

# BATI KARADENİZ KITASAL YAMACINDAN BİR RESİF YAPISININ SİSMİK ANALİZİ

## Seismic Analysis of a Reef Structure From Western Black Sea Continental Slope

Derman DONDURUR<sup>1,a</sup>, Özkan ÖZEL, Günay ÇİFÇİ, Savaş GÜRÇAY,  
Hilmi Mert KÜÇÜK, Murat ER ve Seda OKAY

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü,  
Bakü Bulvarı, No: 100, 35340-İnciraltı, İzmir (a<sup>a</sup>derman.dondurur@deu.edu.tr)

### ÖZET

2008 yılında Batı Karadeniz şelf ve kıtasal yamacı üzerinde yaklaşık 355 km çok kanallı 2B yüksek ayrımlı sismik yansıma verisi toplanmıştır. Sismik veride bir paleo-kanal yapısı içerisinde sığ derinliklerde gömülü bir resif yapısı ayırt edilmiştir. Yapının genişliği 1400 m ve yüksekliği yaklaşık 50 m olup, deniz tabanından yaklaşık 40 m derinlikte gömülmüştür. Resifin ve çevre tortul ortamın yapısının anlaşılması için, yığma öncesi ayrıntılı hız analizlerini ve çok sayıda yığma sonrası karmaşık iz niteliklerini içeren bir dizi sismik analiz gerçekleştirilmiştir.

Resifin içsel yapısı ortalama 10 m kalınlığında karbonat tabakalardan oluşmakta olup, bu birimlerin ara hızı 2250 m/s civarındadır. Karmaşık iz analizleri ve hız analizi sonuçları, resifin hemen üzerinde bir mini-antiklinal yapısı içerisinde küçük çaplı bir gaz birikiminin ve resif tabanının altında ise daha seyrek bir gaz birikiminin olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen analiz sonuçlarından yola çıkarak, resif yapısı için, organik karbonat birikimi ile resif oluşumunu temel alan ve taban altındaki tortullarda sıvı göçünü de içeren bir melez oluşum modeli geliştirilmiştir. Bu modele göre resif, bugün mevcut bulunduğu konumun GD kısmında oluşumuna başlamış, zaman içerisinde oluşumu kademeli olarak kaymış ve KB yönünde gelişmeye devam etmiştir. KB'ya doğru bu kaymanın oluşumunda, resif tabanının altındaki tortullarda gaz oluşumu ve yükseliminin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Deniz sismiği, Veri işlem, Gaz birikimi, Resif, Karmaşık nitelik analizi, Karadeniz.

### ABSTRACT

A total of 355 km 2D high resolution multi-channel seismic data were collected along the western Black Sea continental shelf and slope in 2008. A shallow reef structure buried at 40 m below the sea bottom in paleo-channel sediments was distinguished on the seismic data. The width and height of the reef structure is 1400 and 50 m, respectively. In order to investigate the internal structure of the reef as well as the depositional environments of the surrounding region, a number of specific analysis including detailed velocity analysis and post-stack complex trace attribute analysis have been performed.

Internal structure of the reef is composed of several carbonate sheets (approx. 10 m thick) with an interval velocity of approximately 2250 m/s. Complex trace attributes and detailed velocity analysis both indicate that there are two distinct small-scale gas accumulations around the reef: one is inside a mini-anticline located above the reef, and the other is a sparse gas accumulation immediately below the reef floor. By means of the analysis results, a hybrid model for the formation of reef is proposed, which is mainly based on the organic carbonate formation but is also consisted of seabed fluid migration mechanism. According to the proposed model, reef formation initiated at its SE end point. The development of the reef then gradually moved towards the NE in long periods of time. It is suggested that the reason for the NE movement of the reef development is due to the gas and/or gassy fluid formation and migration below the reef floor.

**Keywords:** Marine seismics, Data processing, Gas accumulation, Reef, Complex trace analysis, Black Sea.

## GİRİŞ

Denizel ortamlarda yüksek tortulaşma oranı ve organik malzemenin oksidasyondan korunumu, hidrokarbon bileşiklerinin (petrol ve/veya ağır hidrokarbon gazları) oluşumu için uygun ortamları hazırlar. Denizel sıg gaz birikimleri anlamında metan gazı en çok rastlanan hidrokarbon gazı olup, ya derin tortullarda “termojenik” olarak, ya da sıg kısımlarda mikrobiyal ve bakteriyolojik aktivite sonucu “biyojenik” olarak üretilmektedir. Termojenik metan ve diğer petrol bileşiklerinin üretimi, karmaşık ve uzun zincirli organik moleküllerin, tipik olarak 1000 m’den büyük derinliklerde yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında uzun zaman dönemleri boyunca kalmasıyla olmaktadır. Biyojenik gazın kaynağı ise planktonik malzemeler, bitkiler, balıklar ve katı atıklardan türeyen organik malzemedir. Bu organik malzemenin var olduğu ve yüksek tortul birikim oranına sahip olan denizel ortamlar, biyojenik metan üretimi ve birikimi için uygun alanlardır (Hovland and Judd 1988). Delta ortamlarında yüksek tortul birikim oranı, organik malzemenin hızla gömülmesine neden olur ve oksidasyonunu önleyerek tortullar içerisinde daha sonraki bakteriyel bozulma için korunmasını sağlar.

Karadeniz tortullarındaki zengin organik karbon, 120 m su derinliklerinden itibaren anoksik koşullardan dolayı oldukça iyi korunmakta, bu durum, tortullarda gaz ve gaz hidrat birikimlerinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Çifçi et al. 2002; Dondurur and Çifçi 2009). Yüksek tortulaşma oranına sahip şelf ve yamaç bölgeleri metan kaynakları olarak dikkate alınmakta olup, havza etrafında metan çıkışları çok yaygındır (Limonov et al. 1997; Okyar and Ediger 1999; Ergün et al. 2002; Kruglyakova et al. 2002). Ayrıca son yıllarda artan araştırmalar, Karadeniz’deki gaz hidrat birikimlerinin ve sismik kesitlerde bunları işaret eden tabana benzeyen yansımaların (Bottom Simulating Reflector-BSR) varlığını da ortaya koymaktadır (Lüdmann et al. 2004; Popescu et al. 2006; Küçük et al. 2011).

Karadeniz Türkiye şelfi ve derin sularında çok sayıda sıg gaz birikimi de rapor edilmiştir (Okyar and Ediger 1999; Ergün et al. 2002; Menlikli et al. 2009; Dondurur et al. 2010; Küçük et al. 2011). Karadeniz yamaç ve kıtasal yükselim alanı, 2004 yılından bu yana TPAO tarafından 2 ve 3 boyutlu sismik çalışmalarla araştırılmakta olup, bu bilgiler ışığında açılan sıg ve derin su alanlarındaki kuyulardan sadece Ereğli açıklarındaki Ayazlı-1 kuyusundan ticari anlamda gaz üretimi yapılabilmektedir (Menlikli et al. 2009). Özel et al. (2011) tarafından çalışma alanında yapılan sismik analizlerde, özellikle Kuvaterner sırt yapısının hemen altında oldukça sıg derinliklerde geniş çaplı gaz birikimlerinin varlığı rapor edilmiştir.

Bu çalışmada, batı Karadeniz kıtasal yamacı üzerinde yaklaşık 900 m su derinliklerinde sismik veride gözlenen bir resif yapısı analiz edilmiştir. Karadeniz havza ve sınırları boyunca yapılan sismik çalışmalarda herhangi bir resif yapısı henüz rapor edilmemekle birlikte,

uygun derinliklerde ve ekonomik boyutlarda olmaları durumunda resif yapıları geniş çaplı hidrokarbon birikimlerinin (petrol veya doğal gaz) işaretleridirler. Resif olarak yorumlanan yapının yığma öncesi ve yığma sonrası sismik verideki görünümü ortaya konulmuş, resif yapısı nedeniyle oluşan hız anomalileri analiz edilmiştir. Ayrıca, yapıyı içeren sismik verinin karmaşık iz nitelikleri de incelenmiştir.

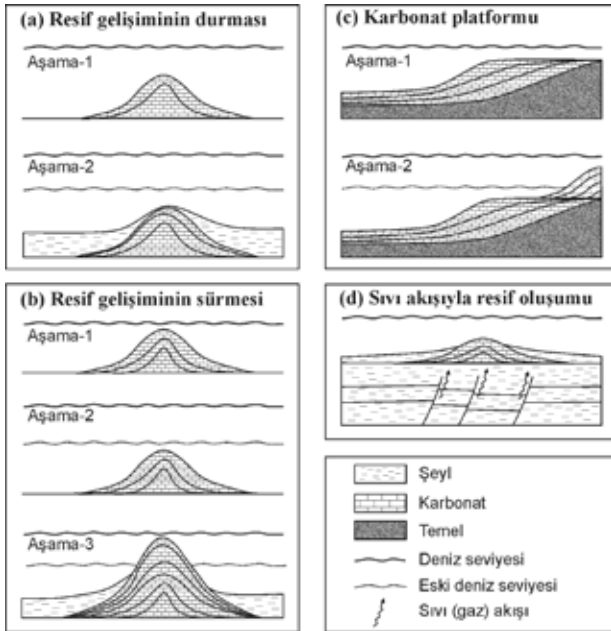
## RESİF YAPILARI

Karbonat resifi, “canlı kolonileri ve birikmiş iskelet parçaları, karbonat/silikat kumu ve organik/inorganik kalsiyum karbonattan oluşan ve koloni ile tortulların taşlaşmasına neden olan kireçtaşından meydana gelen tepe, yükselim veya sırt yapısı” olarak tanımlanmaktadır (Hovland 1990). Resifleri, tropik adaların etrafında görülen saçak türü resifler (fringing reefs), çöken okyanus adaların çevresindeki bariyer resifleri (barrier reefs), bunların gerisinde çok sıg sularda oluşan dairesel/izole yama resifleri (patch reefs), neredeyse tamamen silindirik şekilli ve düşey kanatlara sahip tepe resifleri (pinnacle reefs) ve okyanusal adanın tamamen çökmesi sonucu yüzeyde kalan dairesel şekilli atol türü resifler olarak sınıflandırmak mümkündür (Dominguez et al. 1992). Resiflerin oluşumu küresel deniz seviyesi değişimleri ile ilintilidir (Woodroffe et al. 2000; Yubo et al. 2011) ve genellikle tropik ve ekvatora yakın bölgelerde sıcak sularda oluşurlar. Bunun yanı sıra, Hovland and Thomsen (1997) ve Hovland and Risk (2003) özellikle Kuzey Denizi soğuk sularında deniz tabanı resifleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, resiflerin deniz tabanına gaz (özellikle metan) sızıntıları ile oldukça yakından ilişkili olduklarını ortaya koymuşlardır. Hovland (1990) ise, resiflerin sürekli şekilde devam eden deniz tabanı metan sızıntıları (cold seeps) sonucu oluşabileceğini de ileri sürmüştür. Şekil 1, deniz seviyesi değişimlerine bağlı olarak resif yapılarının gelişmelerini şematik olarak vermektedir.

Ortadoğu ve Kuzey Afrika üretim alanları dahil olmak üzere, dünya üzerindeki pek çok büyük petrol ve doğal gaz üretim alanı, resif türü karbonat yapılarından meydana gelmektedir. Organik karbonat yığılımları veya resifler, en önemli hidrokarbon birikim alanlarından birini oluştururlar. Kıtasal şelflerde genellikle şelf kırılma alanlarında veya kıtasal yamaçlarda gözlenirler ve genellikle şeylerle örtülüdürler (Dominguez et al. 1992). Resifler stratigrafik kapan türü içerisinde değerlendirilirler ve sismik kesitlerde oldukça belirgin gömülü uzunlamasına tepecikler şeklinde gözlenirler.

## TEKTONİK YAPI

Karadeniz, Kuzey Anadolu Fayı’nın kuzeyinde ve aktif Arap-Avrasya kıtasal çarpışmasının batı kanadı üzerinde yer alan geniş bir kıtalar arası havzadır. Karadeniz’in, kuzeye dalan Tetis Okyanusu tarafından üretilen Mesozoyik-Erken Senozoyik yay-ardı havzası



**Şekil 1.** (a) Deniz seviyesi yükselimi ile resif oluşumunun durması ve (b) sürmesi, (c) şelf karbonat platformlarının oluşumu ve (d) deniz seviyesi değişimleri ile ilişkiz olarak soğuk sızıntılara bağlı resif gelişiminin şematik gösterimi.

**Figure 1.** Schematic representation of (a) give-up and (b) catch-up of reef formation due to a rapid transgression, (c) formation of shelf carbonate platforms, and (d) reef formation due to the cold seeps independently from sea level variations.

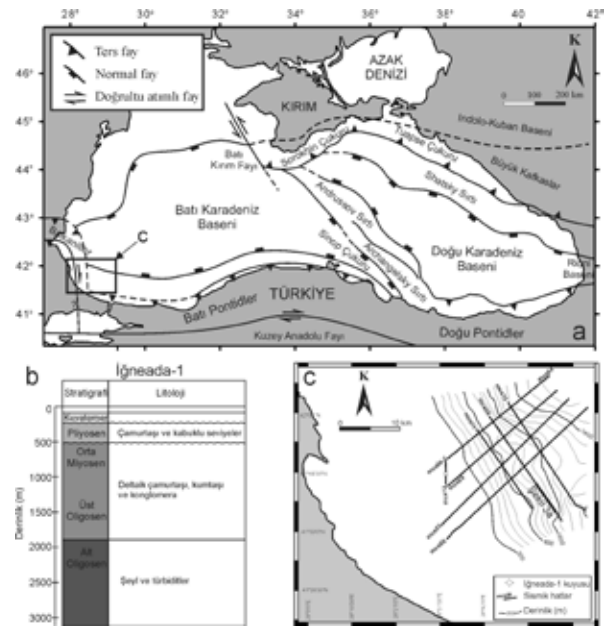
(back-arc basin) olduğu düşünülmektedir (Finetti et al. 1988; Okay et al. 1994; Robinson et al. 1996; Spadini et al. 1996; Nikishin et al. 2003). Karadeniz, batimetrik olarak tek bir havza olmasına karşın, tektonik olarak Batı (BKB) ve Doğu (DKB) Karadeniz Havzaları olarak isimlendirilen iki havzadan oluşmakta olup, bu havzalar Orta Karadeniz Sırtı (OKS) olarak isimlendirilen bölgesel bir sırt ile birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 2a). OKS, kuzeyde Andrusov ve güneyde ise Archangelsky Sırtları olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bu sırt, Oligosen-Erken Miyosen zamanına dek bir çökeltme bariyeri olarak kalmış, ancak bundan sonra tortullar tarafından kaplanmış (Finetti et al. 1988) ve her iki havza batimetrik olarak 2200 m derinlikte tek bir havzaya birleşmiştir.

BKB ve DKB farklı kinematik yapıya ve farklı açılma geçmişine sahiptir (Okay et al. 1994; Spadini et al. 1996). BKB'nin, batı ve orta Pontid'lerin Aptian döneminde Moesian Platformu'ndan ayrılarak güneydoğuya açılması sonucu oluştuğu öne sürülmüştür (Görür 1988). Buna karşın DKB daha gençtir ve Paleosen-Eosen döneminde OKS'nin Shatsky Sırtı'ndan ayrılarak Kırım'ın batısındaki bir kutup noktasından saat yönünde dönmesi sonucu açılmıştır (Finetti et al. 1988; Spadini et al. 1996; Robinson et al. 1996). BKB okyanusal bir kabuğa sahiptir ve Üst Kretase'den itibaren açılma sonrası tortul kalınlığı havza merkezinde 13 km'ye ulaşmaktadır (Finetti et al. 1988; Robinson et al. 1996).

Morfolojik olarak Karadeniz iki farklı sınır tipi gösterir: Doğu ve güney sınırları boyunca şelf gelişmemiştir. Bu bölgelerde kıtasal yamaç oldukça diktir ve şelf kırığından itibaren 15 km sonra yaklaşık 1800 m su derinliklerine ulaşılmaktadır. Buna karşın, kuzey ve batı sınırlarında ise oldukça geniş bir şelf ve daha düşük gradyente sahip kıtasal yamaç yapısı gözlenir.

Karadeniz her ne kadar açılma ile oluşmuş olsa da, Eosen döneminden itibaren kinematik durum değişmiş olup, sınırlarındaki güncel tektonizma, sıkışma tektoniği ile ifade edilmektedir (Robinson et al. 1996; Spadini et al. 1996; Tarı et al. 2000). Karadeniz deprenselliği oldukça düşük bir alan olarak tanımlanmakla birlikte (Tarı et al. 2000), Pontidler boyunca güncel sıkışma tektoniğinin izleri gözlenmektedir (Barka and Reilinger, 1997). Batı havza sınırında 1968 Bartın depremi, aletsel olarak kaydedilmiş en güçlü depremdir ve kaynak mekanizması bindirme türü faylanmayı işaret etmektedir (Alptekin et al. 1986).

Çalışma alanı Batı Karadeniz'de İğneada açıklarındaki şelf, kıtasal yamaç ve kıtasal yükselme (apron) bölgelerini kapsamaktadır (Şekil 2a). TPAO tarafından açılan İğneada-1 kuyusu çalışma alanının batısında yer almaktadır. Kuyu kıtasal şelf üzerinde yaklaşık 80 m su derinliklerinde yer almakta olup, 3118 m penetresyona sahiptir (Şekil 2b). Kuyuda kesilen Pliyosen birimi



**Şekil 2.** (a) Karadeniz'in genel tektonik elemanları (Finetti ve diğ. 1988; Spadini ve diğ. 1996; Robinson ve diğ. 1996'dan değiştirilerek), (b) çalışma alanı yakınlarında bulunan İğneada-1 kuyusu stratigrafisi, ve (c) kıyı boyunca toplanan sismik hatlar.

**Figure 2.** (a) Major tectonic components of the Black Sea (after Finetti et al. 1988; Spadini et al. 1996; Robinson et al. 1996), (b) stratigraphic section of İğneada-1 commercial well, and (c) seismic lines collected along the margin.

çamurtaşından, Miyosen ve Üst Oligosen birimleri ise çamurtaşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşmaktadır. Yaklaşık 2000 m derinliklerden itibaren Alt Oligosen birimi içerisinde şeyl ve türbidit aralanmaları gözlenmiş ve kuyunun bu kısmında petrol emarelerine rastlanmıştır (Menlikli et al. 2009). Çalışma alanında şelf kırığı yaklaşık 140 m su derinliklerinde yer almaktadır. Bu derinlikten itibaren oldukça düşük gradyentle derinleşen kıtasal yamaç başlamakta ve doğuya doğru yaklaşık 1800 m su derinliklerine kadar uzanmaktadır.

## VERİ TOPLAMA ve VERİ İŞLEM

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Araştırma Gemisi R/V *K. Piri Reis* ile, 2008 yılında Batı Karadeniz şelf ve kıtasal yamacı üzerinde yaklaşık 355 km 2B çok kanallı yüksek ayrımlı sismik yansıma verisi toplanmıştır (Şekil 2c). Çalışmanın temel amacı, bölgedeki Kuvaterner tortulları içerisindeki olası sıg gaz ve gaz hidrat birikimlerinin haritalanması, deniz tabanı erozyonunun, sıg stratigrafinin ve olası aktif fayların ortaya konulmasıdır. Çok kanallı sismik yansıma verisinin toplanması sırasında 96 kanallı ve 600 m uzunluğunda sayısal sismik alıcı kablo (streamer) kullanılmıştır. Grup aralığı 6.25 m, atış aralığı ise 12.5 m'dir. Kayıt uzunluğu ve örnekleme aralığı sırasıyla 3 s ve 1 ms alınmıştır. Sismik kaynak olarak, kabarcık sinyali üretmediği için yüksek ayrımlı deniz sismiği çalışmalarında tercih edilen 45+45 inç<sup>3</sup> GI (Generator-Injector) türü hava tabancası kullanılmıştır. Üretilen sinyalin frekansı bant genişliği 8-240 Hz arasındadır. Çalışma sırasında hatası 3 m civarında olan standart bir GPS sistemi kullanılmıştır.

Sismik veri ProMax yazılımı kullanılarak işlenmiş olup, veriye şu standart veri işlem adımları uygulanmıştır: veri yükleme, geometri tanımlama, 8-220 Hz bant-geçişli süzgeç, iz ayıklama, f-k eğim süzgeci, 24 katlamalı CDP sıralama, hız analizi (ortalama 1000 m aralıklı), normal kayma zamanı düzeltmesi, yığma, Kirchhoff zaman göçü ve göç sonrası genlik kazancı. İzden ize genlik değişimi bilgisini kaybetmemek adına veriye Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC) uygulanmamış, bunun yerine kazanç işlemi olarak Gerçek Genlik Kurtarımı (TAR) tercih edilmiştir. Ayrıca gaz ve/veya gaz hidrat anomalilerinin analizi için, veride gerekli görülen kısımlara karmaşık iz nitelikleri de (complex trace attributes) uygulanarak, anlık genlik veya zarf, anlık frekans ve anlık polarite kesitleri de elde edilmiştir.

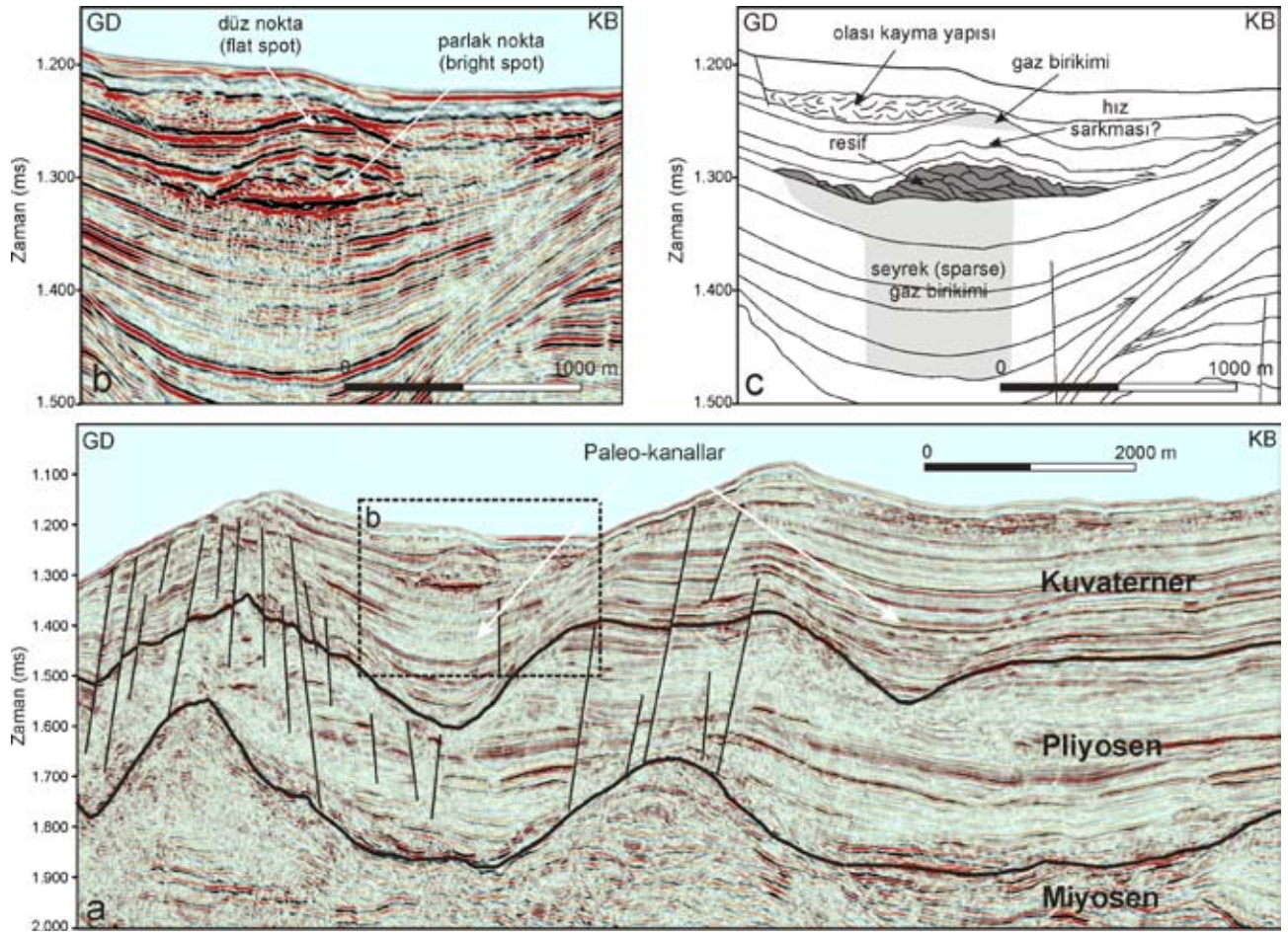
## BULGULAR

Çalışma alanındaki sismik yansıma hatlarından birinde, resif yapısı olarak yorumlanan tepe şekilli gömülü bir yapı gözlenmiştir. Şekil 3a, yapının gözlendiği mcs05 hattının güneydoğu kısmını ve yorumunu göstermektedir. Veride en derin birim Miyosen olarak yorumlanmıştır ve yaklaşık 1800 ms civarında (ortalama olarak deniz tabanından 600 m derinde) uzanmaktadır.

Miyosen-Pliyosen arayüzeyi tüm sismik kesitlerde oldukça belirgin bir uyumsuzluk yüzeyi olarak ayırt edilebilmektedir. Miyosen birimini üzerleyen Pliyosen biriminin genellikle yatay uzanan ve daha az deforme olmuş tortullardan oluştuğu görülmektedir. Pliyosen birimi çok fazla içsel yansıma içermemekte, bazı kesimlerde yarı şeffaf bir görünüm sunmaktadır. Pliyosen birimi tortullarının, derin kısımlarda Miyosen biriminin ondülasyon gösterdiği bölgelerde bu birime onlap yaptığı görülmektedir. Kuvaterner birimi ise oldukça iyi yansıma veren, genellikle paralel tabakalardan oluşmaktadır (Şekil 3a). Kuvaterner birimi içerisinde, özellikle sıg kısımlarda çok sayıda sıg gaz birikiminin varlığı gözlenmiştir. Bu birim içerisinde ayrıca iki ayrı paleo-kanal yapısı ayırt edilmiştir. Bu kanalları dolduran tortullar, kanalların her iki kanadına onlap yapmaktadır. Ayrıca, gömülü kanalların kanatlarının altındaki tortulların da, yer yer bu kanatlara toplanarak sona erdikleri görülmektedir. Bu durum, kanal dolgusunda hem karasal ve hem de pelajik ve/veya yarı-pelajik tortulaşmanın etkin olduğunu işaret etmektedir.

Kesitin GD kısmında çok sayıda düşeye yakın küçük ofsetli fayların varlığı oldukça belirgindir. Bu faylardan kesitte deniz tabanı ve tabanaltı tortullarının eğiminin arttığı GD uçtakiler, gravitasyonel yük nedeniyle tortul kaymalarına neden olan rotasyonel faylar olarak yorumlanmıştır. Ayrıca Miyosen'in üstünden neredeyse deniz tabanına kadar uzanan diğer fayların, genellikle Miyosen biriminin yükselim gösterdiği küçük ölçekli iki sırt yapısı üzerinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Yükselimlerin üzerindeki Pliyo-Kuvaterner tortulların sıkışmasıyla ilişkili olan bu faylanmalar, farklı sıkışma (differential compaction) nedeniyle oluşan küçük ölçekli faylanmalar olarak yorumlanmıştır. Kesitin GD kısmında Miyosen birimindeki iki yükselimin arasında kalan kısımda kalan Pliyo-Kuvaterner tortullar, Miyosen yükselimleri nedeniyle, yükselimlerin tam üzerindeki tortul birimlerden çok daha fazla sıkıştırılabilme özelliğine sahiptirler. Yani yükselimin üzerindeki ve her iki yanındaki tortullar, aynı bir basınç altında bile farklı miktarlarda sıkışabilme özelliği gösterirler. Genellikle yükselim veya sırt yapılarının üzerindeki tortullar, bu kısımlarda tortul kalınlığının az olması nedeniyle daha az sıkışırken, sırtların her iki yanındaki tortullar daha fazla sıkışır. Bu nedenle, bu tür yükselimlerin üzerindeki tortul birimlerde, bu farklı sıkışabilme özelliklerinden dolayı küçük ofsetli normal faylar meydana gelir ve bunlar farklı sıkışma fayları olarak nitelendirilirler. Bu tür fayların oluşumunun ortamın tektonik özellikleriyle ilişkisi yoktur.

Çalışmaya konu olan resif yapısı, kesitin GD kısmında ortalama 900 m su derinliklerinde, bir paleo-kanal yapısını dolduran tortulların içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3b). Yapı, Kuvaterner birimler içerisinde deniz tabanından itibaren yaklaşık 40 m derinlikte gömülmüştür. Genişliği yaklaşık olarak 1400 m olup, orta kısmındaki yüksekliği ise (yapılan hız analizi sonuçlarına göre) 50 m civarındadır (Şekil 3c). Resifin



**Şekil 3.** (a) mcs05 çok kanallı sismik yansıma hattının GD kısmının migrasyon kesiti ve yorumu. Konum için Şekil 2c'ye bakınız. (b) Kesitte gözlenen resif yapısının yakından görünümü ve (c) resif yapısının yorumu.

**Figure 3.** (a) SE part of the migrated multichannel seismic line mcs05 and its interpretation. See Figure 2c for the location. (b) Close-up of reef structure and (c) its interpretation.

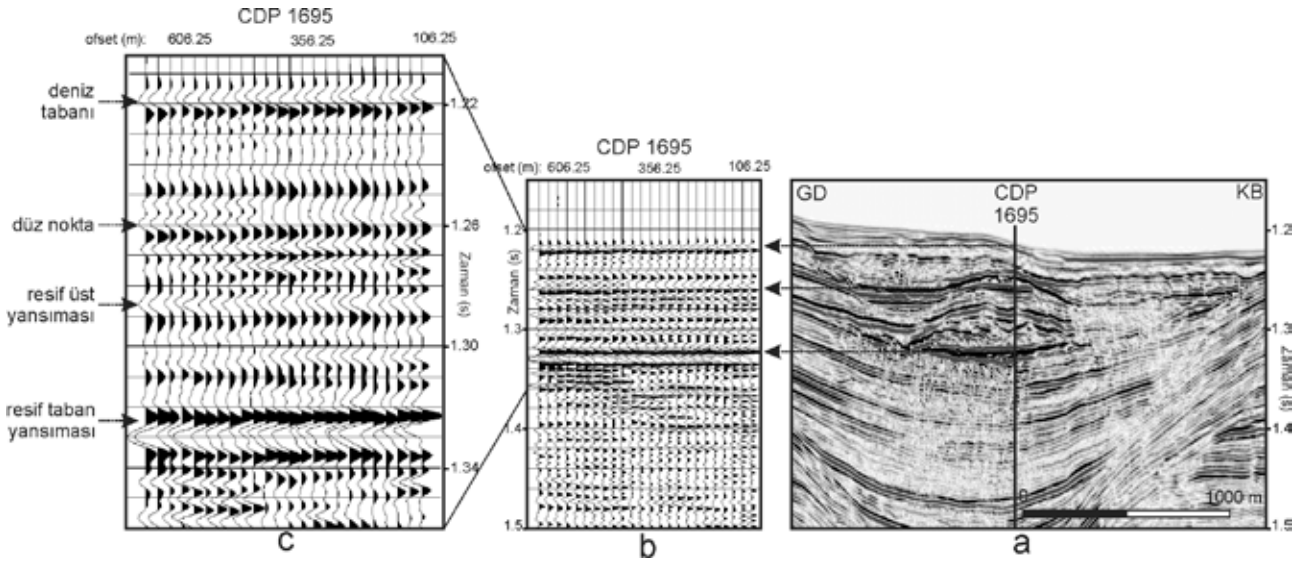
üst sınırındaki derinliklerde sismik sinyalin dalgaboyu 10 m olup (1500 m/s hız ve 150 Hz baskın frekans kabulüyle), bu derinliklerde sismik verinin ayrımlılığı 2.5 m civarındadır. Resifin iç yapısının ince karbonat tabakalarından meydana geldiği görülmektedir. Bu ince tabakalar genellikle kuzybatıya eğimli olup, üst üste yığılmış bir yapı sunmaktadır. Resif yapısı Geç Kuvaterner tortullar içerisinde bulunmaktadır. Resifin üzerinde, Holosen yaşlı ve oldukça kaotik bir içsel yapıya sahip küçük ölçekli bir kayma yapısı da mevcuttur. Resifin hemen altında bir kolon halinde ve hemen üzerinde küçük bir zon içerisinde gaz birikiminin olduğu görülmektedir. Bu zonlar Şekil 3c'de gri taralı alanlar olarak gösterilmiştir. Her iki gaz birikiminin üst yüzeyinden alınan yansımalarda da polarite terslenmesi gözlenmektedir. Üstteki birikimin tabanı bir düz nokta (flat spot) oluşturmuş olup gaz birikimi nedeniyle oluşan düşük hız, düz noktanın hemen altındaki yansımalarda hız sarkması (velocity sag/pull-down) meydana getirmiştir. Alt kısımda gözlenen daha geniş ölçekli gaz birikimi nedeniyle, resifin hemen altındaki tortullardan

alınan yansıma karakterinde bozulmalar ve yansımaların genliklerinde belirgin bir düşüş gözlenmektedir.

### Yığma Öncesi Veri Analizi

Resif yapısının üzerinden alınan ve düz noktayı, resifin üst ve alt sınırlarını kesen NMO düzeltmesi uygulanmış bir CDP grubu (CDP no. 1695) Şekil 4'de verilmiştir. Özellikle Şekil 4c'deki yakından gösterim, söz konusu ara yüzeylerden alınan yansımaların deniz tabanı yansımasına göre polarite ve genlik özelliklerini ortaya koymaktadır. Resifin üst kısmındaki küçük çaplı gaz birikiminin üzerinden alınan yansıma deniz tabanı yansımasına göre ters polaritede, buna karşın bu birikimin tabanından (düz nokta) alınan yansıma ise deniz tabanı ile aynı polaritededir. Bu durum, küçük çaplı gaz birikiminin üst sınırında, alttaki gaz birikimi nedeniyle oluşan hız düşüşünü ifade etmektedir. Birikimin tabanındaki düz noktada ise gaz birikiminden suya doymun tortullara geçişte oluşan hız artışı, pozitif polariteli yansıma üretmektedir.





Şekil 4. (a) Resif yapısını içeren sismik kesitin bir kısmı, (b) sismik veride resifin üzerinde bulunan NMO düzeltmesi uygulanmış 1695. CDP'nin görünümü, (c) 1695. CDP'nin resif yapısını içeren kısmının yakından görünümü.

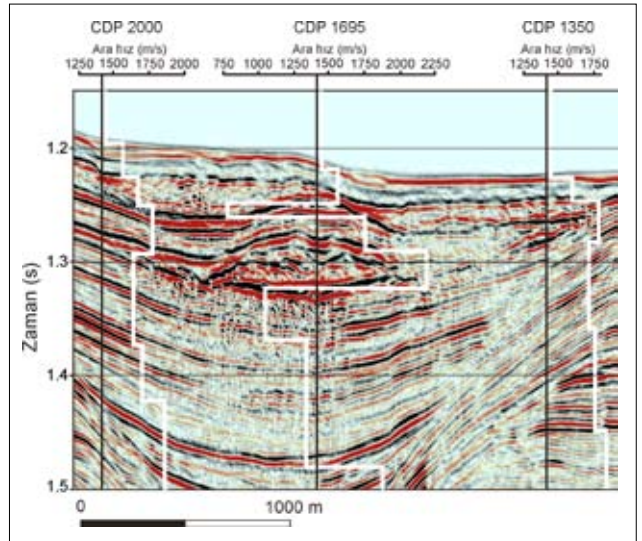
Figure 4. (a) Part of the seismic line containing reef structure, (b) NMO corrected CDP gather 1695 over the reef structure, (c) close up of CDP gather 1695.

Şekil 4c'de, resif üst yansımalarının da pozitif polariteli olduğu, ancak resif taban yansımalarının ters polariteye sahip olduğu görülmektedir. Resifi oluşturan karbonat yapısı içerisindeki hız artışı, resif üst yansımalarının pozitif polariteli olmasına neden olmaktadır. Resif taban yansımaları ise, hem yüksek hızlı karbonat yapısından tortul birime geçişte oluşan hız düşüşü ve hem de resifin altındaki gaz birikimi nedeniyle deniz tabanına göre ters polaritelidir. Resif yapısının göreceli olarak derin sularda bulunması ve sismik alıcı kablunun kısa olması nedeniyle uzak ofsetli ve büyük geliş açılırlarına sahip sismik veri toplanamadığı için, CDP grubundaki söz konusu anomali yansımalar, belirgin bir AVO etkisi göstermemektedir.

### Hız Anomalileri

Sismik verinin resif yapısını içeren kısmının ayrıntılı hız analizi yapılarak, resif civarında sismik hızdaki değişim incelenmiştir. Şekil 5, 1350, 1695 ve 2000 numaralı CDP noktalarında yapılan hız analizinden elde edilen ara hız profillerini vermektedir. Hız analizi ile elde edilen RMS hızlar, Dix denklemi ile şekilde gösterilen ara hızlara dönüştürülmüştür. 1350 ve 2000 numaralı CDP grupları resif yapısının dışında kalırken, 1695 numaralı CDP resif yapısının üzerine denk gelmekte ve resifin üzerindeki küçük çaplı gaz birikiminin, resifin kendisinin ve altının ara hız değişimini göstermektedir.

1350 numaralı CDP konumunda elde edilen ara hız, derinlikle tekdüze şekilde artmaktadır. Taban altında gaz birikimi, aşırı basınçlı tortullar, ters faylanma gibi oluşumlar bulunmadığı sürece, bunun gibi derinlikle düzgün şekilde gözlenen hız artımı oldukça olağandır.



Şekil 5. Üç ayrı CDP noktasında (CDP 1350, 1695 ve 2000) yapılan hız analizinden elde edilen ara hız profillerinin sismik veri üzerinde gösterimi. CDP 1695 resif yapısının üzerine denk gelmektedir.

Figure 5. Interval velocity profiles obtained at three different CDP locations (CDPs 1350, 1695 and 2000) along with the seismic data. CDP 1695 coincides with the reef structure.

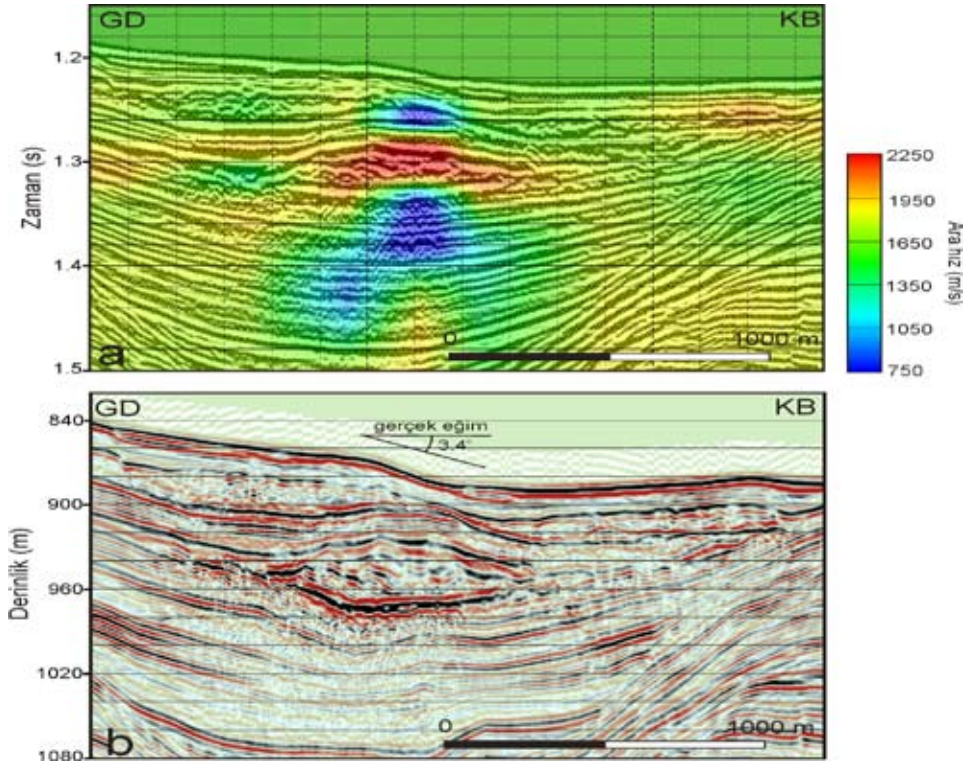
Benzer bir ara hız profili 2000 numaralı CDP konumunda da elde edilmiştir. Farklı olarak, yaklaşık 1290 ms civarında yer alan resifin taban yansımalarının altında kalan zon içerisinde ara hızda bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüşün, resifin altında bulunan gaz birikiminden meydana gelen seyrek (sparse) gaz etkisi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Nitekim 2000 numaralı CDP

konumunda derinlerde hızdaki artış olağan şekilde devam etmektedir.

1695 numaralı CDP konumunda elde edilen ara hız profili ise, bu iki profilden oldukça farklıdır. Resifin üzerindeki küçük çaplı gaz birikiminin üst kısmında ara hız hafifçe artış göstermekte, ancak gaz birikimi içerisinde aniden yaklaşık 750 m/s civarına kadar düşmektedir. Tortullar içerisinde gaz bulunmasının, sismik hızı sudaki P dalgası hızının da (ortalama 1500 m/s) altına düşürdüğü bilinmektedir. Bu durum yalnız başına, polarite düşüşü, ani ve büyük akustik empedans değişimi gibi sismik kesitlerdeki doğrudan hidrokarbon göstergelerinin (direct hydrocarbon indicators-DHI) elde edilmesine neden olmaktadır. Bu gaz birikiminin tabanını oluşturan düz noktanın (flat spot) altında hız tekrar yükselmekte ve 1750 m/s civarına ulaşmaktadır. Bu seviyenin hemen altında resif yapısı bulunmaktadır. 1695 numaralı CDP konumunda, yaklaşık 1280-1330 ms arasında bulunan resif yapısında ara hızın oldukça yükseldiği ve 2250 m/s'ye ulaştığı görülmektedir. Karadeniz'de, bu denli sığ derinliklerdeki tortul birimler için bu hız değeri çok yüksek olup, bu yüksek hızlı birim, resif yapısını oluşturan karbonat birimin yüksek hızına karşılık gelmektedir. Resifin tabanından itibaren seyrek gaz birikimi nedeniyle ara hızda tekrar ani bir düşüş gözlenmekte, 1475 ms derinliklerden sonra ise hız tekrar artış göstermektedir.

Sismik veriden elde edilen bu hız analizi bilgisi, resif yapısını içeren tüm sismik veri üzerine yayılarak resif ve civarının 2B ara hız kesiti elde edilmiştir. Bu işlem için her 50 CDP'de bir (ortalama her 150 m'de bir) hız analizi yapılmış, elde edilen RMS hızlar ara hızlara dönüştürülmüştür. Ara hız kesitinin sismik veri ile birlikte gösterimi Şekil 6a'da verilmektedir. Ara hız kesitinde, kesitteki normal tortul birimlerin hızlarının genellikle 1600-1800 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Resif yapısı içerisinde, beklendiği gibi yüksek hızlı karbonat birim nedeniyle ara hız oldukça yükselmekte ve 2250 m/s civarında seyretmektedir. Ara hız kesitinde, hem resifin üzerinde ve hem de altında bulunan her iki gaz birikiminin anomali hız dağılımları da açıkça görülmektedir. Her iki gaz birikim yapısı için de hız değerleri 800 m/s civarında olup, gaz içeren tortulların sınırları hız alanında açıkça ayırt edilebilmektedir.

Tüm bu hız analizlerine ek olarak, elde edilen ara hızlar kullanılarak ortalama hızlar da hesaplanmış ve sismik veri zaman ortamından derinlik ortamına aktarılmıştır. Elde edilen derinlik kesiti Şekil 6b'de verilmiştir. Resifin yapısı, sahip olduğu yüksek sismik hız değerinden dolayı, zaman kesitinde, normalde olması gerektiğinden daha ince görülmektedir. Ayrıca resifin üzerindeki sığ gaz birikiminin düşük hızlı anomali de derinlik kesitinde yok olduğundan, düz nokta ve düşük hız nedeniyle bunun altında oluşan hız sarkması da yok olmuştur.



**Şekil 6.** (a) Resif yapısı boyunca elde edilen ara hız kesitinin sismik veri ile birlikte gösterimi, (b) ortalama hızlar kullanılarak sismik verinin derinlik ortamına dönüştürülmüş hali.

**Figure 6.** (a) Interval velocity distribution along the seismic data containing the reef structure, and (b) depth conversion of the seismic data using average velocities.

## Karmaşık Nitelik Analizi

Sismik verilerden elde edilen, ölçülen, hesaplanan veya bulunan tüm özellikler sismik nitelik (attribute) olarak tanımlanır ve sismik verinin yorumuna yardımcı bazı ek parametreler sismik nitelik analizlerinden elde edilebilir. En çok kullanılan sismik nitelikler Karmaşık Sismik Nitelikler (Complex Trace Attributes) olup, sismik verinin analitik sinyal olarak dikkate alınması ile hesaplanır (Taner 1978) ve "Karmaşık İz Analizi" olarak bilinirler. Karmaşık iz analizi, sismik veriden temel olarak genlik, faz ve frekans bilgilerinin birbirinden bağımsız olarak çıkarılması ile yapılmaktadır. Sismik sinyal analitik olarak düşünüldüğünde, yoruma yardımcı bazı ek parametreler elde edilebilir. Bir sinyalin analitik tanımı, sinyalin kendisi ve Hilbert dönüşümü ile yapılmaktadır. Kaydedilen sismik iz analitik sinyalin gerçel bileşeni, bunun Hilbert dönüşümü ise analitik sinyalin sanal bileşenidir ve gerçel bileşenin 90° faz kaydırılmış halidir. Bu iki temel bileşen kullanılarak başta anlık genlik veya zarf, anlık frekans, anlık faz ve anlık polarite olmak üzere birçok nitelik hesaplanabilir (Dondurur 2009).

Karmaşık sismik izle ilgili parametreler, sismik sinyalin anlık özelliklerini ilgilendirirler ve belirli bir zaman penceresi içindeki ortalama değişimleri temsil etmezler. Örneğin anlık genlik veya zarf, yansıma gücünü ifade eder ve temel litolojik değişimlerin, parlak noktalar gibi anomali genliklerin analizinde kullanılır. Anlık faz sismik olayların sürekliliğinin izlenmesinde kullanılır ve zaman kesitlerinde sürekliliğin kaybolduğu yerlerde, izler arasındaki yansıma sürekliliğinin izlenmesini kolaylaştırır. Anlık frekans sinyalin fazının zamana göre değişim oranı olarak ifade edilir ve yüksek soğurma etkisine sahip gazlı kumların analizinde kullanılabilir. Görünür polarite zarf izinin tepe noktalarının polaritelerini verir ve ters polariteye sahip parlak noktaları belirlemek için kullanılır.

Sismik verinin resif yapısını içeren kısmına bir dizi karmaşık iz analizi uygulanmıştır. Sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7a ve Şekil 7b, sırasıyla migrasyon kesitini ve bunun Hilbert dönüşümünü vermektedir. Analiz sonucu elde edilen anlık faz kesiti ise Şekil 7c'de verilmiştir. Anlık faz kesitleri genlik bilgisi içermezler ve hem düşük hem de yüksek genlikleri aynı büyüklükte gösterirler. Bu anlamda anlık faz kesiti resif yapısının sınırlarının çok daha belirgin şekilde görülmesini sağlamaktadır. Resifin altındaki gaz birikimi nedeniyle düşük genlikli olarak görülen yansımaların genlikleri yükselmiş, bu bölgelerdeki izden ize süreklilik belirgin şekilde artmıştır. Ayrıca anlık faz kesitinde resifin iç yapısı çok daha belirgin şekilde görünür hale gelmiştir. Gömülü kanalın KB kanalında gözlenen onlap ve toplap kesilmeleri çok daha açık şekilde görülmektedir.

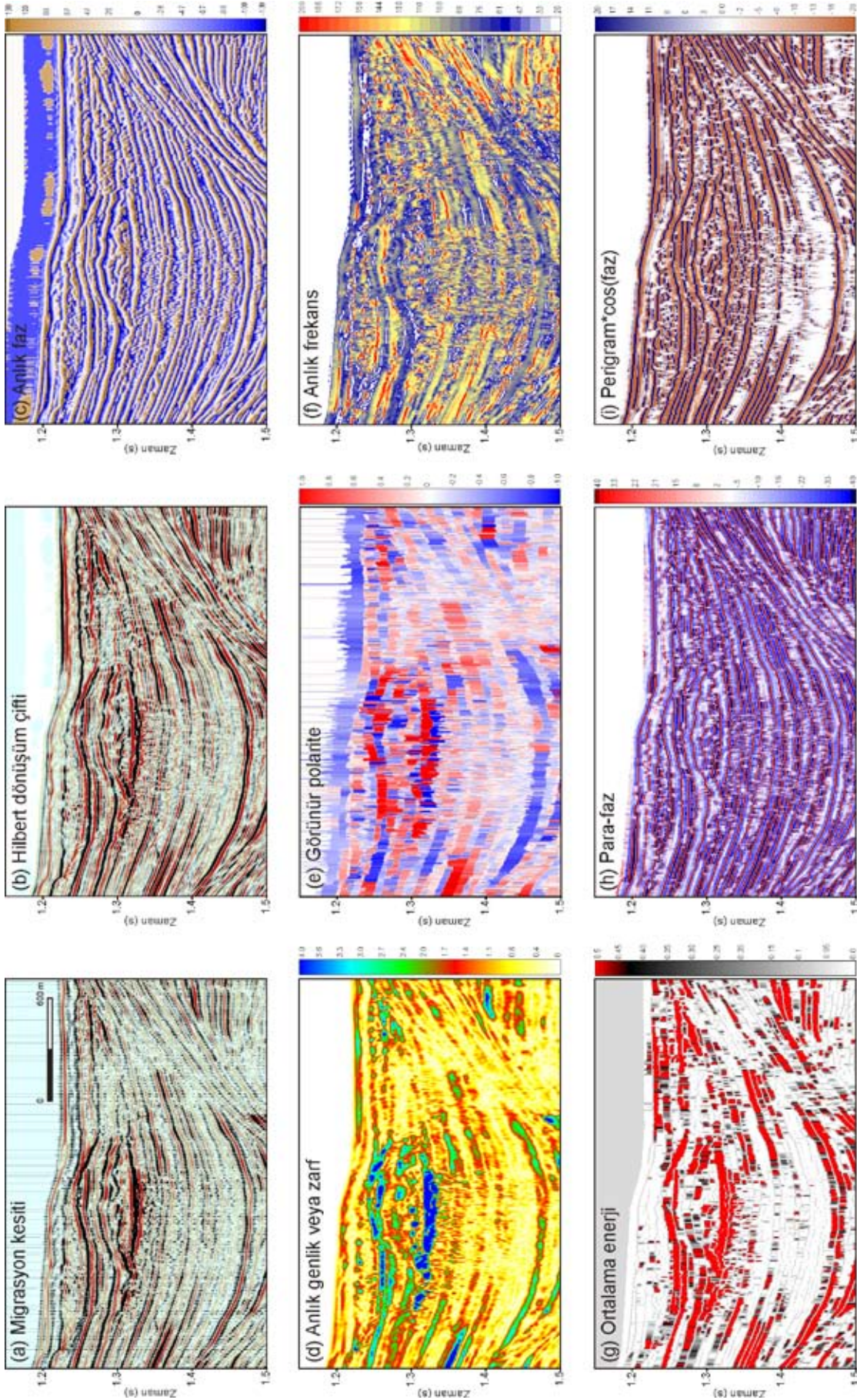
Anlık genlik kesiti faz bilgisi taşımamakta, göreceli olarak yüksek genliğe sahip yansımaları belirgin hale getirmektedir (Şekil 7d). Buna göre, kesitin daha derin kısımlarındaki birkaç küçük çaplı yansıma dışında, resifin üst sınırından, düz noktadan ve resifin alt sınırından

alınan yansımaların belirgin şekilde yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca resifin iç kısmından da küçük çaplı yüksek genlikli yansımalar alınmıştır. Bu durum, resifin hem üst sınırının ve hem de alt sınırının oldukça yüksek akustik empedans farkına sahip birimleri ayırdığını işaret etmektedir. Pelajik/yarı-pelajik tortullar ve karbonat yapısı arasındaki yüksek hız farkı, bu yüksek akustik empedans farkını oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak, resifin altındaki yerel gaz birikimi nedeniyle meydana gelen düşük akustik empedans farkı, anlık genlik kesitinde de açıkça görülmektedir. Resifin altındaki birimlerden alınan yansımaların sürekliliği anlık genlik kesitinde neredeyse tamamen yok olmuştur.

Şekil 7e'de verilen görünür polarite kesitinin ayrımlılığı oldukça düşüktür. Kesitteki en önemli anomali, resifin alt sınırından alınan yansımada görülmektedir. Yüksek hızlı karbonat yapısından düşük hızlı ve gaz içeren bölgeye geçişte oluşan hız terslenmesi, görünür polarite kesitinde deniz tabanı yansımasına göre belirgin bir ters polariteye neden olmuştur. Resifin üst sınırı tamamen kaotik ve yanal yönde hızla değişen karmaşık polarite tepkisi vermiştir. Bu durum olasılıkla ince karbonat-tortul birikimleri arasında sinyalin girişime uğraması nedeniyle oluşmaktadır. Aynı nedenle, resifin üzerinde yer alan küçük ölçekli gaz birikiminin ve düz noktanın görünür polarite kesitindeki tepkisini ayırt etmek mümkün olamamıştır. Kesitin daha derin kısımlarında, özellikle gömülü kanal yapısının kanatlarına yakın kısımlarda tabakaların incelendiği ve onlap veya toplap yaparak yok olduğu bölgelerde de, ince tabaka girişimi (thin bed tuning) etkisi nedeniyle yine ters polariteli yansımalar görülmektedir. Bunlar, incelen tabakalar nedeniyle sismik veride meydana gelen girişim etkisi sonucu oluşan yapay anomalilerdir ve hidrokarbon araştırmalarında dikkate alınmamaları gerekir.

Şekil 7f'de ise resif yapısının anlık frekans kesiti görülmektedir. Yapılan çalışma yüksek ayrımlı bir çalışmadır ve daha önce değinildiği üzere, sismik verinin frekans bandı yaklaşık 8-220 Hz aralığındadır. Resif yapısı da sığ tortullar içerisinde bulunduğu için, anlık frekans kesitinde yoğun olarak 110-200 Hz aralığındaki yüksek frekanslar hakimdir. Hidrokarbon aramalarında, özellikle bu tür sıvıların sismik verinin yüksek frekanslarını soğurmaları sonucu, düşük frekans içeriğine sahip alanlar hedef bölgelerdir ve bunlar genellikle anlık frekans kesitlerinde belirgin şekilde görülebilirler. Yüksek ayrımlı sismik yansıma çalışmalarında ise, özellikle sığ derinliklerdeki düşük frekanslı bölgeler (genellikle 60 Hz ve altı) anomali alanlar olarak değerlendirilebilir. Bundan yola çıkarak anlık frekans kesitini incelediğimizde, resif yapısının üst ve alt sınırından alınan yansımanın oldukça düşük frekans içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca resifin altındaki yansımalarda oluşan bozulmalar oldukça belirgindir. Ancak resifin üstündeki küçük gaz birikiminin, verinin anlık frekans içeriği üzerindeki etkisi belirgin değildir. Bu, olasılıkla yapının fiziksel





**Şekil 7.** Resif yapısı için hesaplanan farklı karmaşık iz nitelikleri. (a) Giriş migrasyon kesiti, (b) girişin Hilbert dönüşüm çifti, (c) anlık faz, (d) anlık genlik veya zarf, (e) görünür polarite, (f) anlık frekans, (g) ortalama enerji, (h) para-faz ve (i) perigramın, fazın kosinüsü ile çarpımı.

**Figure 7.** Complex trace attributes calculated for the reef structure. (a) Input migrated seismic section, (b) Hilbert transform pair of the input section, (c) instantaneous phase, (d) instantaneous amplitude or amplitude envelope, (e) apparent polarity, (f) instantaneous frequency, (g) average energy, (h) paraphase, and (i) perigram times cosine of phase.

boyutlarının küçüklüğünden ileri gelmektedir.

Ortalama enerji, anlık genlik (veya yansıma şiddetinin) karesidir (Şekil 7g). Anlık genlik kesitinin karesini almak, yüksek genlikli değerleri, küçük genlikli değerlere oranla daha da yükseltmek, yani daha belirgin hale getirmek anlamına gelir. Yani ortalama enerji kesitleri, anlık genlik kesitlerine benzerdir, ancak anlık genlik kesitlerindeki yüksek genlikler, ortalama enerji kesitlerinde çok daha belirgindir. Bu durum, hesaplanan ortalama kesitinde de belirgindir. Yine resifin üst ve alt sınır yansımaları oldukça yüksek genlikli (yüksek enerjili) olarak görülmektedir. Ayrıca resifin üzerinde düz nokta çok daha belirgin şekilde görülmektedir. Buna karşın resifin altındaki yansımalar, gaz birikimi nedeniyle yine neredeyse tamamen yok olmuştur.

Para-faz, oldukça yeni bir sismik nitelik türüdür ve yığılma ortamlarının (depositional settings) yorumunda oldukça etkin bilgiler sunmaktadır. Kesitteki yapısal veya stratigrafik bilgilerin görüntülenmesinde oldukça etkilidir (Şekil 7h). Para-faz, yatay yönde yansımaları izler ve kesitteki yansımaların izlenmesinde (event picking) kullanılabilir. Para-faz kesitinde yansımalar çok daha belirgin şekilde görülmektedir. Özellikle resif yapısının üst ve alt sınırları, resifin içsel yapısı ve hatta resifin üst kısmında bulunan kayma yapısının kaotik iç yansımaları bile oldukça belirgin şekilde görünür hale gelmiştir. Kesitteki onlap ve toplap yapıları çok daha belirgin hale gelmiştir. Ancak dikkat edilirse göreceli genlik bilgileri de, aynen anlık faz kesitinde olduğu gibi yok olmuştur.

Daha az kullanılan bir diğer karmaşık nitelik ise perigram veya perigramın fazın kosinüsü (normalize faz) ile çarpımıdır (Şekil 7i). Perigram, anlık genlik kesitindeki her bir değer, anlık genlik izinin kayan ortalama değerinden çıkarılmasıyla elde edilir. Bu işlem, tamamen pozitif değerlerden oluşan anlık genlik izlerini, pozitif ve negatif değerlerden oluşan izler haline getirir. Sonuç olarak perigram, anlık genlik kesitinde ortalama değerden daha büyük olan değerleri verir ve izlerdeki maksimum enerji değerleri daha belirgin hale gelir. Perigramın normalize faz ile çarpımı, sismik verideki yüksek enerjili yansımaların daha iyi takibini sağlayabilir. Resif verisinin perigram kesitinde de izden izle sürekliliğin arttığı görülmektedir. Perigramın maksimum değerinin takip edilmesiyle, verinin yapısal yorumu daha doğru ve kolay yapılabilir.

## TARTIŞMA

Resif yapılarının oluşumları, gelişmeleri ve sonları tektonik, deniz seviyesi değişimleri ve iklim gibi birçok farklı etmene bağlıdır (Yubo et al. 2011). Resifler genellikle deniz seviyesindeki yükselmelere bir tepki olarak meydana gelirler. Genellikle tropik ve ekvatora yakın bölgelerdeki sıcak sularda oluşurlar ve tektonik ortam durağan ise yatay ve düşey yönde gelişim gösterirler (örn. Dominguez et al. 1992; Woodroffe et

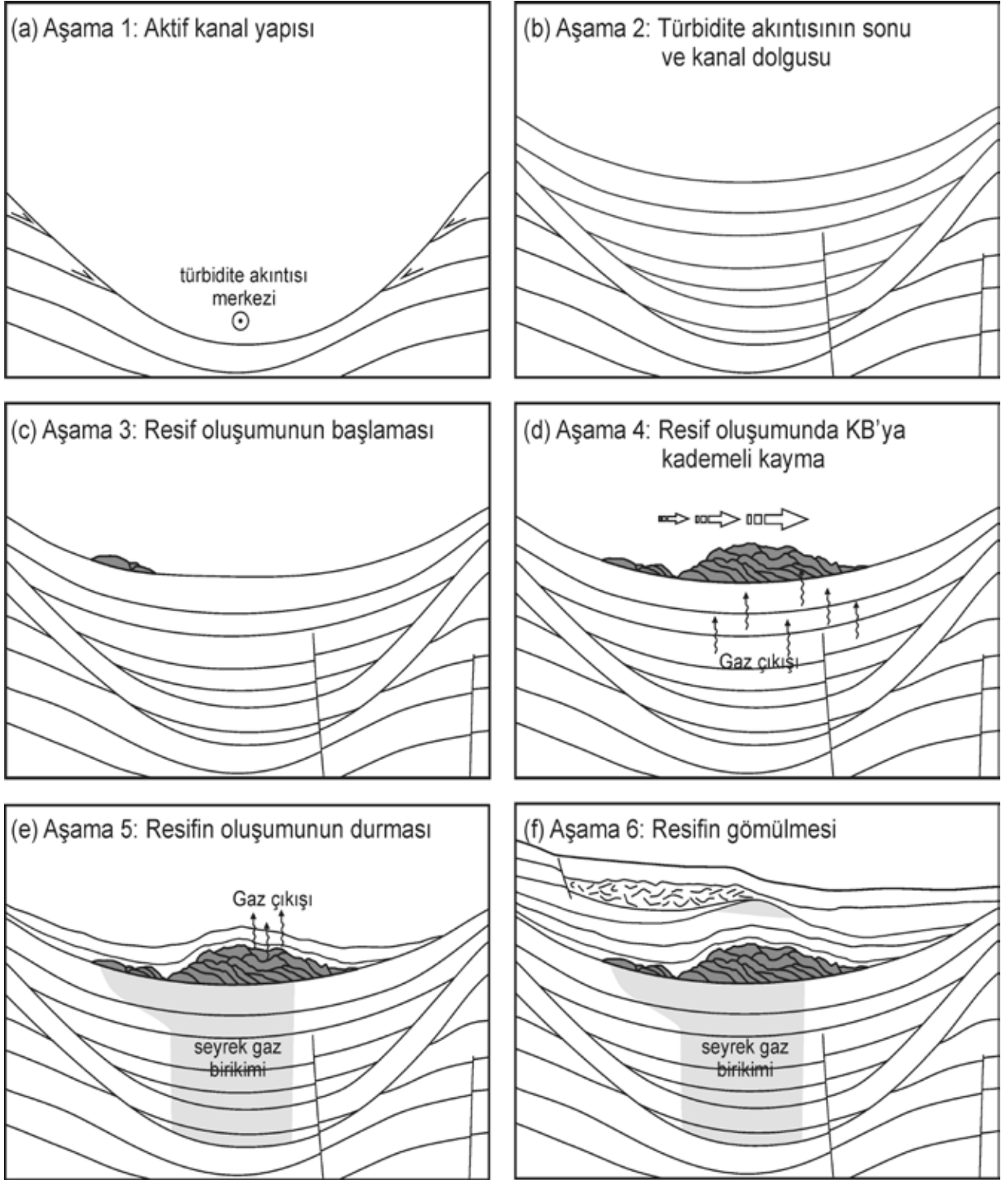
al. 2000; Yubo et al. 2011). Soğuk su resiflerinde ise en genel tür *Lophelia pertusa* olup, dünya üzerinde birçok okyanusta, Meksika körfezinde ve Kuzey denizinde yaygın olarak gözlenmekte, 2000 m'den daha derin ve 0-13.6°C arasında sıcaklığa sahip oksijence zengin sularda yaşayabilmektedir (Hovland and Thomsen 1997). Karbonat kayaçlar ve rezervuar yapıları ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için Sarg and Schuelke (2003)'e başvurulabilir.

Hovland and Thomsen (1997) ve Hovland and Risk (2003) Kuzey Denizi sularında deniz tabanı resifleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, bu bölgedeki resiflerin, taban altında sığ derinliklerdeki gaz (genellikle metan) birikimi ve deniz tabanına gaz sızıntılarının bulunduğu alanlarda yoğunlaştıklarını ortaya koymuşlardır. Hovland (1990) ise, resiflerin sürekli şekilde devam eden deniz tabanı metan sızıntıları (cold seeps) sonucu oluşabileceğini ileri sürmüş ve Kuzey Denizinde bu tür resif yapılarının ayrıntılı özelliklerini incelemiştir. Gerçekte metan gazı, denizel tortullarda üretilmesinin hemen ardından deniz tabanına göç etme eğilimi gösterir. Metan üretimi çözünabilirlik seviyesini aştığında, tortul gözeneklerinde kabarcık fazında metan birikmeye ve yükselmeye başlar. Sülfat indirgemesi ile oksidize edilemeyecek kadar hızlı yükselen metan kabarcıkları deniz tabanına ulaşırlar. Bu metanca zengin sıvılar (boşluk suyu) içerisindeki bikarbonat deniz tabanında çökerek "metandan türemiş karbonat birikimlerini (methane-derived authigenic carbonates)" meydana getirir. Bu tür kayaçlar genellikle aragonite/kalsit çökeli ile oluşmaktadır ve yükseklikleri 4 m'ye ulaşabilir. Karadeniz'de bu türden karbonat yapıları geniş çapta gözlenmektedir (örn. Mazzini et al. 2004).

Mevcut sismik verinin yorumundan ve yukarıda sunulan ek analizlerden yola çıkılarak, gözlenen resif yapısının ve yapının bulunduğu sedimanter ortamın oluşumu ile ilgili kavramsal bir model geliştirilmiştir. Altı aşamadan oluşan model Şekil 8'de verilmiştir. Pliosen'in sonunda, bugün tamamen tortullarla dolu bulunan ve resif yapısının da içerisinde bulunduğu aktif bir kanal yapısı mevcuttur (Şekil 8a). Yarı simetrik olan bu kanal yapısının her iki duvarı, yamaç aşağı akan türbidite akıntıları nedeniyle erozyonel tıraşlamaya maruz kalmakta, her iki kanadın altındaki tortul birimler, kanal duvarlarında toplap kesilmeleri ile son bulmaktadır. Erken Kuvaterner döneminde bu kanal aktivitesini yitirir ve kanalın içerisi tortullarla dolmaya başlar (Şekil 8b). Bu aşamada oluşan farklı sıkışma fayları, kanal dolgusuna kadar ilerler. Kanal içerisindeki bu tortul birimlerin kesilme ve birikim özellikleri, kanalın pelajik (veya yarı-pelajik) ve karasal tortulların birlikte birikimi ile dolmaya başlar. Pelajik tortullar kanal tabanını ve kanal duvarlarını aynı anda, ince bir örtü şeklinde doldururken, karasal tortullar daha çok kanal içerisini doldurmakta ve kanal duvarlarına onlap yaparak sona ermektedir.

Bir sonraki aşamada kanalın neredeyse tamamı tortullarla dolmuştur ve oluşan bu paleo-kanalın GB





**Şekil 8.** Resif ve çevre tortul ortamın oluşumunu açıklayan şematik model. (a) Pliyosen'in sonundaki aktif bir kanal yapısı, (b) kanalın terk edilmesi ve içerisindeki tortullarla dolmaya başlaması, (c) paleo-kanal içerisinde resif oluşumunun başlaması, (d) resifin KB yönünde gelişmesi, (e) resif oluşumunun sona ermesi ve üzerinin tortullarla örtülmeye başlaması, (f) resifin Geç Kuvaterner sonrası tortulların içine gömülmesi.

**Figure 8.** Schematic representation of the formation of the reef and surrounding sedimentary environment. (a) Active channel structure at the end of the Pliocene, (b) abandoned channel and initiation of the channel infill, (c) initiation of reef formation in the paleo-channel, (d) development of the reef towards the NW, (e) cessation of the reef development and its covering by the recent sediments, and (f) buried reef structure in the sediments after Late Quaternary.

kısımında resif oluşumu başlar (Şekil 8c). Ancak resif oluşumu, kademeli olarak KB'ya doğru kayarak devam edecektir (Şekil 8d). Resifin iç yapısındaki ince karbonat birimlerin dizilimi, resif oluşumundaki bu kaymayı açıkça ortaya koymaktadır: KB'daki karbonat birimleri, GB'da bulunan birimleri üzerlemektedir. Yani GB'daki her bir ince karbonat birimi, kendisinin hemen KB'sında bulunan birimden daha önce oluşmuş olmalıdır. KB'ya doğru bu kaymanın nedeninin, bu aşamada eşzamanlı olarak resifin altındaki tortullarda oluşan (olasılıkla biyojenik kökenli) gazın etkili olduğu düşünülmektedir. Resif yapısı Geç Kuvaterner tortullar içerisinde gelişmiştir. Günümüzde anoksik olan ve yaşam barındırmayan Karadeniz'in derin suları, Geç Kuvaterner döneminde tamamen aerobik bir yapıya sahiptir ve bu dönemde Karadeniz her türlü dip yaşamına izin veren bir tatlı su gölüdür.

Beşinci aşamada artık resif oluşumu sona ermiştir (Şekil 8e). Oluşumun sona ermesinin nedenini sadece sismik veriden yola çıkılarak açıklamak olası değildir. Ancak son buzul çağı sonrasındaki boğazlar yoluyla Karadeniz-Akdeniz su geçişinin sağlanması sonucu, Karadeniz'in bir yarı kapalı tuzlu su denizi olmasının bununla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Boğazlar su yolunun açılmasının (bundan yaklaşık 7000 yıl önce), Karadeniz'deki biyolojik çeşitliliği oldukça değiştirdiği açıktır. Ancak bu dönemden sonra, resifin üzerinde biriken tortul kalınlığının oldukça fazla olması (yaklaşık 40 m), bu yaklaşımın doğruluğuna gölge düşürmektedir. Çalışma alanındaki tortulaşma oranı hakkında bilgi bulunmadığından, bu yaklaşımın doğruluğu tartışmaya açıktır.

Son aşamada artık resif yapısının üzeri güncel tortullarla tamamen kaplanmıştır (Şekil 8f). Yapının üzerinde oluşan küçük çaplı antiklinal, bu güncel tortullar içerisinde oluşan küçük çaplı gaz birikimi ile dolmuş, birikimin alt yüzeyinde bir düz nokta meydana gelmiştir. Holosen tortullar içerisinde, olasılıkla bir deprem etkinliği veya daha başka nedenlerle tetiklenen bir kayma yapısı da oluşmuştur. Bu aşamada artık resif yapısının tabanı, altında biriken seyrek gaz için bir örtü görevi yapmaktadır.

## SONUÇLAR

Batı Karadeniz kıtasal yamacında sismik veride Geç Kuvaterner tortulların içerisinde gözlenen sığ bir resif yapısının çeşitli yöntemlerle analizi yapılmıştır. Resif, 1400 m genişliğinde ve 50 m yüksekliğinde olup, deniz tabanından yaklaşık 40 m derinlikte gömülmüştür. Sismik veri, resifin içsel yapısının ince karbonat birimlerden oluştuğunu ve ayrıntılı hız analizleri ise, yapının sismik hızının 2250 m/s civarında olduğunu işaret etmektedir. Karmaşık iz analizleri, resifin hemen üzerinde ve resif tabanının altında iki ayrı gaz birikiminin olduğunu ortaya koymuştur. Hız analizleri de, bu iki birikimin olduğu kısımlarda, sismik verinin ara hızlarında 750 m/s'ye kadar düşüş olduğunu göstermiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, resif yapısı için, organik karbonat birikimi ve tortullar içerisindeki gaz oluşum ve göçünü birlikte içeren bir melez oluşum modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modele göre resif yapısı, bugün bulunduğu konumun GD kısmında oluşumuna başlamış, zaman içerisinde KB yönünde gelişmeye devam etmiştir. KB'ya doğru bu kaymanın nedeninin, resif tabanının altındaki tortullarda gaz oluşumu ve yükseliminin etkili olduğu öne sürülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan sismik veri, 105Y156 kodlu TUBITAK Fransa-Türkiye ortak araştırma projesi (PIA) kapsamında toplanmıştır. Veri toplama süresince özverili şekilde çalışan R/V K. *Piri Reis* gemisi kaptan ve personeline, çalışmaya katılan bilimsel personele ve projenin koordinatörü olan sayın Prof. Dr. Oya ALGAN'a çok teşekkür ederiz. Olumlu eleştirileri ile makalenin gelişmesine katkıda bulunan hakemler sayın Prof. Dr. Bedri ALPAR'a ve sayın Doç. Dr. Hakan KARSLI'ya teşekkür ederiz. Veri toplama sırasında ve sonrasındaki yakın teknik desteklerinden dolayı Hydrosience Technologies Inc. firmasına teşekkür ederiz. Çok kanallı sismik yansıma verisi Landmark Graphics Co. firmasının ProMax yazılımı ile işlenmiş ve Seismic Micro Tech. firmasının The Kingdom Suite yazılımı ile analiz edilmiştir. Veri toplama ve işleme sırasında kullanılan sistem, cihaz ve donanımlar, Devlet Planlama Teşkilatı'nın 2003K120360 kodlu DPT projesi kapsamında ülkemize kazandırılmıştır.

Çalışma ayrıca Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamında 2005.KB.FEN.062 nolu proje ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Alptekin, Ö., Nabelek, J.L. and Toksöz, M.N. 1986, Source mechanism of the Bartın earthquake of September 3, 1968 in northwestern Turkey: Evidence for active thrust faulting at the southern Black Sea margin, *Tectonophysics* 122, 73–88.

Barka, A. and Reilinger, R. 1997, Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Ann. Geofisica* XL, 587–610.

Çifçi, G., Dondurur, D. and Ergün, M. 2002, Sonar and High Resolution Seismic Studies in the Eastern Black Sea Basin, *Turkish Jour. of Earth Sci.* 11, 61-81.

Dominguez, G.C., Samaniego, F.V. and Mazzullo, S.J. 1992, Carbonate Reservoir Characterization: A Geologic-Engineering Analysis, Part I (Developments in Petroleum Science), Elsevier Science Pub.

Dondurur, D. and Çifçi, G. 2009, Anomalous Strong Reflections on High Resolution Seismic Data from the Turkish Shelf of the Eastern Black Sea: Possible Indicators of Shallow Hydrogen Sulfide-Rich Gas Hydrate Layers, *Turkish Jour. of Earth Sci.* 18, 299-313.



- Dondurur, D., 2009, Deniz Sismiğinde Veri İşlem, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 294 sayfa.
- Dondurur, D., Küçük, H.M., Çifçi, G. and Ergün, M. 2010, Preliminary results from high resolution seismic study in the Kozlu High, central Black Sea, AAPG Meeting, Kiev, Ukraine.
- Ergün, M., Dondurur, D. and Çifçi, G. 2002, Acoustic Evidence for Shallow Gas Accumulations in the Sediments of the Eastern Black Sea, Terra Nova 14, 313-320.
- Finetti, I., Bricchi, G., Del Ben, A., Pipan, M. and Xuan, Z. 1988, Geophysical study of the Black Sea, Bolletino Di Geofisica Teorica Ed Applicata 30, 197-324.
- Görür, N. 1988, Timing of opening of the Black Sea Basin, Tectonophysics 147, 247-262.
- Hovland, M. and Judd, A.G. 1988, Seabed pockmarks and seepages, impact on geology, biology and marine environment, London, Graham and Trotman.
- Hovland, M. 1990, Do carbonate reefs form due to fluid seepage?, Terra Nova 2, 8-18.
- Hovland, M. and Thomsen, E. 1997, Cold-water corals-are they hydrocarbon seep related?, Mar. Geol. 137, 159-164.
- Hovland, M. and Risk, M. 2003, Do Norwegian deep-water coral reefs rely on seeping fluids?, Mar. Geol. 198, 83-96.
- Kruglyakova R., Gubanov, Y., Kruglyakov, V. and Prokoptsev, G. 2002, Assessment of technogenic and natural hydrocarbon supply into the Black Sea and seabed sediments, Cont. Shelf Res. 22, 2395-2407.
- Küçük, H.M., Dondurur, D., Çifçi, G. and Ergün, M. 2011, Distribution of BSRs and gas accumulations offshore of Zonguldak Region, Central Blacksea, European Geosciences Union, Vienna, Austria.
- Limonov, A.F., van Weering, C.E., Kenyon, N.H., Ivanov, M.K., and Meisner, L.B. 1997, Seabed morphology and gas venting in the Black Sea mudvolcano area: Observations with the MAK-1 deep-tow sidescan sonar and bottom profiler, Mar. Geol. 137, 121-136.
- Lüdmann, T., Wong, H.K., Konerding, P., Zillmer, M., Petersen, J., and Flüh, E. 2004, Heat flow and quantity of methane deduced from a gas hydrate field in the vicinity of the Dnieper Canyon, northwestern Black Sea, Geo-Mar. Lett. 24, 182-193.
- Mazzini, A., Ivanov, M.K., Parnell, J., Stadnitskaia, A., Cronin, B.T., Poludetkina, E. Mazurenko, L. and van Weering, T.C.E. 2004, Methane-related authigenic carbonates from the Black Sea: geochemical characterisation and relation to seeping fluids, Mar. Geol. 212, 153- 181.
- Menlikli, C., Demirer, A., Sipahioğlu, O., Korpe, L. and Aydemir, V. 2009, Exploration plays in the Turkish Black Sea, The Leading Edge, Special section: The Black Sea Region, 28, 1066-1075.
- Nikishin, A.M., Korotaev, M.V., Ershov, A.V. and Brunet, M. 2003, The Black Sea basin: tectonic history and Neogene-Quaternary rapid subsidence modeling, Sedimentary Geol. 156, 149-168.
- Okay, A.I., Şengör, A.M.C. and Görür, N. 1994. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions, Geology 22, 267-270.
- Okay, M. and Ediger, V. 1999, Seismic evidence of shallow gas in the sediment on the shelf off Trabzon, Southeastern Black Sea, Cont. Shelf Res. 19, 575-587.
- Özel, Ö., Dondurur, D., Gürçay, S., Okay, S., Küçük, H.M., Sarıtaş, H., Er, M., Korkmaz, M. and Çifçi, G. 2011, Gas and Gas Hydrate Accumulations on the Western Black Sea Continental Slope, 18th IPETGAS Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, Turkey.
- Popescu, I., Batist, M.D., Lericolais, G., Nouzé, H., Poort, J., Panin, N., Versteeg, W. and Gillet, H. 2006, Multiple bottom-simulating reflections in the Black Sea: Potential proxies of past climate conditions, Mar. Geol. 227, 163-176.
- Robinson, A.G., Rudat, J.H., Banks, C.J., and Wiles, R.L.F., 1996, Petroleum geology of the Black Sea, Mar. and Pet. Geol., 13, 195-223.
- Sarg, J.F. and Schuelke, J.S. 2003, Integrated seismic analysis of carbonate reservoirs: From the framework to the volume attributes, The Leading Edge 22, 640-645.
- Spadini, G., Robinson, A.G. and Cloetingh, S.A.P.L. 1996, Western versus eastern Black Sea tectonic evolution: pre-rift lithospheric controls on basin formation, Tectonophysics 266, 139-154
- Taner, M.T. 1978, Complex seismic trace analysis, Geophysics 44, 1041-1063.
- Tarı, E., Şahin, M., Barka, A., Reilinger, R., King, R.W., McClusky, S. and Prilepin, M. 2000, Active tectonics of the Black Sea with GPS, Earth Planets Space 52, 747-751.
- Woodroffe, C.D., Kennedy, D.M., Hopley, D., Rasmussen, C.E. and Smithers, S.G. 2000, Holocene reef growth in Torres Strait, Mar. Geol. 170, 331-346.
- Yubo, M., Shiguo, W., Fuliang, L., Dongdong, D., Qiliang, S., Yintao, L. and Mingfeng, G. 2011, Seismic characteristics and development of the Xisha carbonate platforms, northern margin of the South China Sea, Jour. of Asian Earth Sci. 40, 770-783.