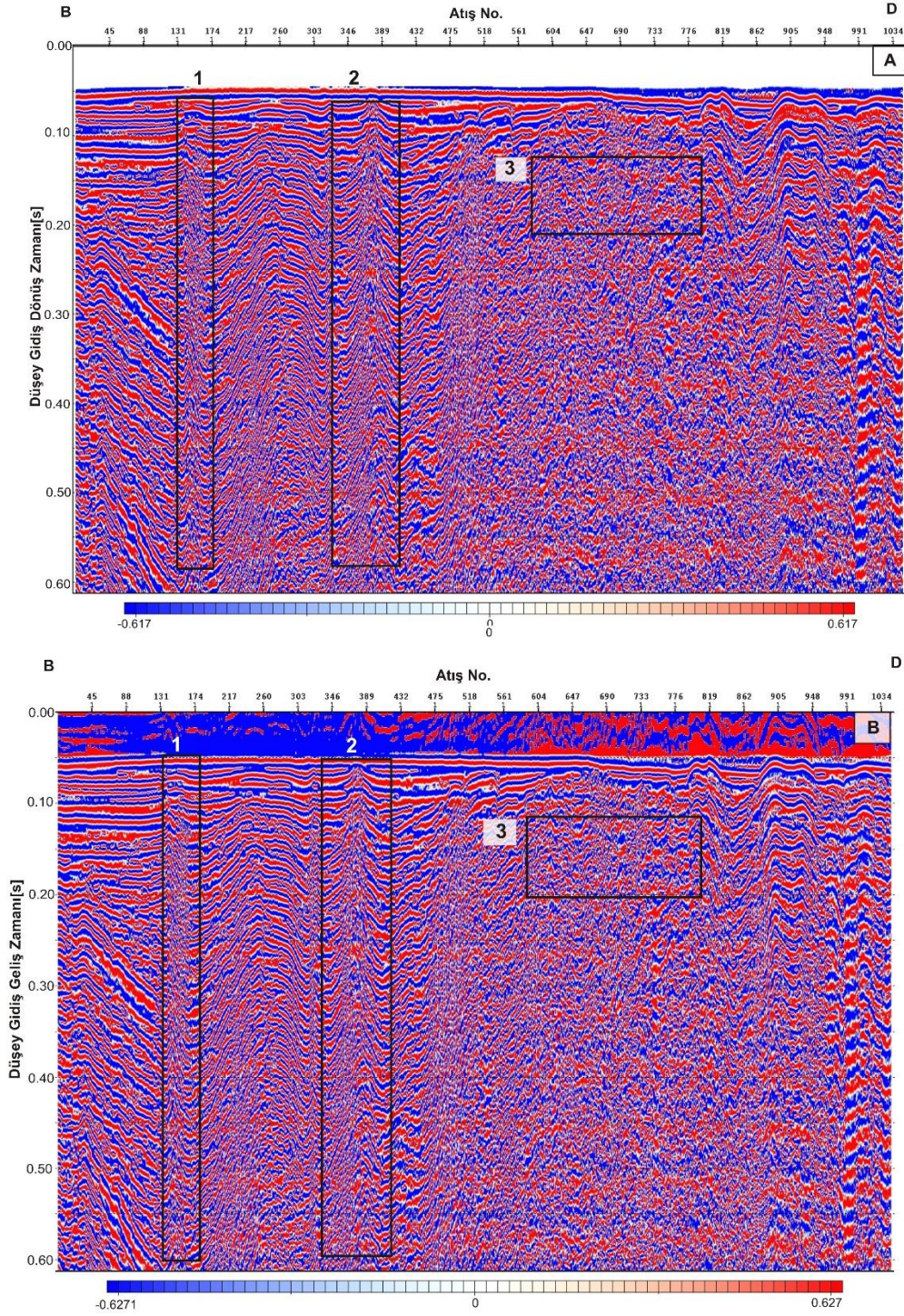
numaralı çerçeve içerisinde gösterildiği gibi kaotik bir yansıma gözlenmektedir. Ayrıca bu iki birim arasındaki uyumsuzluk yüzeyi de seçilebilmektedir. 1 ve 2 numaralı çerçeveler içerisinde gösterilen kısımlarda deniz tabanının hemen altında zayıf yansıma alanı görülmektedir. 3 numaralı çerçeve içerisinde gösterilen yapının sismik kesitlerde tespit edilen çamur diapiri olduğu düşünülmektedir. Çamur diapirinin genişliği yaklaşık 210 m olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere bu yapının içerisinde genlik değerleri çok düşüktür. Diapir içerisindeki yansıma karakterine bakıldığında ise deniz tabanına doğru faylar boyunca var olduğu düşünülen malzeme taşınımı kırmızı oklar ile gösterilmiştir. Bölgenin jeotermal aktivitesinin yüksek oluşu göz önüne alındığında karada var olan kaynakların deniz tabanının altında da devamlılık gösterme olasılığı yüksektir. Bu aktivitenin kesitlerde gözlemlenen doğrultu atımlı faylar vasıtasıyla deniz tabanına kadar çıkış yolu bulduğu ve faylar nedeniyle deforme olmuş malzemeyi de beraberinde taşıdığı düşünülmektedir. Şekil 4.2 B’de ise aynı hatta ait anlık frekans kesiti görülmektedir. 1,2 ve 3 numaralı çerçeveler içerisinde olası gaz ya da su içerdiği düşünülen birimlerin, sinyalin yüksek frekanslarını soğurmasından dolayı düşük frekanslı alanlar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3: Hat-1'e ait anlık faz kesiti.

3 numaralı çerçeve içerisinde gösterilen akustik temel anlık frekans kesitlerinde de kaotik bir yansıma göstermektedir. Şekil 4.3'te Hat-1'e ait anlık faz kesiti

görülmektedir. 1 ve 2 numaralı çerçeveler içerisinde gösterilen havza içerisindeki çökellerin yanal yönde devamlılığı çok iyi gözlemlenirken 3 numaralı çerçeve içerisinde gösterilen akustik temelde zayıf yansımalar nedeniyle devamlılık takibi yapılamamaktadır.



Şekil 4.4 : A) Hat-1'e ait fazın kosinüsü kesiti B) Hat-1'e ait fazın sinüsü kesiti.

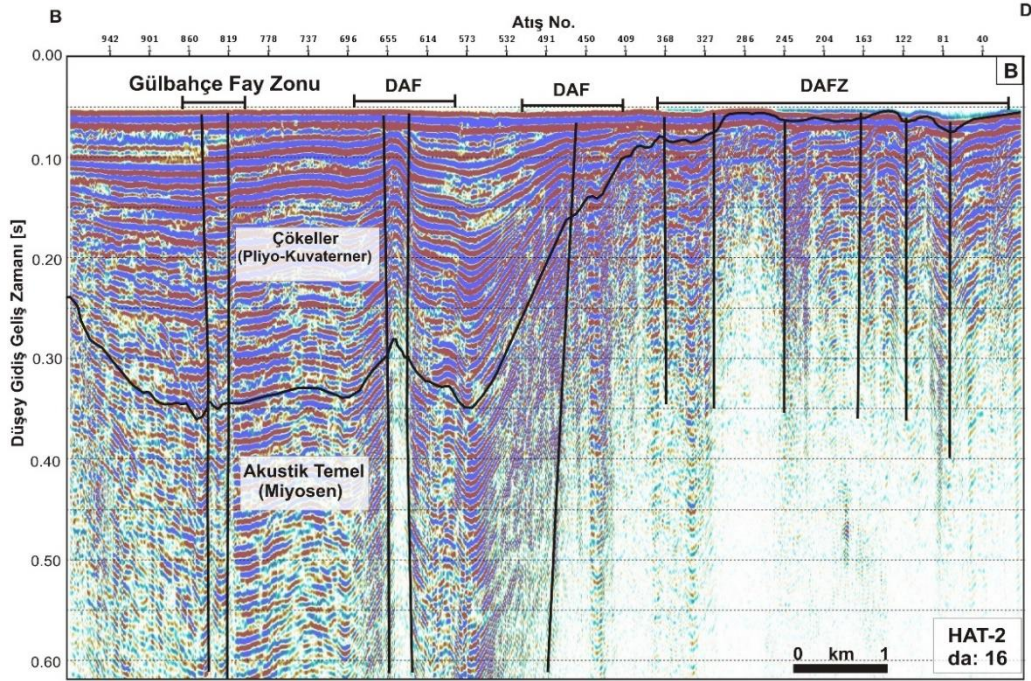
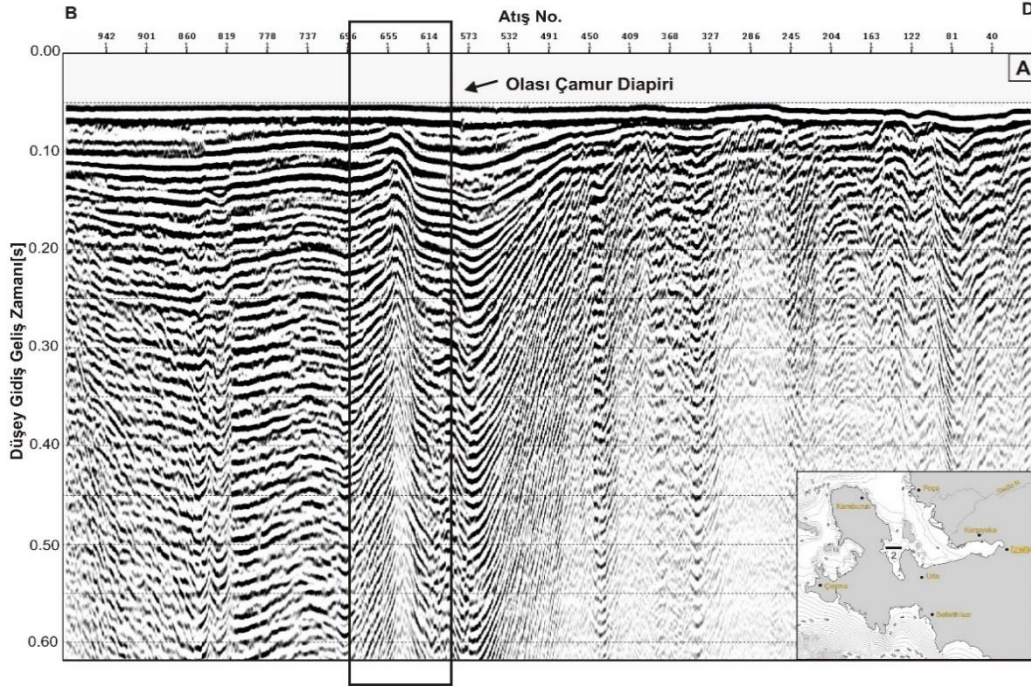
Sismik kesitin yorumunda belirtilen, hattı KG doğrultuda dik kesen doğrultu atımlı faylar da açıkça görülmektedir. Şekil 4.4 Hat-1'e ait fazın kosinüsü ve sinüsü kesitleri görülmektedir. Her iki kesitte de anlık faz kesitinden farklı bir sismik olay gözlenmemiştir.

4.2 Hat 2'nin Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri

Şekil 4.5 A'da Gülbahçe Körfezi içerisinde Hat-1'e paralel yönde bulunan Hat-2'nin final kesiti görülmektedir. Şekil 4.5 B'de ise aynı kesitin stratigrafik ve yapısal yorumu görülmektedir. Hat-1'de olduğu gibi Miyosen yaşlı akustik temel ve üzerinde biriken Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökeller olmak üzere iki birim tespit edilmiştir. Bu iki birim birbirinden yine siyah renk ile gösterilen uyumsuzluk yüzeyiyle ayrılmıştır. Akustik temel ve çökel birimler Hat-1 ile benzer özellikte olup temelde kaotik yansımalar görülürken çökel birimlerde kuvvetli ve paralel yansımalar gözlenmektedir. Bu iki hat birbirine paralel olduğundan Hat-1'de gözlenen yapılar Hat-2'de de benzer şekilde gözlemlenmiştir.

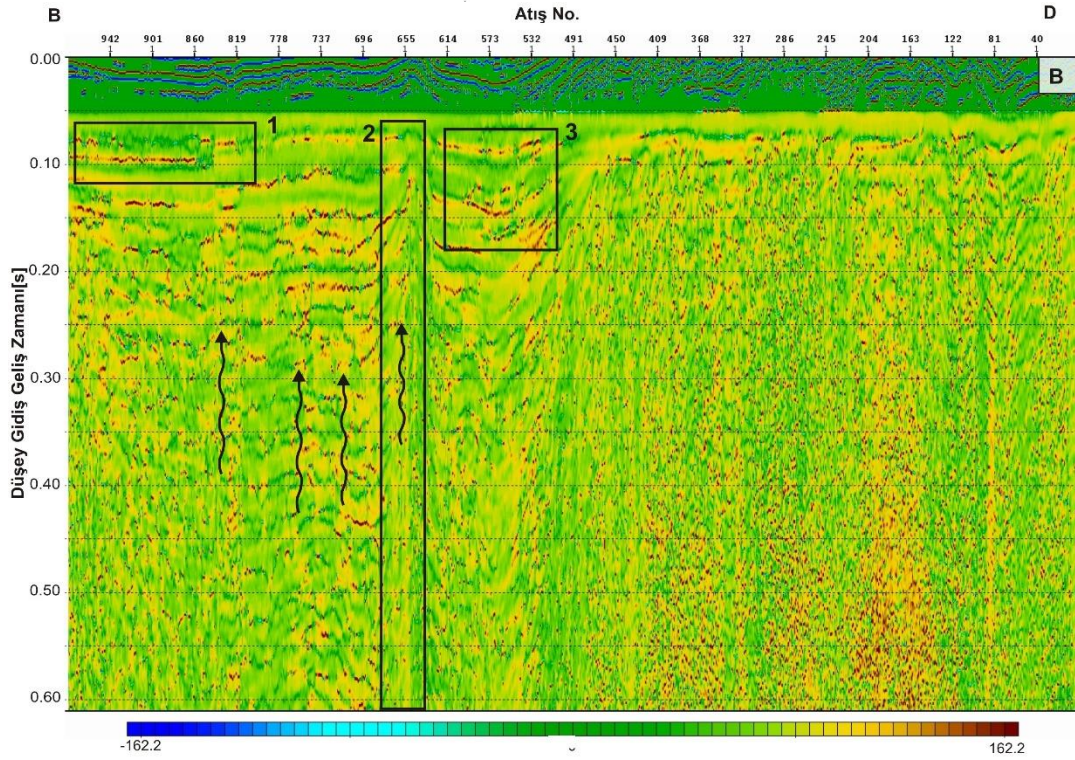
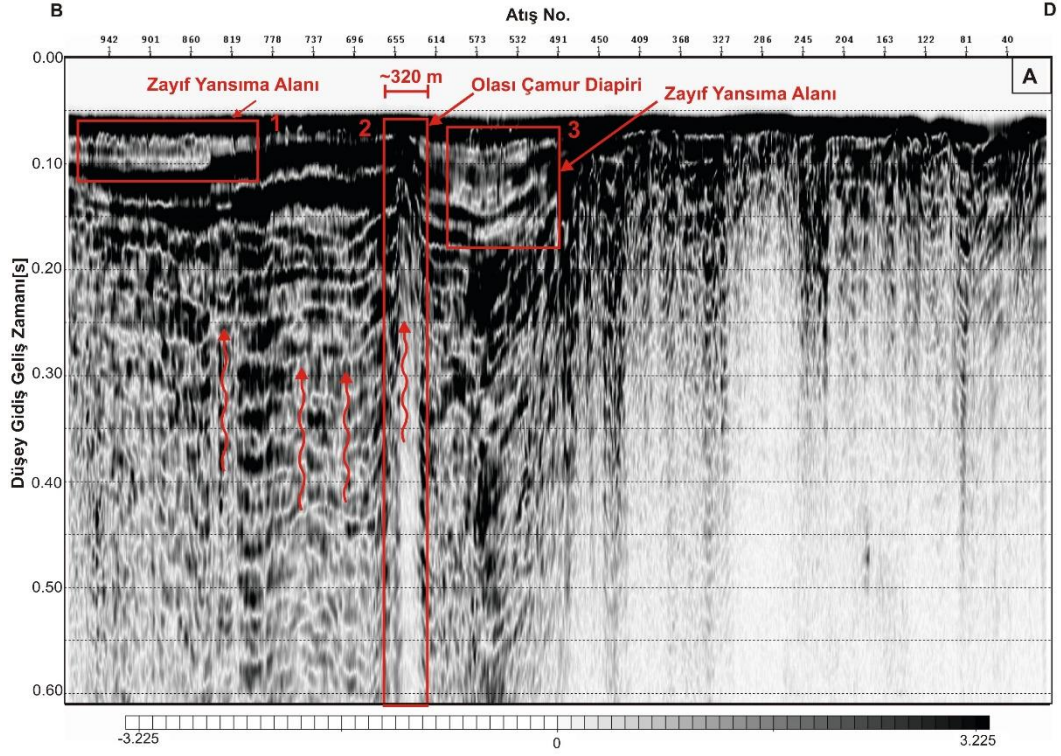
DB uzanımlı hattı dik yönde kesen ve deniz tabanına kadar izlenen doğrultu atımlı faylar bu hatta da tespit edilmiştir. Bu aktif doğrultu atımlı faylar K-G uzanımlı Gülbahçe Körfezi ve onu batıdan sınırlayan Karaburun Yarımadası'nın uzanımı ve morfolojisi ile oldukça uyumludur. Yine Hat-1'de görülen Gülbahçe Fay Zonu Hat-2'de kesitin sol tarafında görülmektedir. Bu fayın kıyının gelişiminde büyük etkisi olduğu düşünülmektedir (Ocakoğlu ve diğ., 2005). Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökelleri keserek deniz tabanına kadar çıkan ve çamur diapiri olduğu düşünülen yapıyı bu kesitte de görmek mümkündür. Hat-1'den Hat-2'ye K-G yönünde bakıldığında bu yapının Hat-2'de göreceli olarak daha genişlediği görülmektedir. Ayrıca Hat-1'e oranla bu yapı ve çevresi arasındaki yansımalar arası fark daha da artmıştır.

Şekil 4.6 A'da Hat-2'ye ait anlık genlik kesiti görülmektedir. Deniz tabanının hemen altında diapir olduğu düşünülen yapının her iki tarafında 1 ve 3 numaralı çerçeveler içerisinde gösterilen zayıf yansıma alanları tespit edilmiştir. Bu alanlarda düşük genlik değerleri ölçülmüştür. Aynı şekil üzerinde 2 numaralı çerçeve içerisinde gösterilen yapı ise faylarla sınırlanmış çamur diapiridir. Yüksek akustik empedans farklılıklarından dolayı diapir yapısı ile etrafındaki birimleri birbirinden ayırt etmek mümkündür.



Şekil 4.5 : A) Hat-2'ye ait sismik kesit B) Hat-2'in yapısal ve stratigrafik yorumu.

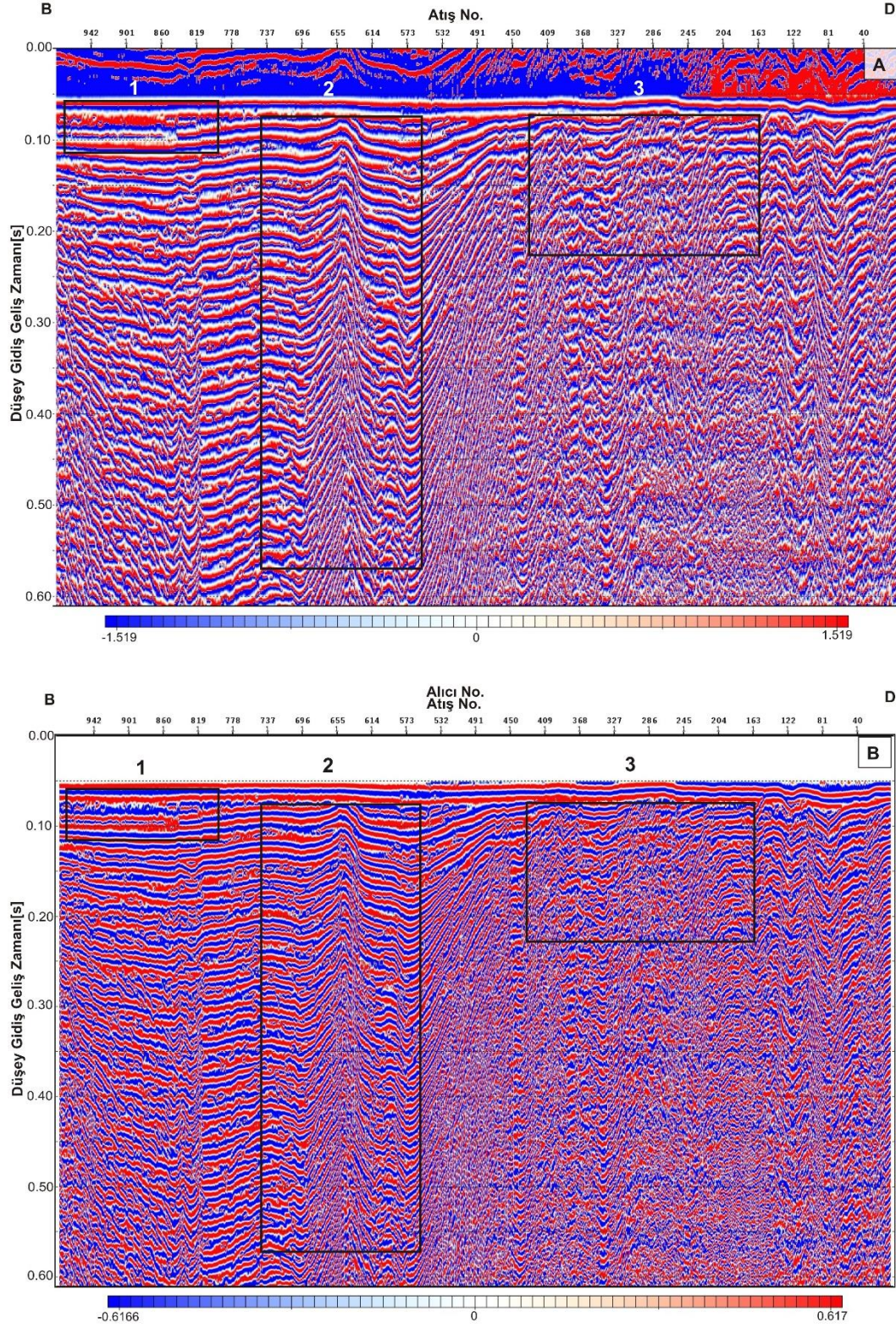
Hem diapiri sınırlayan faylar boyunca hem de bölgede varolan diğer faylar boyunca deniz tabanına doğru çıkan çamur veya olası su/ gaz çıkışları ise kırmızı oklarla ifade edilmiştir. Bu malzemenin gaz ve/veya sıvı içermesi nedeniyle genliklerde sönümlenme meydana gelmiştir.



Şekil 4.6 : A) Hat-2'ye ait yansımalar kesiti B) Hat-2'ye ait anlık frekans kesiti.

Şekil 4.6 B'de ise Hat-2'ye ait anlık frekans kesiti görülmektedir. Yansımalar kesitinde gözlemlenen düşük genlikli alanlar (1,2 ve 3 numaralı çerçeveler) anlık

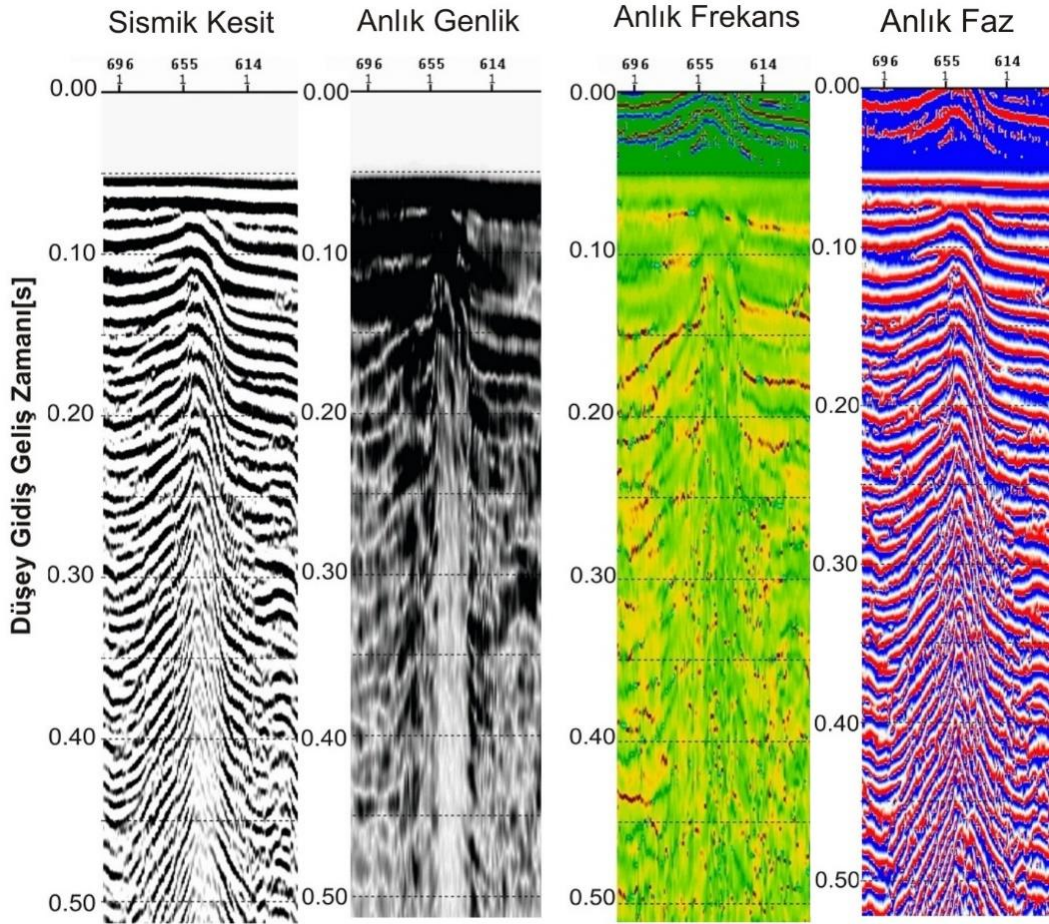
frekans kesitinde yine aynı nedenlerden dolayı düşük frekanslı alanlar olarak görülmektedir.



Şekil 4.7 : A) Hat-2'ye ait anlık faz kesiti B) Hat-2'ye ait anlık fazın kosinüsü kesiti.

Sismik kesitlerin yorumunda bahsedilen fayları, sismik olayların sürekliliğinin çok iyi takip edilebildiği Şekil 4.7 A'da verilen anlık faz kesitinde de görmek mümkündür. Anlık faz kesitlerinde sürekliliğin kaybolduğu yerler, yorumlanmış kesitlerde fay olarak gösterilen yapılar ile uyum içerisindedir.

Şekil 4.7 B'de görülen fazın kosinüsü kesiti de anlık faz kesitiyle benzer özellikler göstermektedir. Bu kesitlerde de tabaka devamlılığını takip etmek mümkündür. Fayların olduğu yerlerde sürekliliğin devam etmediği görülmektedir.

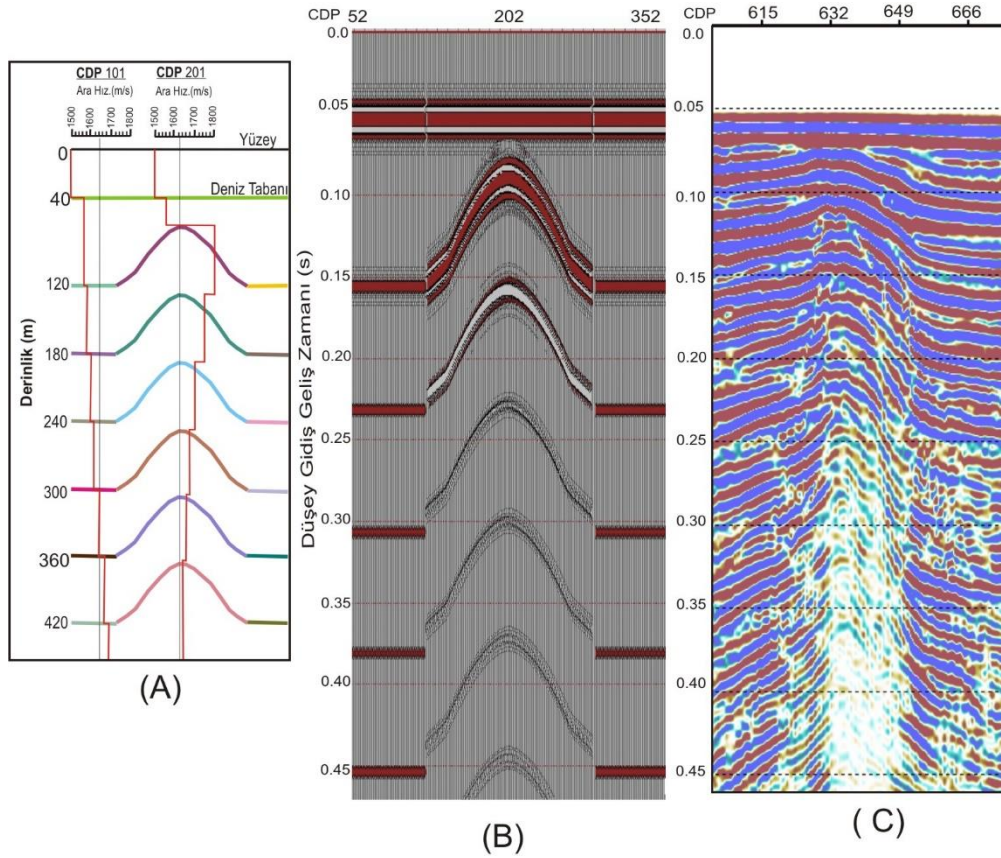


Şekil 4.8 : Sismik kesitte tespit edilen çamur diapiri yapısı ve bu yapının nitelik analizleri sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.8'de sismik kesitte tespit edilen ve karmaşık iz nitelikleri ile analizleri yapılan çamur diapiri yapısının karşılaştırmalı sonuçları görülmektedir. Veri işlem aşamasında gerçek genlik değerleri korunarak elde edilen Hat-1 ve Hat-2 sismik kesitlerinde düşük yansıma değerleri gösteren çamur diapiri yapısı anlık genlik kesitlerinde düşük genlikli alanlar, anlık frekans kesitlerinde soğurulmadan dolayı düşük frekanslı alanlar şeklinde görülürken anlık faz kesitlerinde ise diapir olduğu düşünülen yapının sınırları ve iç yapısı çok daha belirgin hale gelmiştir. Bu yapının içerisinde yansımalar kaotik

bir karakterde iken etrafındaki birimlerde oldukça belirgin ve birbirine paraleldir. Sismik kesitlerde ve karmaşık iz nitelik analizlerinde görülen anomalilerin kaynağı olarak bölgenin yüksek jeotermal potansiyele sahip olması, bu jeotermal suların yalnızca karada değil deniz içerisinde de devamlılığının sürdürerek faylar boyunca deniz tabanına doğru hareket etmesi olarak gösterilebilir.

Şekil 4.9’da nitelik analizlerine ek olarak yapılan ve Bölüm 3.4’te bahsedilen sismik modelleme çalışmasının sonuçları görülmektedir. Varolan sismik kesitlerimiz tek kanallı olduğundan ve hız bilgisi içermediğinden tespit edilen çamur diapiri yapısının içerisinde sismik hızın değişimini görebilmek amacıyla modelleme çalışması yapılmıştır.



Şekil 4.9 : A) Model geometrisi ve parametreleri B) Modelleme sonucu elde edilen sentetik kesit C) Model için temel alınan sismik yansıma kesiti.

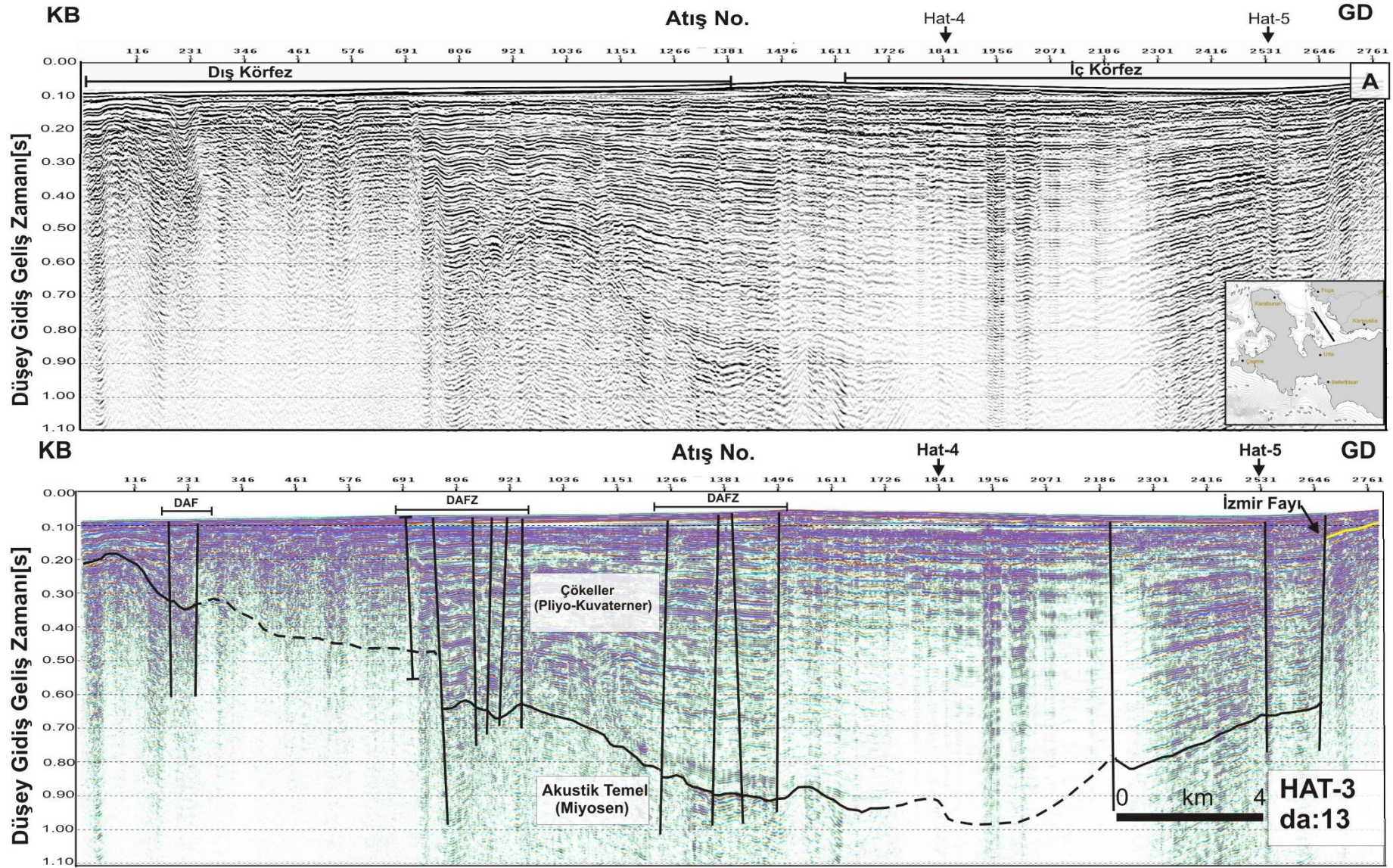
Şekil 4.9 A’da model geometrisi ve kesitlerde görülen yapı ile çevresinin sismik modellemede kullanılan ara hız değerleri görülmektedir. Şekil 4.9 B’de ise bu değerler kullanılarak elde edilen sentetik sismik kesit görülmektedir. Model oluşturulurken bir “çekme” yapısı oluşturabilmek yani yüksek bir akustik empedans farkı yaratmak için

deniz tabanının hemen altındaki hız değeri göreceli olarak yüksek alınmıştır (Lee ve diğ., 2005). Daha sonra yapı içerisinde varolduğu düşünülen akışkan nedeniyle hızın soğurularak düştüğü kabul edilmiştir. Hızın düşmesiyle birlikte yansıma genliklerinde de bir düşme ve polarite terslenmesi meydana gelmiştir. Şekil 4.9 C’de ise rutin veri işlem sonucunda elde edilen ve modelleme için temel alınan sismik kesit görülmektedir. Oluşturulan sentetik sismik kesit ile karşılaştırıldığında her iki kesitin birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

4.3 Hat 3 ‘ün Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri

Şekil 4.10 A’da İzmir Körfezi’ni KKB-GGD yönünde boylu boyunca geçen Hat-3’ün final kesiti görülmektedir. Şekil 4.10 B’de ise Hat-3’e ait yorumlanmış kesit görülmektedir. Miyosen yaşlı akustik temel ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel birimler olmak üzere iki birim tespit edilmiş ve siyah renk ile gösterilen aşınım yüzeyi ile birbirlerinden ayrılmıştır. Veri işlem sırasında küresel açılım düzeltmesi, su hızı (1500 m/s) kullanılarak yapıldığından kesitin derin kısımlarında genlik değerleri oldukça düşüktür. Bu nedenle akustik temelin, üzerindeki çökel birimlerden ayrılması işlemi bu hat ile kesişen çok kanallı sismik kesitlerdeki seviyelerin taşınmasıyla mümkün olmuştur. Buna ek olarak anlık faz kesitlerinden faydalanılmıştır. Anlık faz kesitleri düşük ve yüksek genlikleri aynı büyüklükte gösterdiğinden bu seviyelerin seçimi mümkün olmuştur. Yoğunluğu üzerindeki çökellere göre daha büyük olduğundan sismik enerjiyi çabuk soğuran akustik temel kaotik yansıma gösterirken, kalınlığı yaklaşık olarak 750 m olan çökel birimlerde ise paralel yansımalar gözlenmektedir.

Hat-3 bulunduğu konum itibarıyla İzmir Körfezi’nin hem iç hem de dış körfez bölümlerini içine alır. Körfezin içerisinde, Foça yarımadası, Uzunada ve Urla Yarımadası hattı boyunca akustik temelin yükselmiş olduğu ve bu hat boyunca bir sırtın varolduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Söz konusu bu sırt KKB-GGD uzanımlı dış körfez ile D-B uzanımlı iç körfezin birleştiği köşeye doğru gidildiğinde ise yeniden derinleştiği görülmektedir. Bölgenin genelinde gözlenen doğrultu atımlı faylar bu hat üzerinde de etkisini göstermektedir. Özellikle akustik temelin yükseliminin bir sırt meydana getirdiği yerlerde doğrultu atımlı fay zonları (DAFZ) bulunmaktadır. Kesitin sağ ucunda ise karadan iç körfeze paralel olarak kıyı boyunca uzanan daha sonra dönerek deniz içerisinde de takip edilen İzmir Fayı görülmektedir.



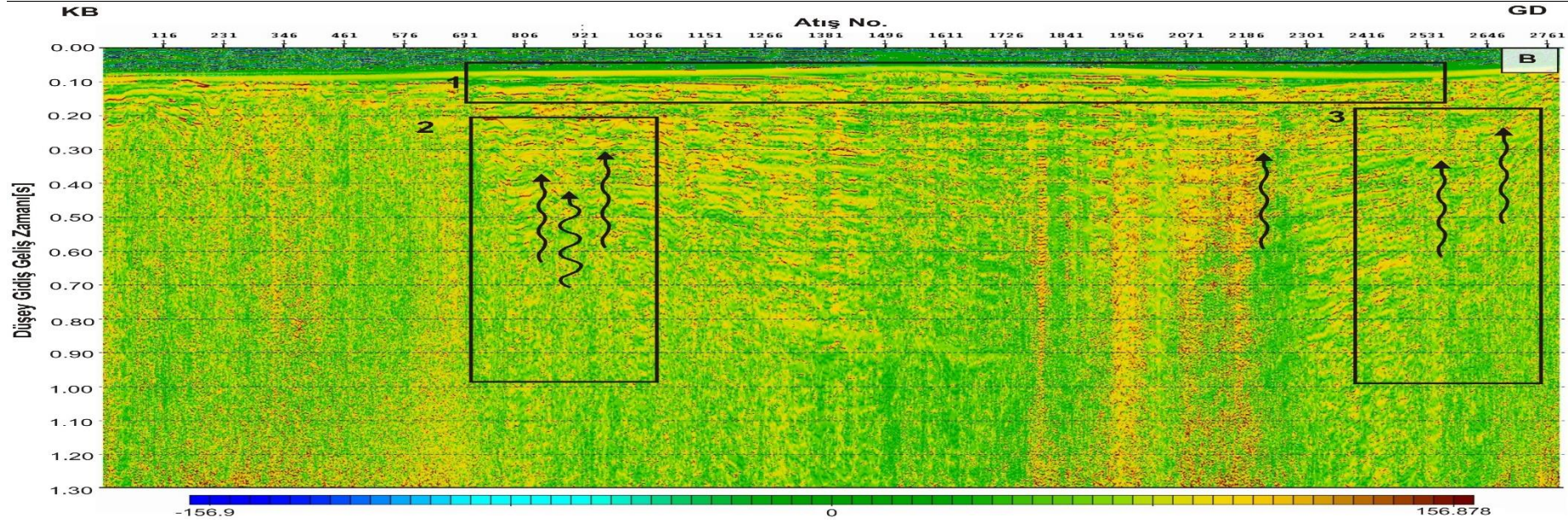
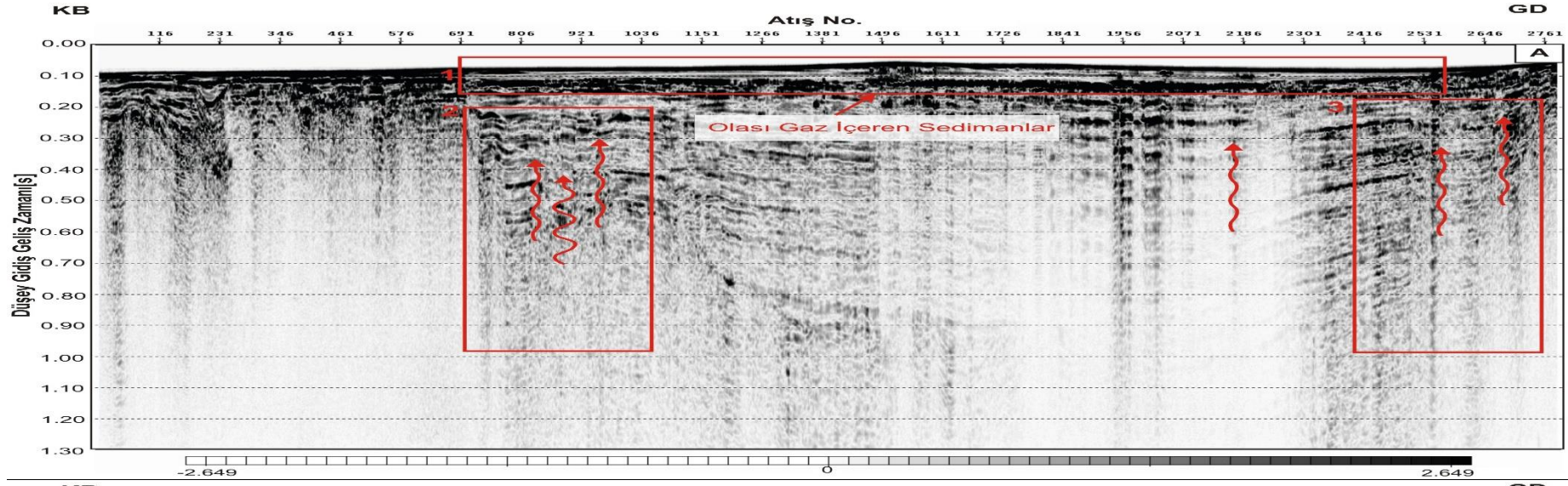
Şekil 4.10 : A) Hat-3'e ait sismik kesit B) Hat-3'ün yapısal ve stratigrafik yorumu.

Şekil 4.11 A’da ise Hat-3 ‘e ait anlık genlik kesitleri görülmektedir. Kesitte en belirgin olarak görülen yapı deniz tabanının hemen altında görülen düşük genlikli alanlardır. Yüksek tortulaşma oranı ve zengin organik malzemenin oksidasyondan korunumu ile bu tür denizel ortamlarda hidrokarbon ve bileşiklerinin oluşumu için uygun ortamlar hazırlanır. Denizel ortamlarda bu bileşiklerden en çok metan gazı ile karşılaşılır. Metan gazı, derin tortularda “termojenik” olarak sığ kısımlarda ise “biyojenik” olarak üretilmektedir. Termojenik gazın üretimi için genellikle uzun zaman periyotları ve yüksek basınçlar gerekirken; planktonik malzemeler, bitkiler, balıklar ve katı atıkların kaynağını oluşturduğu termojenik gaz için bunlara ek olarak yüksek tortul birikimine sahip denizel ortamlar en uygun ortamları oluştururlar. Çalışma alanındaki yüksek tortullaşma oranları tespit edilen 1 numaralı çerçeve içerisinde gösterilen bu yapının gazla ilişkili olabileceğini düşündürmüştür. Kesitin derin kısımlarından deniz tabanına doğru kırmızı renkli oklarla ifade edilen (2 ve 3 numaralı çerçeveler) gazların faylar boyunca yol aldığı düşünülmektedir. Şekil 4.11 B’de ise bu düşük genlikli alanların anlık frekans kesitinde düşük frekans içeriğine sahip alanlar olarak görülmektedir. 1 ve 2 numaralı çerçeveler içerisinde gösterilen düşük frekans içeriğine sahip alanların yüksek tortullaşma oranına sahip çökel birimler içerisinde olması bu kısımlarda gaz varlığına işaret olarak yorumlanmıştır.

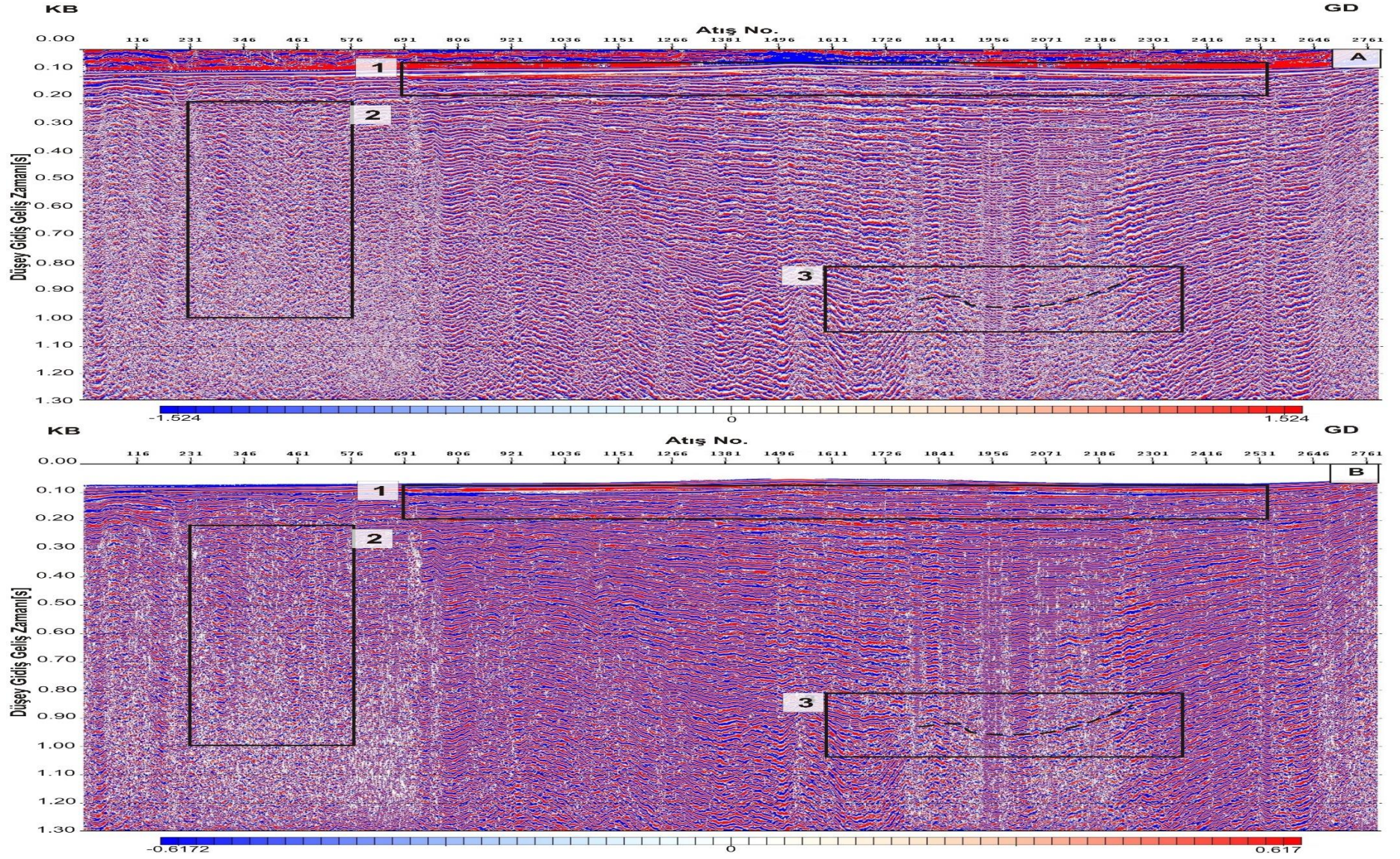
Şekil 4.12 A’da Hat-3’e ait anlık faz kesiti görülmektedir. Anlık faz kesitleri genlik bilgisi vermez, yüksek ve düşük genlik değerlerini aynı büyüklükte gösterirler. Böylece sismik kesitlerde görülemeyen bazı olaylar anlık faz kesitlerinde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkabilirler. Hat-3’e ait anlık faz kesitinde 1 numaralı çerçeve içerisinde çökel birimler ve bunların paralel yansımaları görülürken 2 numaralı çerçeve içerisinde akustik temele ait kendi içerisinde sınırları belli olmayan kaotik yansımalar görülmektedir. 3 numaralı çerçeve içerisinde ise sismik kesitte tespit edilmesi çok zor olan iki birim arasındaki aşınım yüzeyi belirgin bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.12 B’de ise Hat-3’e ait fazın kosinüsü kesiti görülmektedir. Tıpkı anlık faz gibi sismik olayların sürekliliğinin takibi için kullanılan bu nitelik, kesitte özellikle akustik temelde yükselimin olduğu yerde yoğunlaşan doğrultu atımlı fayları tespit etmek ve akustik temel ile çökel birimler arasında çok belirgin olmayan aşınım yüzeyini tespit etmek için kullanılmıştır.

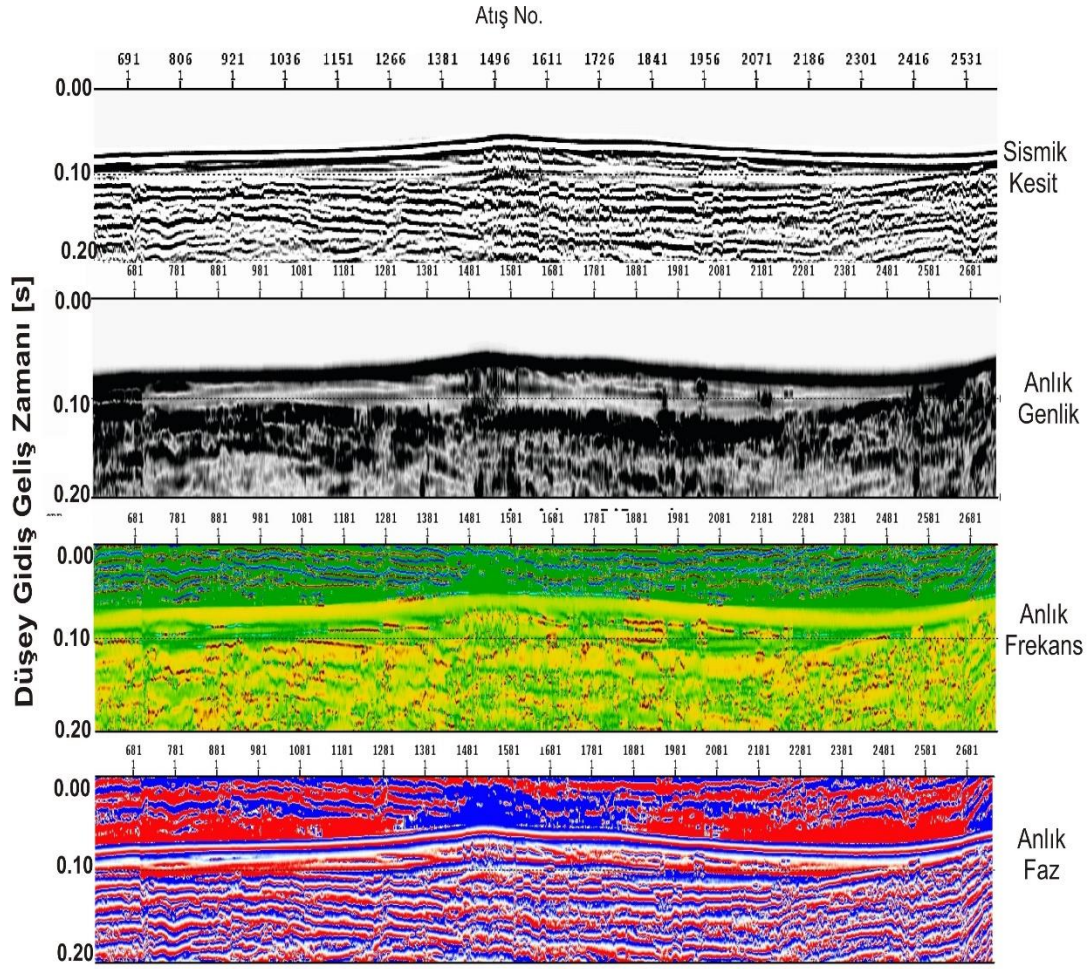
İzmir Körfezi’nin iç ve dış körfezini içini alacak şekilde KKB-GGD yönlü bir hat olan Hat-3 üzerinde kendisini dik kesen D-B doğrultusuna sahip Hat-4 ve Hat-5’i barındırmaktadır. Bu hatlardan Hat-4 Uzun Ada’nın güneybatı ucunda uzanırken, Hat-5 kıyı çizgisine paralel doğrultudadır.



Şekil 4.11 : A) Hat-3'e ait yansım gücü kesiti B) Hat-3'e ait anlık frekans kesiti.



Şekil 4.12 : A) Hat-3'e ait anlık faz kesiti B) Hat-3'e ait anlık fazın kosinüsü kesiti.

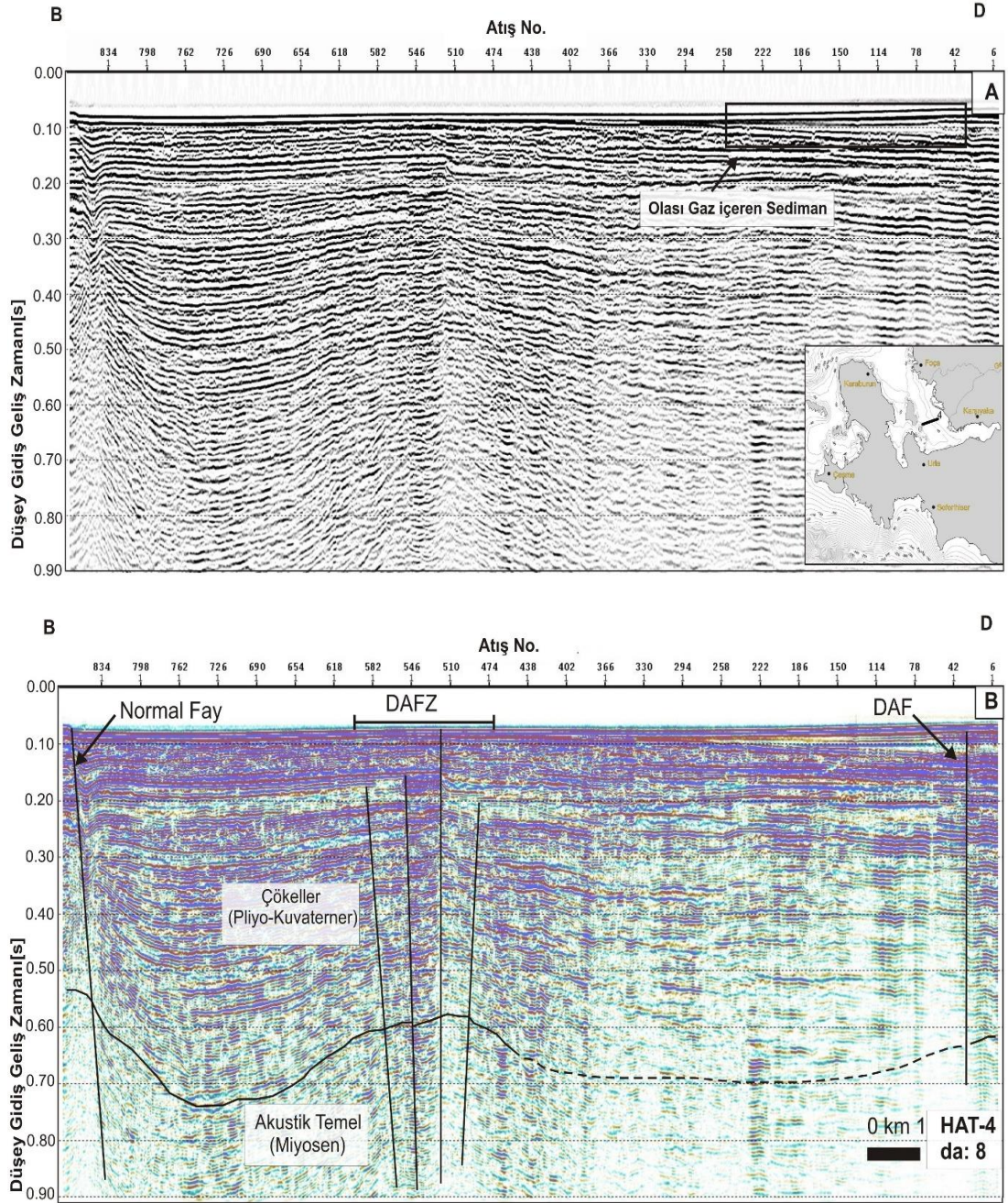


Şekil 4.13 : Sismik kesitte tespit edilen olası gazlı sedimanlar ve bunların nitelik analizi sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.13’de Hat-3 ‘de tespit edilen ve karmaşık iz nitelik analizleri yapılan gaz içerdiği düşünülen sıg sedimanların karşılaştırmalı sonuçları görülmektedir. Sismik kesitlerinde yansıma karakterinde bozulma gösteren gazlı sedimanlar anlık genlik kesitlerinde düşük genlikli alanlar, anlık frekans kesitlerinde soğurulmadan dolayı düşük frekanslı alanlar şeklinde görülürler. Anlık faz kesitlerinde ise genellikle ile ilgili bilgi verilmediğinden gaz içerdiği düşünülen sedimanların sadece iç yapısı daha iyi incelenebilmektedir. Bu yapının içerisinde yansımalar kaotik bir karakterde iken etrafındaki birimlerde oldukça belirgin ve birbirine paraleldir. Sismik kesitlerde ve karmaşık iz nitelik analizlerinde görülen anomalilerin kaynağı olarak bölgenin yüksek tortullaşma oranları ve hakim tektonik aktivite gösterilebilir.

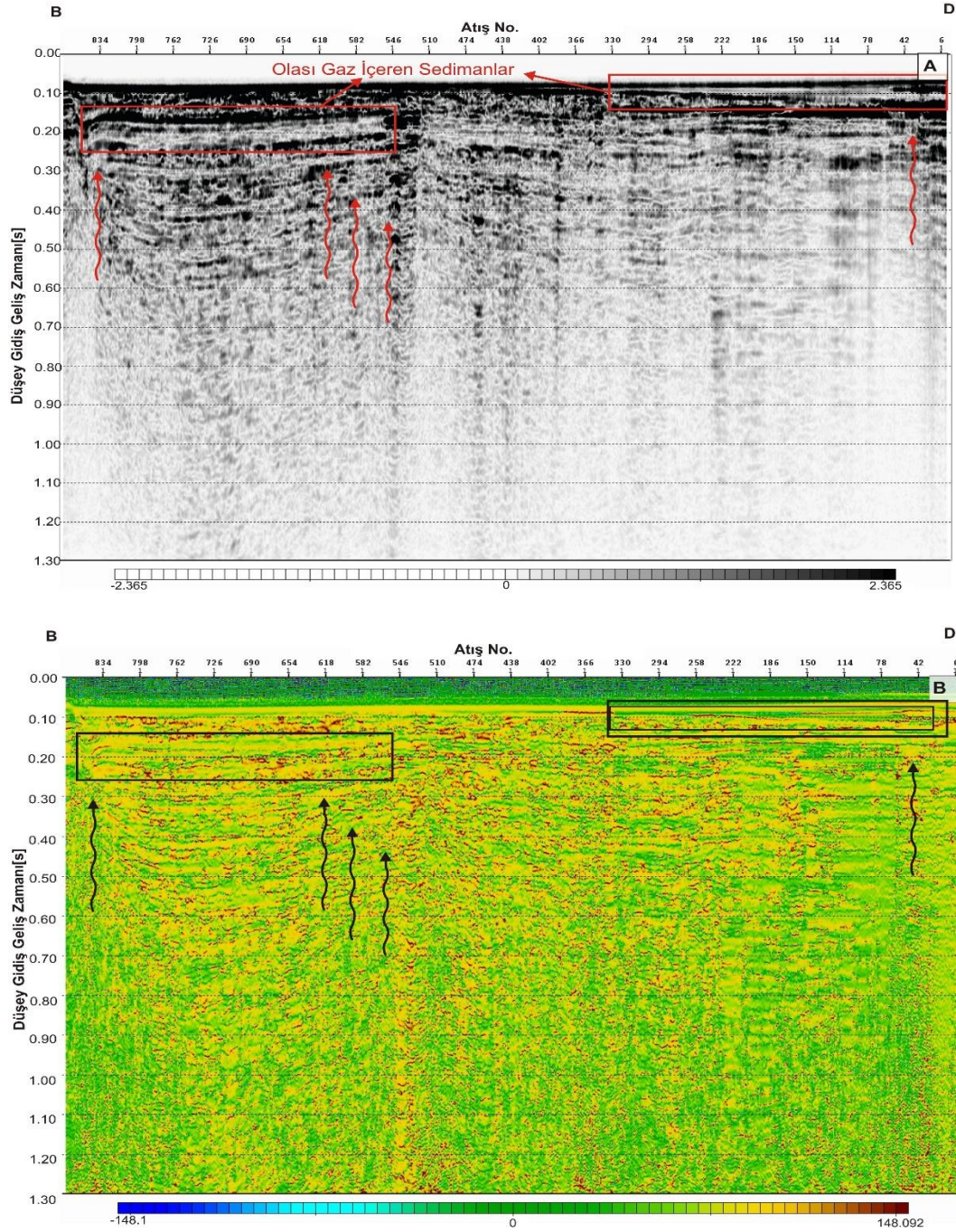
4.4 Hat 4 'ün Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri

Şekil 4. 14 A'da İzmir Körfezi'nde bulunan Hat-4'e ait final sismik kesiti görülmektedir. Şekil 4.14 B'de ise bu kesitin stratigrafik ve yapısal olarak yorumlanmış hali görülmektedir. Hat-3'ün güney ucunda bulunan bu hat stratigrafik olarak iki birime ayrılmıştır. Bunlar Miyosen yaşlı akustik temel ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökellerdir.



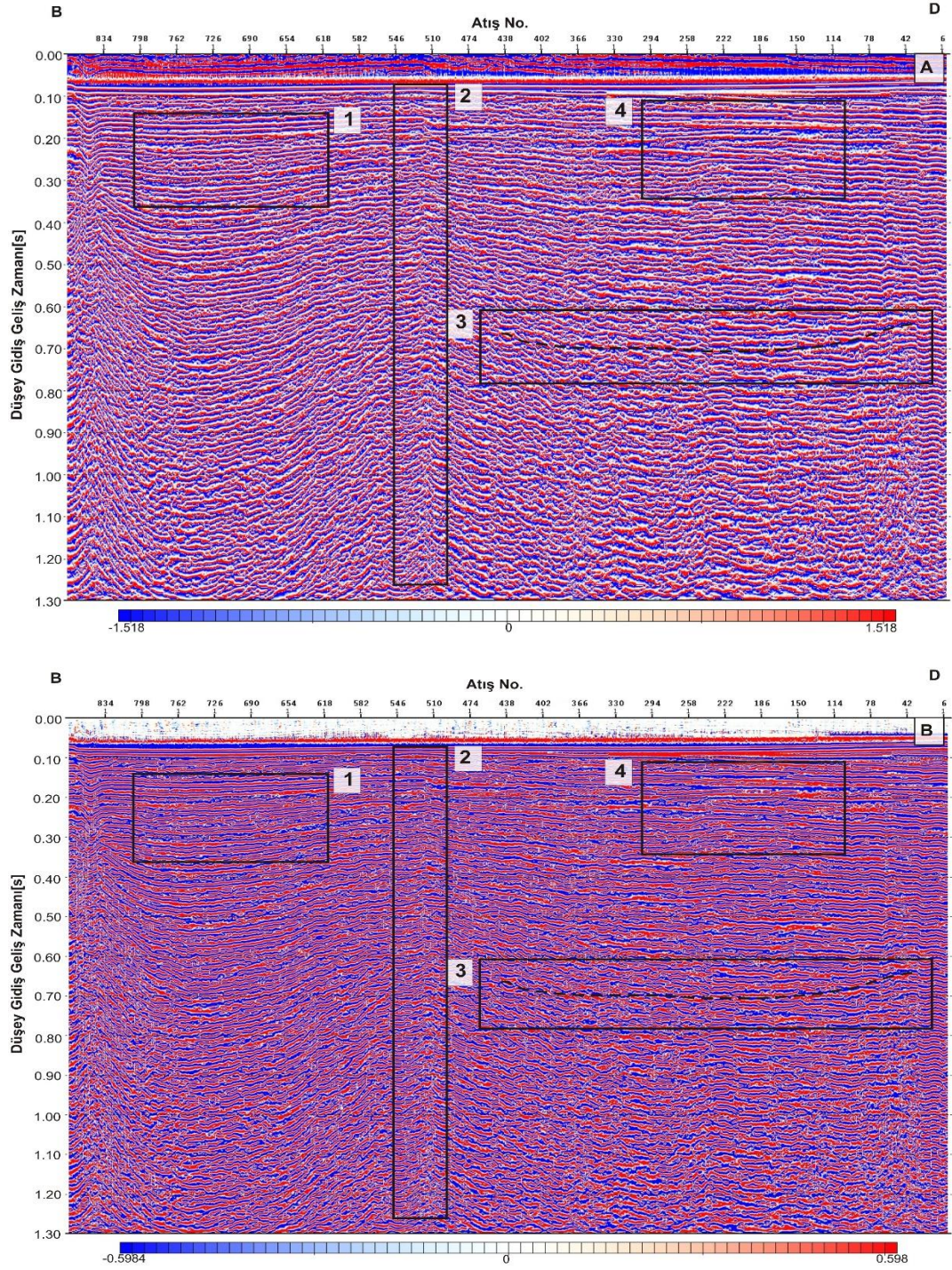
Şekil 4.14 : A) Hat-4'e ait sismik kesit B) Hat-4'ün yapısal ve stratigrafik yorumu.

Bu iki birim arasındaki aşınım yüzeyi çok belirgin olmayıp Hat-3 ile kesiştiği noktadan seviyeler taşınarak belirlenmiş ve siyah renk ile gösterilmiştir. Hat-3'te görülen yükselim yapısı bu kesitte de görülmektedir. Yine bu yükselimin üzerinde doğrultu atımlı fay zonu (DAFZ) bulunmaktadır. Hat-4'ün sol tarafı deniz tabanında ve stratigrafik birimlerde bir atıma neden olan normal fay ile sınırlanmıştır. Şekil 4.15 A'da Hat-4'e ait anlık genlik kesiti görülmektedir. Anlık genlik kesitinde deniz tabanının hemen altındaki seviyelerde düşük genlik alanları görülmektedir.



Şekil 4.15 : A) Hat-4'e ait anlık yansım kesiti B) Hat-4'e ait anlık frekans kesiti.

Bu düşük genliklere kökeni henüz bilinmeyen olası gaz içeren sedimanların neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.15 B’de ise Hat-4’e ait anlık frekans kesiti görülmektedir. Anlık genlik kesitinde düşük genlikli alanlar bu kesitte ise düşük frekans alanları olarak görülmektedir. Şekil 4.16 A ve B’de Hat-4’e ait anlık faz ve fazın kosinüsü kesitleri görülmektedir. Çökel birimler nedeniyle kesit geneline 1 ve 4 numaralı çerçeveler içerisinde gösterilen paralel yansımalar hakimdir.

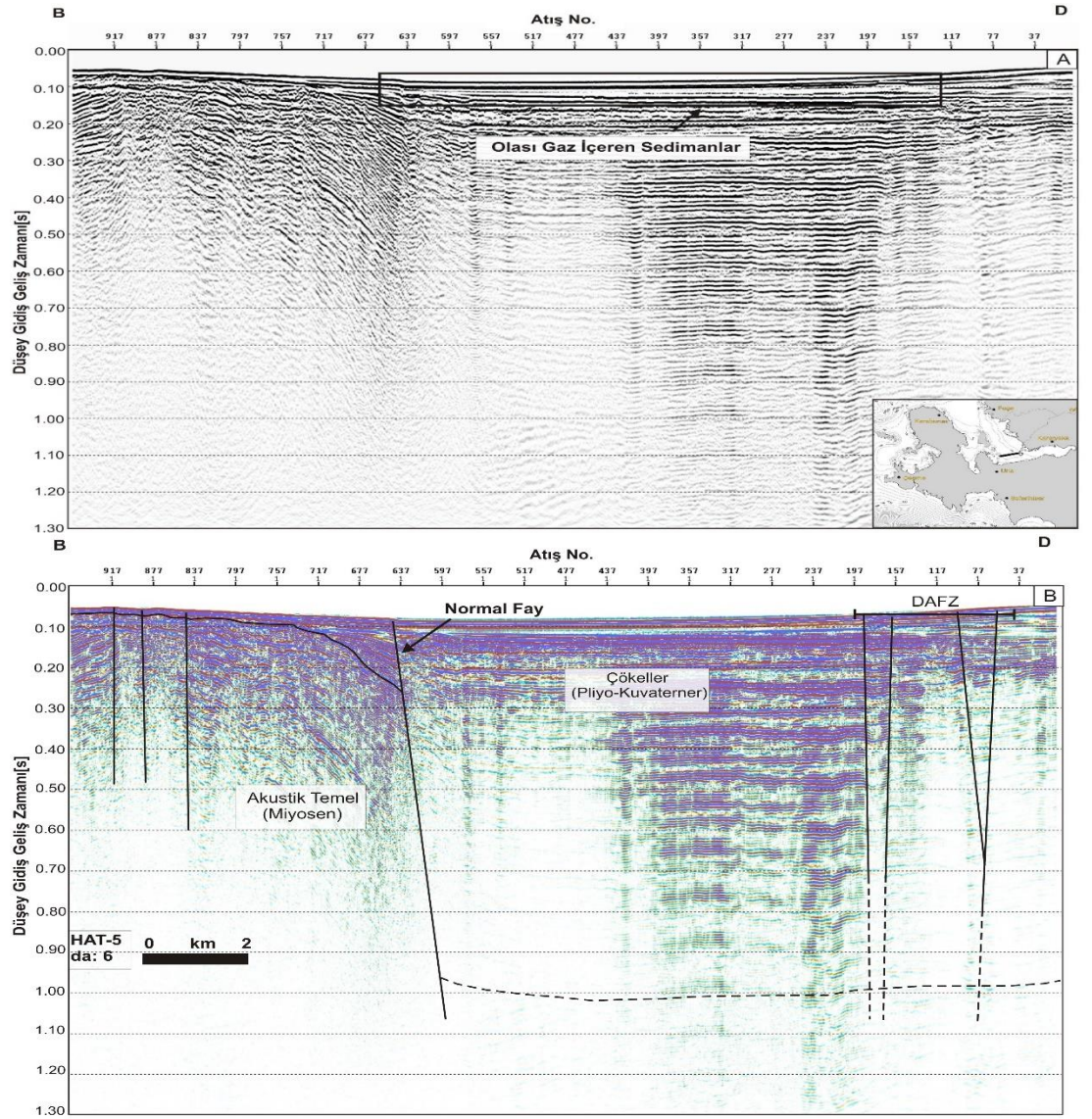


Şekil 4.16 : A) Hat-4’e ait anlık faz kesiti B) Hat-4’e ait anlık fazın kosinüsü kesiti.

2 numaralı çerçeve içerisinde gösterilen yapının devamlılığının bozulduğu görülmektedir. Bu yapı sismik kesitte fay olarak yorumlanmıştır. 3 numaralı çerçeve içerisinde ise Miyosen yaşlı akustik temel ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimleri birbirinden ayıran aşınım yüzeyi görülmektedir. Yorumlanmış sismik kesitteki seviyelerin birbirinden ayrılmasında anlık faz kesitleri de kullanılmıştır.

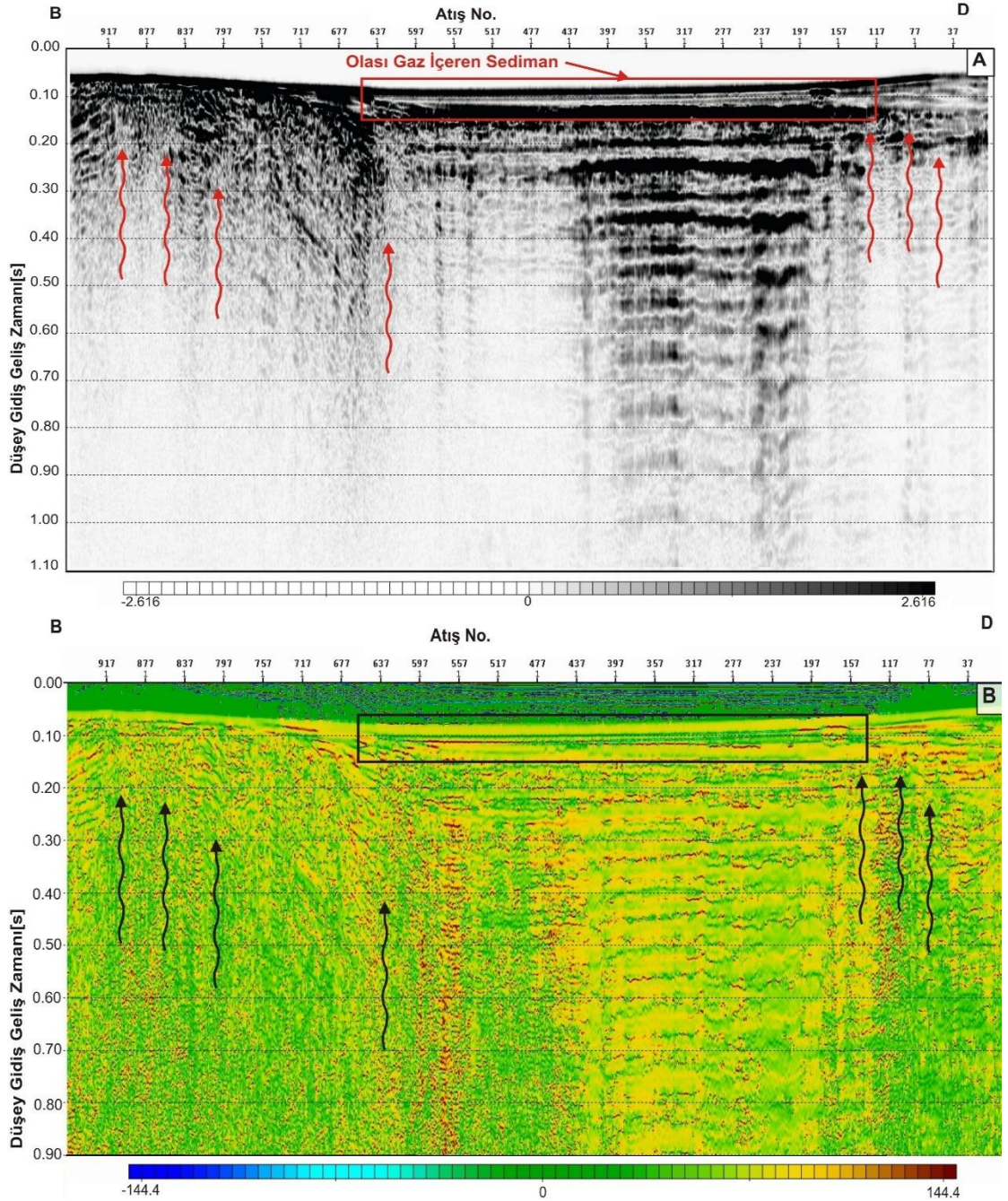
4.5 Hat 5 'in Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizi Sonuçları

Şekil 4.17 A'da Hat-5'e ait final sismik kesitleri görülmektedir. Şekil 4.17 B'de ise aynı kesitin stratigrafik ve yapısal yorumu görülmektedir. Hat-4'e paralel uzanan D-B uzanımı bu hat Urla açıklarında Hat-3 ile de kesişmektedir.



Şekil 4.17 : A) Hat-5'e ait sismik kesit B) Hat-5'in yapısal ve stratigrafik yorumu.

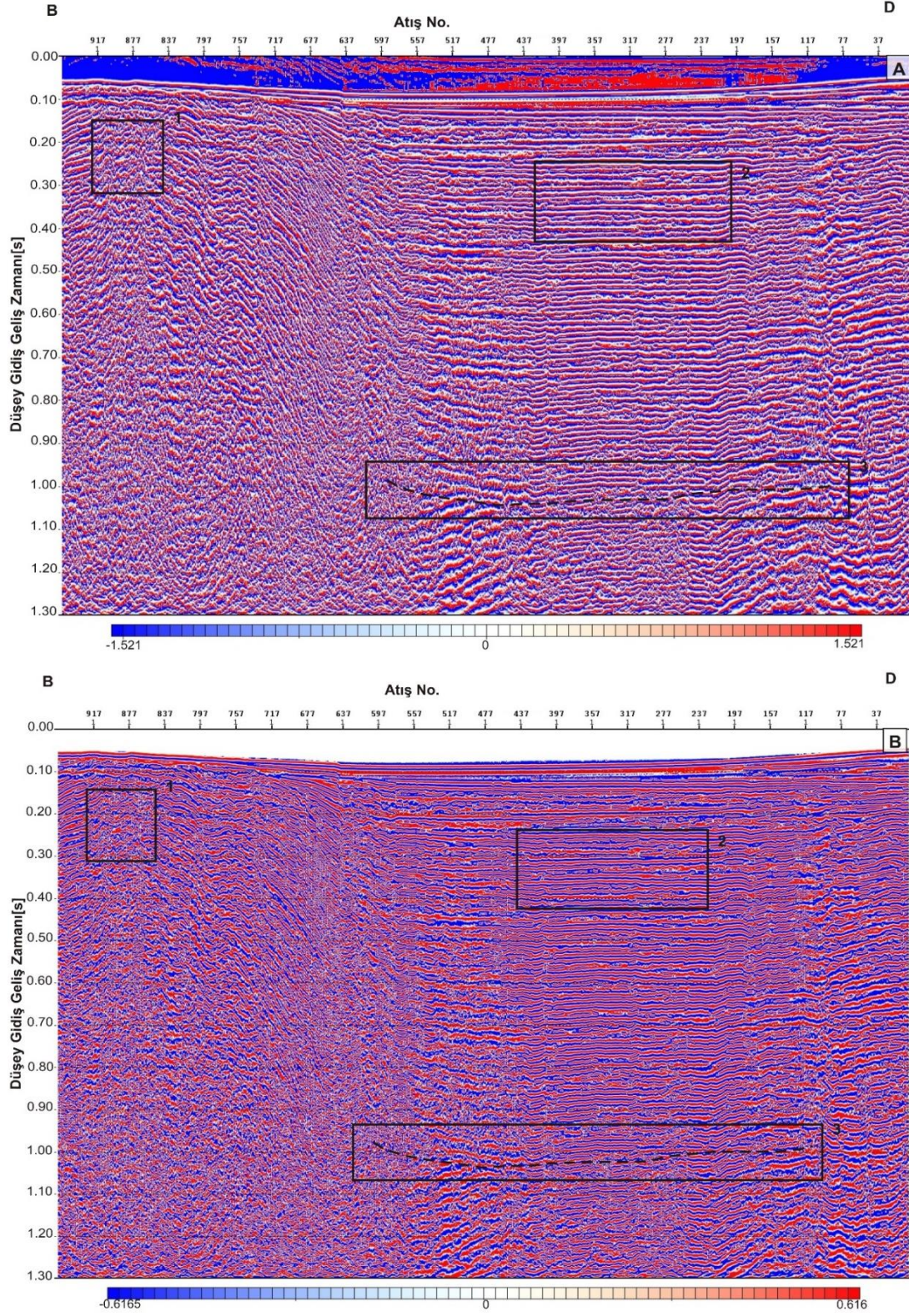
Stratigrafik anlamda iki farklı birim tespit edilmiştir. Bunlar Miyosen yaşlı akustik temel ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökeller olup siyah renk ile gösterilen aşınım yüzeyi ile birbirlerinden ayrılırlar. Hat-3 ile Hat-5'in kesiştiği noktadan bu seviyelerin sismik kesitlere taşınma işlemi gerçekleştirildiğinden kesikli çizgiler ile ifade edilmiştir. Birbirlerine paralel olmalarından dolayı Hat-4'te tespit edilen normal fay bu kesitte de görülmektedir.



Şekil 4.18 : A) Hat-5'e ait anlık genlik kesiti B) Hat-5'e ait anlık frekans kesiti.

Şekil 4. 18 A'da görülen anlık genlik kesitinden deniz tabanının hemen altında olası gaz içeren sedimanlar düşük genlikli alanlar olarak görülmektedir. Sismik kesitte

görülen doğrultu atımlı faylar boyunca havzalarda biriken çökellerin nedeniyle oluştuğu düşünülen gazların deniz tabanına doğru çıktığı görülmektedir. Bu çıkışlar kırmızı renkli oklarla ifade edilmiştir.

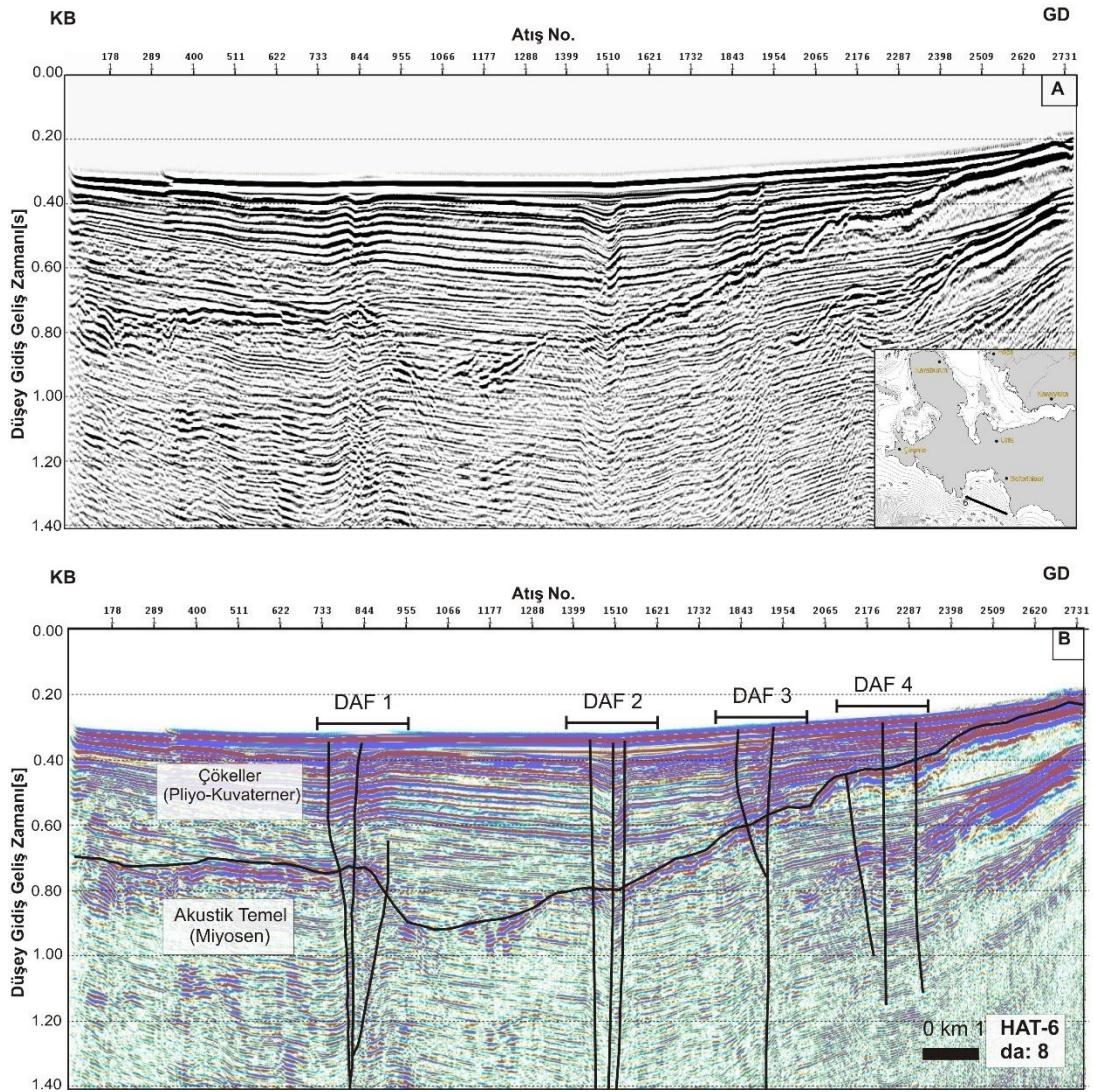


Şekil 4.19 : A) Hat-5'e ait anlık faz kesiti B) Hat-5'e ait anlık fazın kosinüsü kesiti.

Şekil 4.19 A ve B’de Hat-5’e ait anlık faz ve anlık fazın kosünüsü kesitleri görülmektedir. Anlık faz kesitinde çökelleri içerisindeki yatay paralellenme, akustik temel içerisindeki kaotik yansımalar ve bu iki birim arasındaki sınır belirgin bir şekilde görülmektedir.

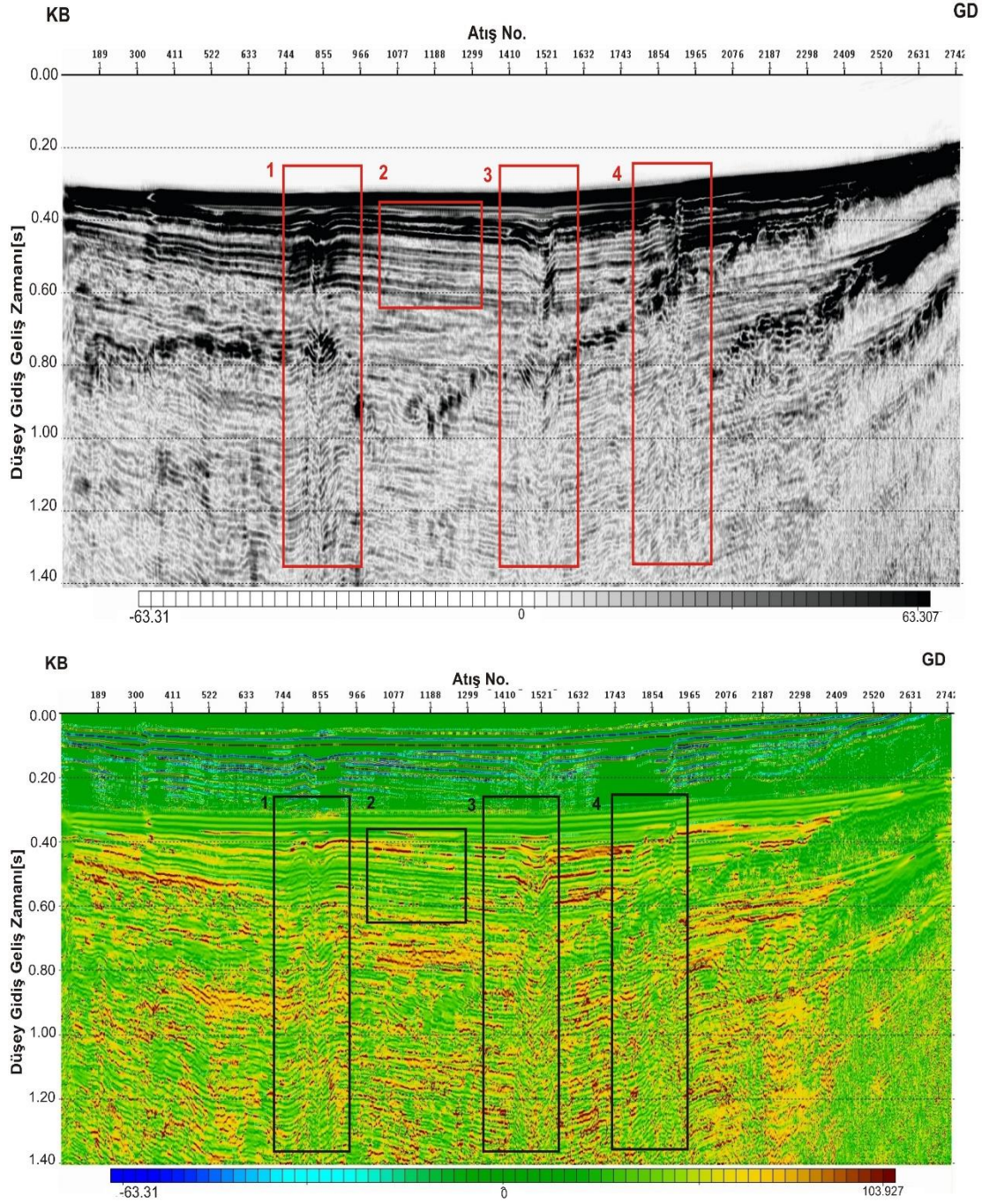
4.6 Hat 6’nın Stratigrafik ve Yapısal Yorumlanması ile Karmaşık İz Nitelik Analizleri

Şekil 4.20 A’da Gülbahçe Körfezi’nin güneyinde yer alan K-G uzanımlı Sığacık Körfezi içerisinde D-B uzanımlı bir hat olan Hat-6’nın final kesiti ve körfez içerisindeki konumu görülmektedir.



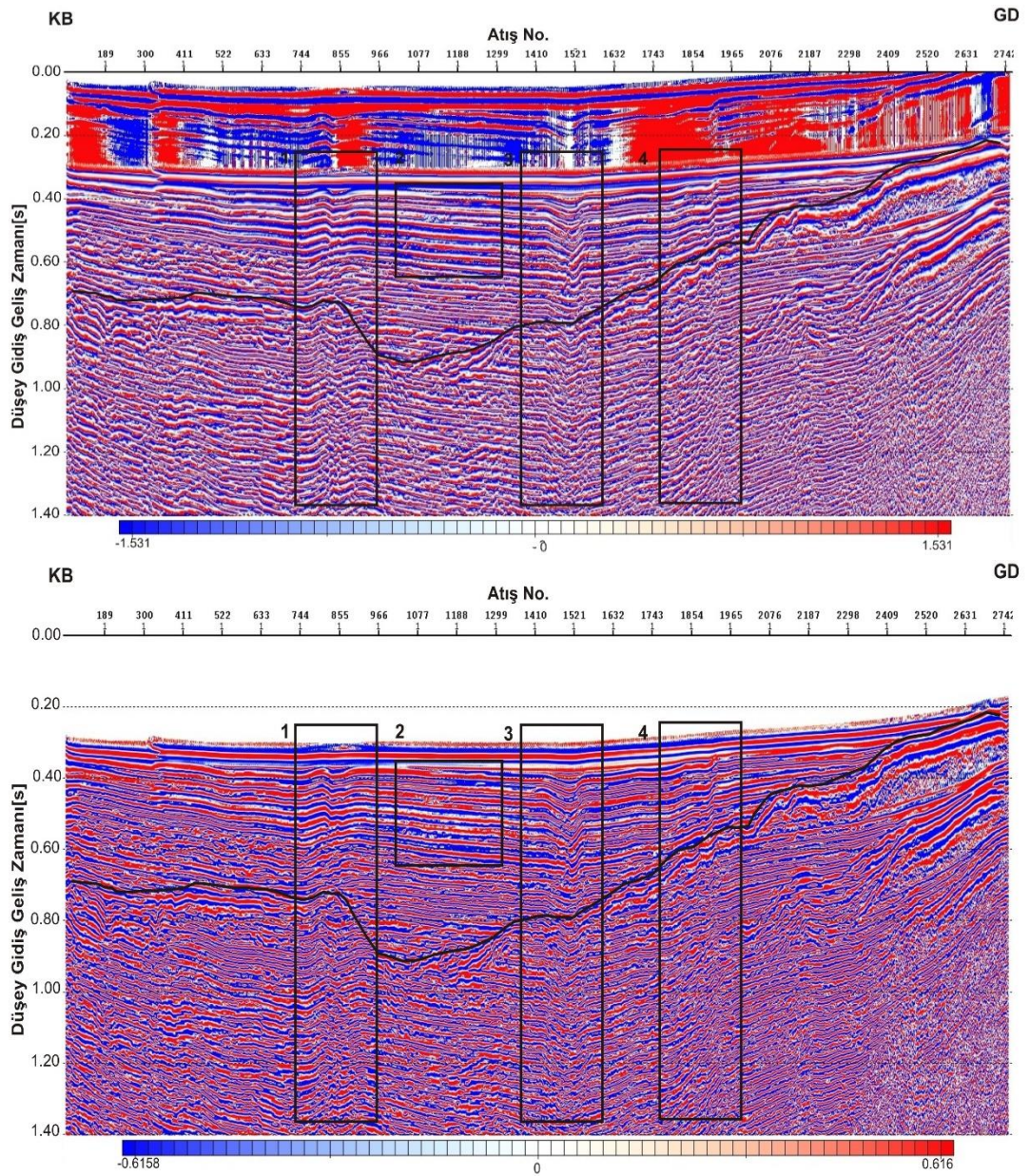
Şekil 4.20 : A) Hat-6’ya ait sismik kesit B) Hat-6’nın yapısal ve stratigrafik yorumu.

Şekil 4.20 B’de ise aynı hattın stratigrafik ve yapısal yorumu görülmektedir. Yorumlanan diğer kesitlerde olduğu gibi Miyosen yaşlı akustik temel ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökeller olmak üzere iki stratigrafik birim tespit edilmiştir. Yapısal anlamda ise etkileri deniz tabanına kadar izlenen aktif doğrultu atımlı faylar görülmektedir. D-B uzanımlı hattı K-G yönde dik kesen doğrultu atımlı fayların Gülbahçe içerisinde birbirine paralel olarak bulunan Hat-1 ve Hat-2’de görülen doğrultu atımlı fayların bir devamı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.21 : A) Hat-6’ya ait anlık genlik kesiti B) Hat-6’ya ait anlık frekans kesiti.

Şekil 4.21 A'da Hat-6'ya ait anlık genlik kesiti görülmektedir. 1, 3 ve 4 numaralı çerçeveler içerisinde, hattı dik yönde kesen ve deniz tabanına kadar uzanan doğrultu atımlı fay zonları düşük genlikli ve kaotik yansımaları şeklinde gözlemlenmektedir. 2 numaralı çerçeve içerisinde ise havza çökellerinin paralel yansıma şekilleri gösterdiği buna karşın akustik temelin kaotik yansımaya sahip olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak anlık genlik kesitinde akustik temel ile çökeller arasındaki aşınım yüzeyi çok belirginken, temelin hemen üstü veri-işlemede hız analizi sırasında görülen düşük hız değerlerini (Şekil 3.12) destekler nitelikte düşük genlikli ve kaotik yansımaya sahip alanlar olarak görülmektedir.



Şekil 4.22 : A) Hat-6'ya ait anlık faz kesiti B) Hat-6'ya ait anlık fazın kosinüsü kesiti.

Şekil 4.21 B’de ise aynı hatta ait anlık frekans kesiti görülmektedir. Doğrultu atımlı fay zonları boyunca soğrulan frekans nedeniyle düşük frekanslı alanlar görülmektedir. Yine akustik temelin hemen üstü anlık genlik kesitinde olduğu gibi düşük frekanslı alanlar olarak görülmektedir.

Şekil 4.22 A’da Hat-6’ya ait anlık faz kesiti görülmektedir. Sismik kesitte doğrultu atımlı faylar olarak yorumlanan kısımlar boyunca anlık faz kesitlerinde devamsızlıklar görülmektedir. Aynı zamanda akustik temel ile çökeller arasındaki aşınım yüzeyi açık bir şekilde seçilebilmektedir. Yine çökeller içerisinde paralel yansımalar anlık faz kesitlerinde devamlılığı bozulmamış alanlar şeklinde görülmektedir.

Şekil 4.22 B’de ise anlık fazın kosinüsü kesiti görülmektedir. Anlık fazı destekler nitelikte çökeller içerisinde devamlılığın çok iyi takip edilmesi, faylar boyunca devamlılığın bozulması şeklinde benzer unsurlar görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada İzmir, Gülbahçe ve Sığacık Körfezleri'nin denizaltı yapısal unsurları sığ sismik yansıma verileri ile araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yaklaşık 66410 m tek kanallı ve 9800 m çok kanallı sismik yansıma veri rutin veri-işlem adımlarından geçirilerek zaman ortamı sismik yansıma kesitleri elde edilmiştir. Gerçek genlik değerlerinin korunumu için verilere otomatik genlik kontrolü (AGC) düzeltilmesi uygulanmamıştır. Daha sonra verilere karmaşık iz nitelik analizleri yapılarak tüm sonuçlar yaklaşık 1 km derinliklere kadar yapısal, stratigrafik ve jeotermal açıdan yorumlanmıştır.

Çalışma sahası tektonik olarak çok aktif bir bölgededir. Sismik kesitlerden, karada belirlenen pek çok sıcak su çıkışlarının bölgede hangi yapısal unsurlarla kontrol edildiği ve bu sistemlerin deniz içerisinde devamlılığının delilleri bu çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Bu değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçları iki ayrı bölge olarak incelemek mümkündür. Gülbahçe Körfezi'nde veri-işlemi yapılan D-B yönelimli hatlarda stratigrafik olarak iki birim ayırt edilmiştir. Üstte yatay tabakalı Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökeller, altta kaotik yansımali Miyosen yaşlı akustik temelden bir aşınım yüzeyiyle birbirinden ayrılır. Bölgede yapısal anlamda pek çok doğrult atımlı fay haritalanmıştır. Bu faylar deniz tabanında herhangi bir atım yapmayan fay zonları şeklinde, yansıma seviyelerinde bozulmalara neden olan ve çok dik açılı faylardır. Söz konusu faylar, bu bölgedeki sediman istiflerinin D-B yönde sıkışmasında etkindir. Faylar, tüm birimleri keserek deniz tabanına veya deniz tabanının hemen altına kadar ulaştığı için aktif olarak yorumlanmıştır. Fayların K-G doğrultulu olduğu ve daha önceki çalışmalarda da bölgede ve deniz içerisinde haritalanan, karadaki fayların deniz içerisindeki devamı olduğu tespit edilmiştir. Karada Gülbahçe Körfezi ve Sığacık bölgesindeki sıcak su çıkışları bu fayların kontrolündedir. Bu faylar deniz içerisinde de devamlıdır. Kesitlerde görülen özel bir yapı yaklaşık 200-300 m genişliğinde olası bir faylı çamur diapiridir. Gaz ve su çıkışlarının olduğu alanlarda görülen bu yapılar derinlerden

yukarıya doğru bir malzeme çıkışının göstergesidir. Bu yapı karada varolan sıcak su çıkışlarının deniz içerisinde de olduğunun bir kanıtıdır. Çamur diapirinin sismik modelleme sonucu yapı içerisinde hızların civar sedimentlere göre düştüğü ve yaklaşık olarak 1500-1600 m/s'lere ulaştığı görülmüştür. Önceki çalışmalardan Pekçetinöz (2010), yüksek ayırmalı sığ sismik verileri ile Gülbahçe Körfezi içerisinde morfolojik yükselti olarak adlandırdığı yapılar tespit etmiş ve bu yapıların üzerinde sıcak su varlığında çoğalabilen bir mercan türü olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma alanı olarak Hat-1 ve Hat-2 profillerine çok yakın bir konumda, sığ sismik veriler ile Pekçetinöz (2010)'ün elde ettiği bu sonuçlar; sismik kesitlerde, deniz tabanına kadar su ve/veya gaz benzeri materyal taşıyan ve çamur diapiri olarak ifade edilen yapının tespit edilmesi sonucuyla uyumludur. Sistemin Sığacık Körfezi'nde devamlılığını araştırılma amaçlı 6 no'lu çok kanallı hat veri-işlemden geçirilmiştir. Bu hat üzerinde de pek çok doğrultu atımlı fay haritalanmıştır. Bu faylar Seferihisar'ın batısında Sığacık Körfezi sedimanlarını deforme etmektedir. Sığacık Körfezi içerisinde özel bir yapıya rastlanmamış olmasına karşın yapılan hız analizleri sonucunda (Şekil 3.12) kesitin sığ kısımlarını oluşturan havza çökelleri içerisinde hızların 1400-1600 m/s arasında değişen düşük değerler aldığı görülmüştür.

İzmir Körfezi'nde ise veri-işlemden geçirilen 3-4 ve 5 no'lu üç hatta Gülbahçe Körfezi'ne nazaran daha kalın yaklaşık 750 m'lik Pliyo-kuvaterner yaşlı bir sediman istifi ve onun altında Miyosen yaşlı akustik temel yer yer haritalanmıştır. 3 no'lu kesitte GB'da karadaki normal karakterli İzmir Fayı'nın olası deniz içerisindeki devamı ve sediman havza içerisinde de pek çok doğrultu atımlı fay zonu haritalanmıştır. Tüm kesitlerde fay zonları boyunca anlık genlik, anlık frekans ve anlık faz nitelik analizleri yapılmış olup sırasıyla zayıf yansımalar, düşük frekanslar ve devamsızlıklar gözlenmiştir. Körfezde herhangi bir diapirik yapı görülmemekle beraber 3 no'lu hattın geçtiği noktada Dondurur ve diğ.. (2011)'in İzmir Körfezi'nin kuzeyinden elde ettikleri CHIRP kesitlerinde sığ gaz birimkileri ve çamur diapiri yapısı tespit ettikleri kesit ile çakışmaktadır. Buna göre bölgede bol faylı ve yer yer yansımaz zonlar sığdaki bu çıkışların, derine doğru giden doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol edildiğini göstermiştir. Bölgede yaklaşık D-B uzantılı diğer iki kesitte de aynı yapısal unsurlar ve doğrultu atımlı faylar görülmüştür. Gediz grabeninin tam ağzından alınan sismik hatta bir paleo delta yapısı ve bu yapının içindeki transparan zonlar ve yapıyı kesen aktif faylar bölgede olası gaz ve su çıkışlarından

büyük oranda doğrultu atımlı fayların etkili olduğunu göstermektedir. Karmaşık iz nitelik analizleri ile yapısal ve stratigrafik yorumlamalar güçlendirilmiştir.

Çalışma sahasında yoğun olarak haritalanan doğrultu atımlı faylar bölgedeki jeotermal aktiviteden sadece D-B gidişli normal fayların değil aynı zamanda K-G'den KD-GB'ya değişen doğrultularda olan doğrultu atımlı fayların da sorumlu olduğunu göstermektedir.

Çalışma sahası bundan sonra daha sık sismik çalışmalar ve çok ışınlı batimetrik araştırmalar ile hem gaz çıkışlarının araştırılması hem de fayların deniz tabanındaki izlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca bölgede yapılacak kimyasal analizler ile çıkışların jeotermal mi yoksa gaz ağırlıklı mı olduğu konusu araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aksu, A., Konuk, T., Uluğ, A., Duman, M., & Piper, D.** (1990). Quaternary tectonic and sedimentary history of Eastern Aegean Sea shelf area. *Jeofizik*, 4, 3-35.
- Aksu, A., Piper, D., & Konuk, T.** (1987). Late Quaternary Tectonic and Sedimentary History of Outer İzmir and Çandarlı Bays, Western Turkey. *Marine Geology*, 76, 89-104.
- Altan, Z., & Ocakoğlu, N.** (2013). İzmir Körfezi'nin Jeotermal Potansiyelinin Sismik Yansıma Verileri ile Araştırılması. *Türkiye 20. Uluslararası Kongre ve Sergisi*, (s. 562-565). Antalya.
- Barka, A., & Kandinsky-Cade, K.** (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- Barka, A., & Reilinger, R.** (1997). Active Tectonics of Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annali De Geofisica*, 40(3), 587-610.
- Bodvarsson, G.** (1961). Physical Characteristics of Natural Heat sources in Iceland Proc. UN Conf. On New Sources of Energy. *Geothermal Energy*, 2, 82-89.
- Dewey, J., & Şengör, A.** (1979). Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum in a convergent zone. *Geol.Soc.America Bull.*, 90, 84-92.
- Dickson, M., & Fanelli, M.** (2004, February). IGA. http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html adresinden alındı
- Dimitrov, L.** (2002). Mud volcanoes-the most important pathway for degassing deeply buried sediments. *Earth Science Reviews*, 59, 49-76.
- Disco/Focus Help Manual.**
- Dondurur, D.** (2009). *Deniz sismiğinde veri işlem.* Jeofizik Müh. Odası.
- Dondurur, D., Çifçi, G., Drahor, M., & Coşkun, S.** (2011). Acoustic evidence of shallow gas accumulations and active pockmarks in the İzmir Gulf, Aegean Sea. *Marine And Petroleum Geology*, 28, 1505-1516.
- Earthquake Catalogs.* (2014). USGS: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> adresinden alındı
- Emre, Ö., & Barka, A.** (2000). Active Faults between Gediz Graben and Aegean Sea (İzmir region). *BADSEM 2000 Symposium*, (s. 131-132). İzmir, Turkey.
- Ercan, A.** (1997). *Ege Denizi'nde jeotermal Olasılık ve yeryapısal ilişkisi.* http://www.ahmetercan.net/UploadDosya/yazi/yeraltikaynaklari/petrol/ege_den_jeo.htm adresinden alındı
- Erdoğan, B.** (2000). Neslihan Ocakoğlu ile Kişisel Görüşme. 1-20.
- Genç, C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M., & Yılmaz, Y.** (2001). The Çubukludağ Graben south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia. *Geodinamica*, 14, 1-12.
- İlkişik, O.** (1995). Regional heat flow in western Anatolia using silica temperature estimates from geothermal springs. *Tectonophysics*, 244, 175-184.

- İmren, C., Le Pichon, X., Rangin, C., Demirbağ, E., Ecevitoglu, B., & Görür, N.** (2001). The North Anatolian Fault Within the Sea of Marmara: a new evaluation based on multichannel seismic and multi-beam data. *Earth Planet Sci.Letter*, 186, 143-158.
- Kaya, O.** (1979). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. *Newsletters of Stratigraphy*, 22, 35-58.
- Kemik, E.** (2011). *TR32 Düzey 2 Bölgesi (Aydın, Denizli, Muğla) Jeotermal Kaynakları ve Jeotermal Enerji Santralleri Araştırma Raporu*. GEKA.
- Lee, J., Back, Y., Ryu, B., Riedel, M., & Hyndman, R.** (2005). A seismic survey to detect natural gas hydrate in the East Sea of Korea. *Marine Geophysical Researches*, 26, 51-59.
- McQuillin, R., Bacon, M., & Barclay, W.** (1984). *An introduction to seismic interpretation*. Houston: Gulf Publishing Company.
- Müller, C., Theilen, F., & Milkereit, B.** (2001). Combined vertical-incidence and wide-angle seismic study of deepwater bright-spot reflections. *The Leading Edge*, 20, 854-857.
- Ocakoğlu, N., & Demirbağ, E.** (2005). İzmir körfezi ve dolaylarının aktif tektonizmasının sismik yansıma verileri ile incelenmesi. *İtü Dergisi /d mühendislik*, 6, 93-104.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., & Kuşçu, İ.** (2004). Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike slip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics*, 391, 67-83.
- Okay, A., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Günay, A., Demirbağ, E., & Kuşçu, İ.** (2000). Active faults and evolving strike-slip basin in the Marmara sea, Northwest Turkey; a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321, 189-218.
- Ongur, T.** (2009). Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama İlke ve Stratejileri., (s. 21-38).
- Pekcetinöz, B.** (2010). İzmir ve civar körfezlerdeki jeotermal alanların araştırılması (Gülbahçe Örneğinde). *PhD. Thesis*.
- Reflection Seismology** (2014). Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_seismology adresinden alındı
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., & Lawrence, S.** (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Euroasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophys.Research*, 111, 1-26.
- Serpen, Ü.** (2004). Hydrogeological Investigations on Balçova Geothermal System in Turkey. *Geothermics*(3), 309-335.
- Serpen, Ü.** (2005). Reassessment of Kızıldere geothermal power plant after 20 years of exploitation. *In: Proceedings of 2005 World Geothermal Congress*, (s. 1315-1320). Antalya.
- Şaroğlu, F., Emre, E., & Kuşçu, İ.** (1992). The East Anatolian fault zone of Turkey. *Annal. Tecn.*, 6, 9-125.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşçu, İ.** (1992). *Türkiye Diri Fay Haritası*. Ölçek: 1/2.000.000, MTA Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Şengör, A.** (1980). Türkiye'nin Neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeol.Ku.Konferanslar Dizisi*, 2, 40.
- Şengör, A.** (1982). Ege'nin Neotektonik evrimini yöneten etkenler. *Türkiye Jeol. Kur. Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması paneli*, 59-71.

- Tan, O.** (2012). The dense micro-earthquake activity at the boundary between the Anatolian and the Aegean microplates. *Journal of Geodynamics*, İn press.
- Taner, M., Koehler, F., & Sheriff, R.** (1979). Complex Seismic Trace Analysis. *Geophysics*, 44, 1041-1063.
- Tarcan, G.** (1990). Gülbahçe Körfezi güneyindeki jeotermal alanın hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopsal incelemesi. *Türkiye Petrol Jeologları Bülteni*, C.2/1, 52-69.
- Taymaz, T.** (1990). Earthquake Source Parameters in the Eastern Mediterranean Region. *Ph.D Thesis*.
- Taymaz, T., Eyidoğan , H., & Jackson, J.** (1991b). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophys. J. Int*, 106, 537-550.
- Taymaz, T., Jackson, J., & McKenzie, D.** (1991a). Active tectonics of the north and central Aegean. *Geophysical Journal International*, 106, 433-490.
- Taymaz, T., Yılmaz, Y., & Dilek, Y.** (2007). The geodynamics of the Aegean and Anatolia: introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 291, 1-16.
- Us, E.** (1993). *Sismik Yöntemler ve Yorumlamaya giriş*. Ankara: Tmmob Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Veeken, P.** (2007). *Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration*. France.
- Yılmaz, Ö.** (1987). *Seismic Data Processing, Investigation of Geophysics*. Tulsa, USA: Society of Exploration Geophysicists.
- Yılmaz, Y.** (2000). Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, (s. 3-14).
- ZREU.** (2005). *Geothermal energy utilisation in Turkey*. Resenburb.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Koca Ragıp Paşa İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2005 yılında Bahçelievler (Y.D.A.) Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2007 yılında İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü kazandı. Haziran, 2011'de İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. Eylül, 2011'de İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Aralık, 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen İ.T.Ü.'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.