

# GAZ HİDRATLAR VE ÖNEMİ: TÜRKİYE ÇEVRESİ DENİZLERDE GAZ HİDRAT VE SIĞ GAZ ARAMALARI

## GAS HYDRATES AND THEIR IMPORTANCE: INVESTIGATION OF GAS HYDRATES AND SHALLOW GAS IN SEAS AROUND TURKEY

**Neslihan OCAKOĞLU**

*İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa-İstanbul*

Yayına Geliş (Received): 26.01.09, Yayına Kabul (Accepted): 28.05.09

**ÖZ :** Gaz hidratlar su ve hafif doğal gazların ki genellikle metan gazı, karışımından doğal yolla oluşan kristal yapıli katılardır. Gaz hidratların ayrışması sonucu açığa çıkan yüksek hacimli metan gazı geleceğin potansiyel enerji kaynağı olarak görülmekle birlikte; küresel iklim değışikliklerinde de potansiyel bir role sahiptir. Bu sebeplerden dolayı, gaz hidratların hem doğasını anlamaya yönelik hem de dünyadaki potansiyel gaz hidrat rezervlerini araştırmaya yönelik çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar göstermiştir ki, karalarda ve denizlerde gaz hidratların oluşumunu ve kararlılık zonlarını (GHKZ) etkileyen temel parametreler; basınç, sıcaklık, jeotermal gradyan, gaz bileşimi, ortamın gözenekliliği, gözenek suyu tuzluluğu ve gaz doygunluğunun derecesidir. Sismik ve akustik yöntemler gaz hidratların aranmasında yaygın olarak kullanılırlar. BSR yansımaları sismik kesitlerde gaz hidratların göstergesi olarak bilinir. Ayrıca, sismik yöntemlerin yetersiz olduğu durumlarda Doğru Akım Elektrik Özdirenç (DCR) ve Kontrollü Kaynak Elektromanyetik Yöntemler (CSEM) kullanılır. Türkiye çevresindeki denizler genellikle siğ derinliklerde yüksek oranda gaz hidrat ve hidratın altında kapanlanan serbest gaz potansiyeline sahiptir. Karadeniz ve Akdeniz’de gaz hidratla ilişkili olarak çok sayıda BSR seviyesi, gaz bacaları, gaz sızıntıları, gaz cepleri, çamur volkanları, çamur diapirleri keşfedilmiştir. Marmara Denizi ve Ege Denizi’nde ise nispeten daha az sayıda çalışma mevcuttur.

**Anahtar Kelimeler:** Gaz hidratlar, enerji kaynağı, iklimsel etki, BSR, sismik yöntemler.

**ABSTRACT :** Gas hydrates are naturally occurring crystalline solids that form mixtures of water and light natural gases, generally methane. Methane which is released by huge volumes when gas hydrates decompose, is a potential future energy source and also has a potential role in global climate change. For these reasons, numerous studies have been performed both to understand the nature of gas hydrates and to investigate their potential reservoir areas in the Earth. Studies show that pressure, temperature, geothermal gradient, composition of the gas, structure of the porous medium, pore water salinity, degree of gas saturation are the main parameters effecting hydrate occurrence and Gas Hydrate Stability Zones (GHSZ) on land and offshore. Seismic and acoustic methods are widely used to investigate gas hydrates. Bottom Simulating Reflectors (BSR’s) on seismic sections are known as indicators of gas hydrates. Moreover, Direct Current Resistivity Method (DCR) and Controlled Source Electromagnetic methods (CSEM) are applied where seismic methods are insufficient. The seas around Turkey, generally shallower depths have high gas hydrate and shallow free gas potential trapped beneath gas hydrates. Many BSR’s, gas chimneys, gas seeps, gas pockets, mud volcanoes, mud diapirs are discovered in Black Sea and Mediterranean. On the other hand, The Marmara Sea and The Aegean Sea have been focused by few studies.

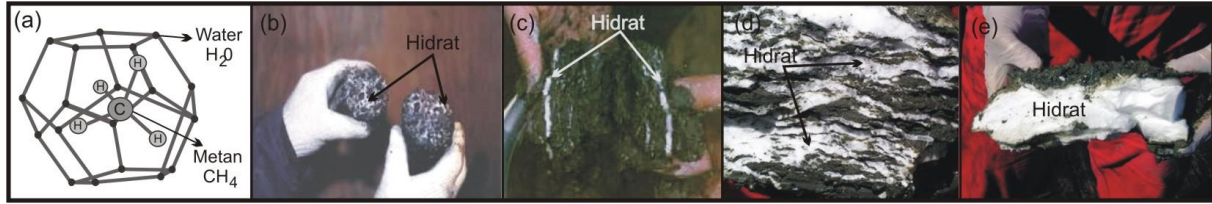
**Key Words:** Gas hydrates, energy source, climatic effect, BSR, seismic methods.

## GİRİŞ

Gaz hidratlar; düşük sıcaklık ve yüksek basınç altında, düşük moleküler ağırlıklı gazların, su molekülleri tarafından bir kafes yapısı içerisinde tutulmasıyla oluşan donmuş buza benzeyen, çoğunlukla beyaz renkli kırılğan kristalin oluşumlardır. Su molekülleri ( $H_2O$ ) tarafından hapsolan gaz %99 oranla metan gazı ( $CH_4$ ) olduğundan gaz hidratlar metan hidratlar ya da kafes yapılarından dolayı klatratlar olarak da isimlendirilirler (Sloan, 1990).

Metan gazı ortamdaki kumlu, killi, siltli vb. birimlerden oluşan sedimanların taneler arası boşluklarına hapsolarak yumru, şerit, tabakalı ve masif halde 5-10 cm'den birkaç metreye ulaşan kalınlıkta

hidrat yapıları oluşturur (Şekil 1). Gaz hidratlar kafes yapılarına göre 3 türe ayrılırlar. Bunlardan 1. tür en yaygın olanıdır ve 46 su molekülü ile 8 metan molekülü içerir. Bu türün içerisinde metan gazı dışında daha az oranlarda etan ( $C_2H_6$ ), hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) ve karbondioksit ( $CO_2$ ) gibi hidrokarbon kökenli ve hidrokarbon kökenli olmayan gazlar da bulunabilir. 2. ve 3. türler ise daha yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbon gazlarından oluşan ve daha karmaşık kafes yapısına sahip gaz hidrat türleridir. Bunlardan 2. tür 136 su molekülü ve bütan ( $C_4H_{10}$ ) pentan ( $C_5H_{12}$ ) gibi gazlar içerir. (Kvenvolden ve McMenamin, 1980; Sloan, 1990; Kvenvolden, 1995).



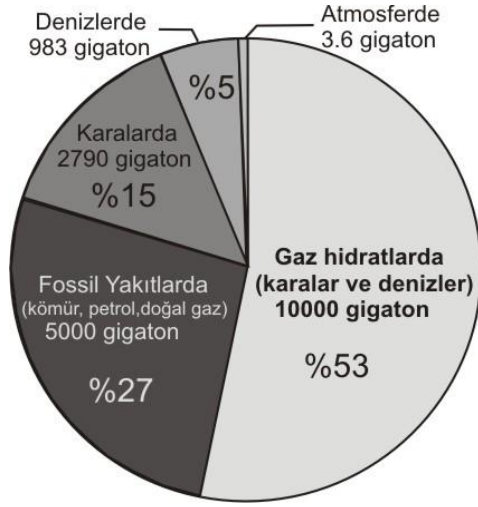
**Şekil 1:** (a) Gaz hidrat kafes yapısı (USGS, 2006'dan değiştirilerek), (b), (c), (d) ve (e) gaz hidrat numüneleri (USGS, 2004 ve GEOMAR, 2000'den değiştirilerek).

**Figure 1:** (a) Gas-hydrate cage (modified from USGS, 2006), (b), (c), (d) and (e) gas hydrate samples (modified from USGS, 2004 and GEOMAR, 2000).

Birinci tür gaz hidratlardaki metan gazının kökeni genellikle biyojeniktir. Biyojenik kökenli metan gazı sığ denizel ortamlarda organik birikintilerin; yeni çökelen maddeler ile örtülmesi ve ortamın hava ile temasının kesilmesi sonucu, oksijensiz kalan bu ortamda yaşayabilen bakteriler ve diğer canlı organizmalar tarafından biyolojik alterasyona uğraması ile oluşur (Sloan, 1990). Denizlerde biyojenik kökenli metan gazının oluşabilmesi için yüksek bir sedimantasyon hızına (30 m/yıl) ve en az %0.5 toplam organik karbon (TOC) değerine ihtiyaç vardır (Rice and Claypool, 1981). İkinci tür gaz hidratlardaki metan gazının kökeni ise termojeniktir. Termojenik metan gazı jeolojik zamanlar boyunca derinlere gömülen organik materyalin sıcaklığın artmasına bağlı olarak olgunlaşması ve petrol ve doğal gaz oluşturmasının bir sonucudur. Oluşan bu gaz ve sıvılar derinlerden fay ve kırık sistemleri ile yukarılara taşınmakta ve yeterli miktarı gaz hidrat kararlılık zonuna (GHKZ) ulaştığında

hidrata dönüşmektedir (Sloan, 1990). Gaz hidratlar içerisindeki metan gazı doğal gaz olarak bilinir. Doğal gazın varlığı, hem önemli bir enerji kaynağına işaret etmekte hem de gazın termojenik kökenli olması durumunda derinlerdeki hidrokarbon aramaları için bir rehber niteliği taşımaktadır.

Dünya nüfusunun hızla artması ve enerji kaynaklarının çok yakın bir gelecekte artan ihtiyaca cevap veremeyeceği uyarısı; sadece  $1 m^3$ 'ünde standart basınç ve sıcaklık koşullarında (1 atm basınç,  $0^\circ C$  sıcaklık) yaklaşık olarak  $0.8 m^3$  su ve  $164 m^3$  gibi yüksek bir oranda doğal gaz içeren gaz hidratı geleceğin enerji kaynağı olarak göstermeye yetmektedir (Sloan, 1998). Dünya ölçeğinde kara ve denizlerde bulunan gaz hidrat rezervlerinde varolan tahmini metan karbon miktarı (10.000 Gt), günümüzde kullanılan kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların içerdiği karbon miktarının (5.000 Gt) yaklaşık iki katıdır (Kvenvolden, 1993, Collett, 2002; Şekil 2).



**Şekil 2:** Dünya üzerinde organik karbonun dağılımı (Kvenvolden, 1988 ve USGS, 1992'den değiştirilerek).

**Figure 2:** Distribution of organic carbon in the Earth (modified from Kvenvolden, 1988 and USGS, 1992).

Fosil yakıtlara oranla daha temiz bir enerji kaynağı olarak görülen bu büyük rezervin iklimsel süreçler üzerindeki etkisi ise oldukça tartışmalıdır. Araştırmacılar, geçmişte ve günümüzde sıcaklık artışı ve deniz seviyesindeki yükselmelere bağlı olarak hidrat rezervlerinin kararlı kalamayıp ayrıştığını; böylece açığa çıkan metan gazının atmosfere yayılarak sera etkisi yarattığını ve buna bağlı olarak da iklimsel süreçlerde uzun vadeli ya da katastrofik değişimler gerçekleştiğini öne sürmüşlerdir (Paull vd., 1991; Dillon vd., 1998; Amos 2006). Dickens vd. (1995) Paleosen sonundaki hızlı küresel sıcaklık artışlarından; Nisbet (1990) daha yakın dönemde Kuvaterner'deki son buzul çağının sona ermesinden gaz hidratlarda oluşan bu çözülme sorumlu tutmaktadırlar. Haq (1997), Antarktika buzul karotlarında atmosferdeki metan gazının artışı ile küresel ısınma trendinin birbirine paralel olduğunu ve alınan bir numunede sera etkisi yapan gazların günümüzde son 420.000 yıla oranla en yüksek seviyede olduğunu göstermiştir. Şüphesiz dünya üzerinde son 30 yılda endüstriyel gelişmeye bağlı olarak fosil yakıtların yanması ile açığa çıkan karbondioksit gazının da bu katkıdaki payı oldukça büyüktür. Bu açıdan bakıldığında geleceğin enerji kaynağı olarak görülen gaz hidratların da aynı amaçlara hizmet etmesi durumunda atmosfere büyük oranlarda karbondioksit salınımı kaçınılmaz olacaktır. Gaz hidratların iklimsel süreçler üzerindeki bu olumsuz etkilerine karşı görüşlerde mevcuttur. Dimitrov (2002), Schmale vd. (2005) gaz hidratların katastrofik bir şekilde çözülmesine bağlı olarak açığa çıkan metan gazının, sıg ve oksijenli sularda, bu suların bariyer etkisine bağlı

olarak yüzeye ve oradan da atmosfere kadar yükselemeyeceğini öne sürmüşlerdir. Örneğin Reeburgh vd. (1991), Karadeniz'deki metan döngüsüne bağlı olarak varolan metanın ancak %1.5 gibi küçük bir oranının atmosfere ulaştığını öne sürmüştür.

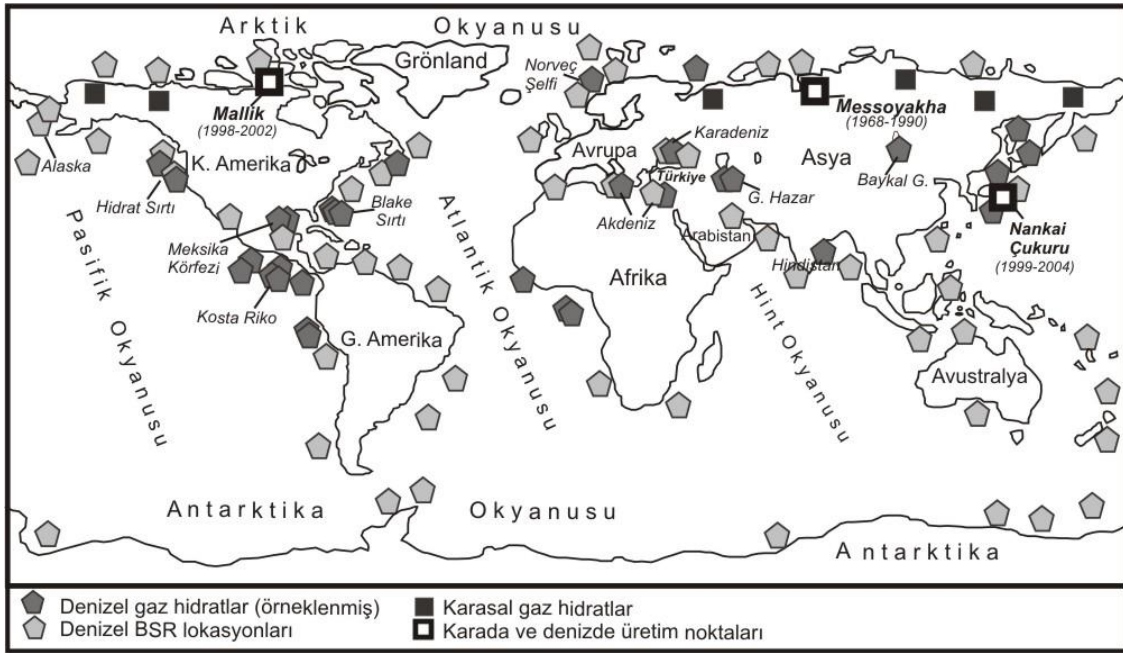
Gaz hidratların iklimsel süreçler dışında diğer etkilerinden biri de kıta yamaçlarındaki çökelleri duraysız hale getirebilmesidir. Kayma düzlemleri ile aynı derinliklerde oluşan hidratlar çözülünce sedimanlardaki basınç artmakta, duraylılık azalmakta ve çökeller akıcı hale gelmektedir; böylece heyelan ve kaymalar oluşmaktadır (Pecher vd., 2005). Bu heyelanların tsunami yaratma riski olabilir. Dünya üzerinde Norveç kıta yamacında bu tür heyelanlar (Bugge vd., 1987) gözlenmiştir. Oluşan bu mega heyelanlardan biri İskoçya kıyılarında 4 m yüksekliğinde tsunami dalgası oluşturmuştur (Nisbet and Piper, 1998). Gaz hidratların diğer bir çevresel etkisi ise deniz tabanında hidrata bağlı gaz çıkışlarının olduğu bölgelerde çıkan gazlarla beslenen çok küçük yaşam topluluklarının (mikroorganizmaların) varlığını sürdürmesine imkan tanınmasıdır.

Yerküre üzerinde hem yaşamsal hem de iklimsel ve çevresel etkileri büyük olan gaz hidratlar ilk kez laboratuvar koşullarında keşfedilmiştir. Faraday ve Davy (1823) ve Makogon vd. (2007)'ye göre bu çalışmalar 18. yy'ın son çeyreğinde kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) hidratın ve 19. yy'ın ilk döneminde klorin-su karışımı üzerinde yapılan deneyler sonucu klorin (Cl<sub>2</sub>) hidratın bulunması ile başlamıştır. Daha sonra 20. yy'a kadar araştırmacılar hidrati oluşturan bileşenleri ve oluşum koşullarını araştırmışlardır. 1934'de endüstride yüksek basınçlı borularda meydana gelen donmalardan yola çıkılarak doğal ortamda hidratın varlığı ortaya konulmuştur (Makogon vd., 2007). Bu dönemde Avrupa'da ise 1950'lerde hidratın yapısı x-ray cihazı ile incelenmiş ve hidrati oluşturan termodinamik model hesaplanmıştır (Makogon vd., 2007). 1965 yılında doğal gaz hidratların Makogon tarafından Rusya'daki bir sondaj sırasında ilk defa keşfedilmesinden sonra, gaz hidrat çalışmaları için yeni bir dönem başlamıştır (Makogon, 1965). 1970 yılında kuzey Rusya'da Messoyakha gaz hidrat sahasında gaz üretimine geçilmesi ile birlikte diğer dünya ülkelerinde de gaz hidrat araştırmalarına hız verilmiş; 1982'de Amerika, 1995'de Japonya, 1996'da Hindistan, 1999'da Kore; 2004'de Çin ve 2005'den günümüze Hindistan, Kore, Amerika, Kanada, Rusya, Norveç, İngiltere, Almanya, Yeni Zelanda gibi ülkeler büyük bütçeli doğal gaz hidrat arama projelerini uygulamaya koymuşlardır (Makogon vd., 2007). Son 30 yılda gerçekleştirilen bu projelerden yaklaşık 7000'den fazla yayınlanmış makale bulunmaktadır (Makogon, 1997).

Yapılan çalışmalar, gaz hidratların dünya üzerinde yaygın olarak karalarda Alaska ve Sibirya gibi

donmuş (permafrost) alanlarda, yüzeyden yaklaşık 300-400 ile 3000 m derinlikler arasında yer aldığı göstermektedir. Denizel alanlarda ise gaz hidratlara, pasif ve aktif kıta kenarlarında, derin denizel alanlarda, yaklaşan levha sınırlarındaki yığılma prizmalarında, kıtasal yamaç ve şelflerde, kutupsal alanlarda çamur volkanlarının olduğu alanlarda batimetrisinin yaklaşık 300-500 m’lerden 2500 m’ye derinleştiği bölgelerde rastlanmaktadır (Şekil 3) (Makogon, 1974; Makogon vd., 2007). Şekil 3’deki dünya haritasında sözü edilen bölgelerde karasal ve denizel gaz hidrat lokasyonlarının büyük bir kısmı gerek karada, gerekse denizde ODP ve DSDP projeleri kapsamında gerçekleştirilen derin sondajlarla örneklenmiştir. Haritada ayrıca, denizlerde sismik veri üzerinde gaz hidratın varlığını gösteren “Tabana Benzeyen Yansıtıcı (Bottom Simulating

Reflector-BSR)” lokasyonları ve gaz üretimi yapılan bölgeler de yer almaktadır. BSR yansıma seviyesi, gaz hidrat içeren sedimanların tabanından gelen kuvvetli sismik yansıma yüzeyini ifade etmektedir. BSR seviyesinin altında ise genellikle serbest gaz bulunur ve bugün dünya ölçeğinde gaz hidrattan yapılan üretim hidrattan altındaki bu serbest gazın çıkarılması şeklindedir. Kuzey Amerika’da Mallik rezervuarında, kuzey Rusya’da Messoyakha sahasında ve Japonya açıkları Nankai Çukuru’nda bu tür üretim gerçekleştirilmektedir (Şekil 3). Varolan gaz hidrat rezervlerinden üretimin ise gerekli teknolojinin gelişmesine bağlı olarak karalarda 2015 yılından, denizlerde ise 2030 yılından önce mümkün olamayacağı öngörülmektedir (Grauls, 2001).



Şekil 3: Dünya gaz hidrat haritası (USGS, 2004 ve MMS, 2008’den değiştirilerek).

Figure 3: World gas hydrate map (modified from USGS, 2004 and MMS, 2008).

Dünya üzerinde son yüzyılda yapılan ve yukarıda kısaca değinilen tüm bu çalışmalar, gaz hidratların geleceğimizde hem enerji kaynağı olarak hem de iklimsel ve çevresel etkiler olarak önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada başta gaz hidratların genel özellikleri olmak üzere hangi koşullarda oluşup kararlı kalabileceğine ve hangi jeofizik yöntemler ile araştırıldığına dair yaklaşık yüzü aşkın araştırma dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, Türkiye’yi çevreleyen denizlerde son 30 yılda yapılan gaz hidrat ve hidratla ilişkili olarak sığ gaz aramalarına değinilmiş ve sözü edilen tüm bu

arama ve keşif faaliyetleri ilk defa bir harita üzerinde toplanarak ulusal yerbilim camiasına sunulmuştur. Bu araştırmanın, Türkiye ölçeğinde bugüne değin gaz hidrat aramalarında hangi noktada olduğumuzu belirtmesi dışında, halen sürmekte olan ya da gelecekte yapılması planlanan yeni gaz hidrat aramalarına da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

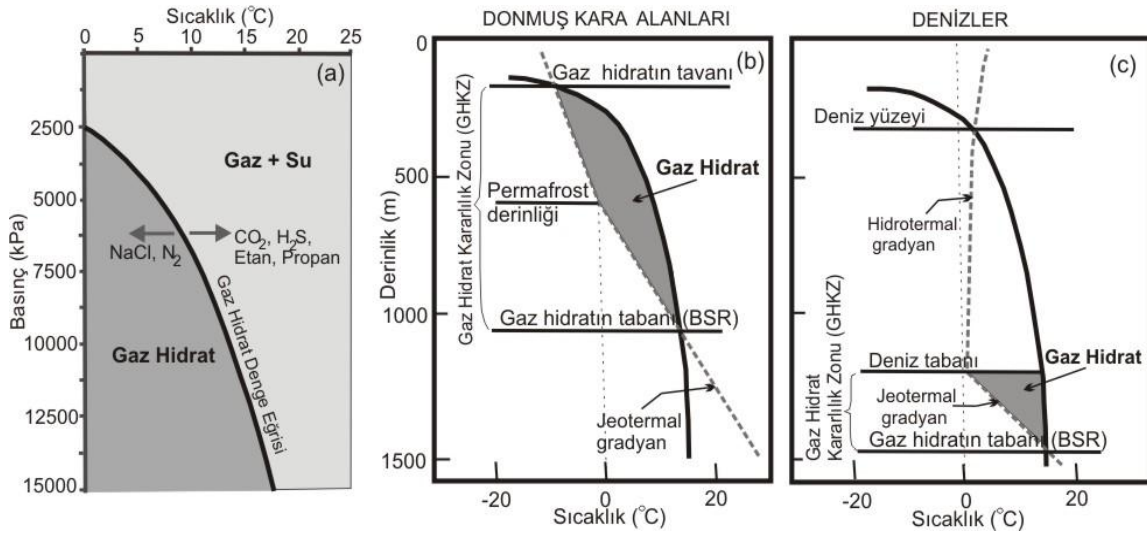
### GAZ HİDRATLARIN OLUŞUM VE KARARLILIK KOŞULLARI

Gaz hidratların oluşumu ve kararlılığında rol oynayan en önemli iki parametre basınç ve sıcaklıktır.



Şekil 4a'daki basınç ve sıcaklığa bağlı gaz hidrat denge eğrisine göre; basınç arttıkça, diğer bir deyişle derinlik arttıkça, gaz hidratlar daha yüksek sıcaklıklarda oluşabilmektedir (Şekil 4a, denge eğrisinin sol tarafı). Hidratı oluşturacak basınç değerinde bir düşme ve/veya sıcaklıkta bir yükselme olduğunda gaz hidrat yapısı bozulur ve metan gazı ve su olarak iki faz durumuna geçer (Şekil 4a, denge eğrisinin sağ tarafı). Gaz hidrat içerisindeki metan gazı dışındaki gazlar da denge eğrisinin konumunda önemli bir rol oynar. Etan, propan,

H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> gibi gazlar, Şekil 4'de yer alan denge eğrisinin sağa (yüksek sıcaklık/düşük basınç şartları); gaz hidratı oluşturan suyun tuzluluğunun artması ve nitrojen gazı ise denge eğrisinin sola (düşük sıcaklık/yüksek basınç) kaymasına neden olur (Şekil 4a). Saf metan hidratları; metan-etan, metan-propan, metan-CO<sub>2</sub> vb. karışımlardan oluşan hidratlara göre daha yüksek basınç ve düşük sıcaklık koşullarında kararlıdır. Gaz hidrat denge eğrisine jeotermal gradyanın (yaklaşık 30°C km<sup>-1</sup> artış miktarı) eklenmesi



**Şekil 4:** (a) Gaz hidrat denge eğrisi. (b) Donmuş (permafrost) kara alanlarında, (c) denizlerde gaz hidratın kararlı olduğu zonlar (Kvenvolden 1988'den değiştirilerek).

**Figure 4:** (a) Gas hydrate equilibrium curve. Gas hydrate stability zones in (b) Permafrost, (c) offshore areas (modified from Kvenvolden, 1988).

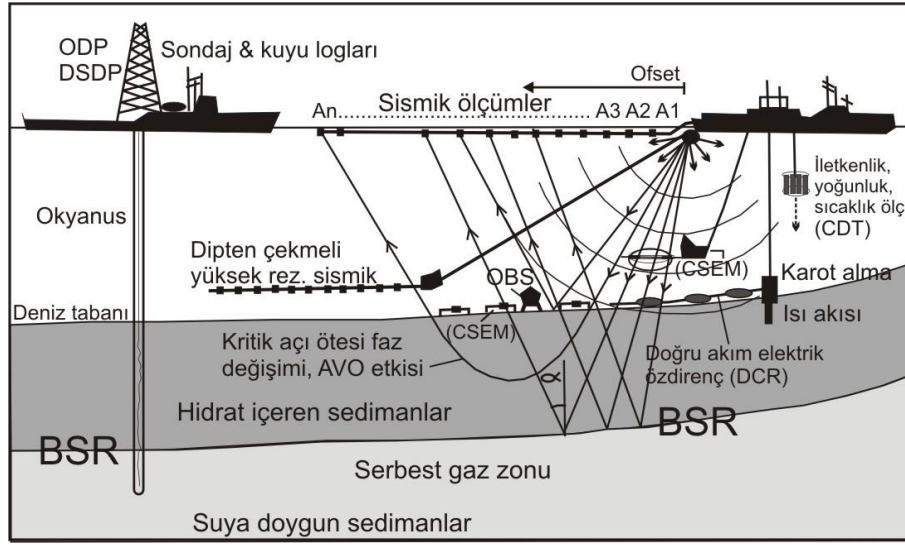
ile gaz hidratın donmuş kara alanlarında ve denizlerde kararlı olduğu zonun üst ve alt sınırlarını belirlemek mümkün olmaktadır. Sözü edilen bütün bu faktörler dünya üzerinde bölgeden bölgeye değişiklik gösterdiğinden her bir gaz hidrat alanının kendine özgü bir gaz hidrat denge eğrisi ve kararlı olduğu bir zon (GHKZ) mevcuttur. Şekil 4b ve 4c'de, Kvenvolden (1988)'den alınan dünya üzerindeki kara ve deniz gaz hidrat alanındaki örnekler göre GHKZ'nun üst sınırı; donmuş kara alanında -10°C jeotermal sıcaklık değerindeki birkaç yüz metre derinlikte ve alt sınırı ise yaklaşık 15°C jeotermal sıcaklık değerinde 1 km'yi aşan derinliklerde temsil edilmektedir. Denizde ise GHKZ'nun üst sınırı, jeotermal sıcaklığın 0°C'nin birkaç derece üzerinde olduğu deniz tabanı ile temsil edilmekte, alt sınırı ise yaklaşık 15°C jeotermal sıcaklık değerindeki 1,5 km'yi aşan derinliklere karşılık gelmektedir (Şekil 4c). Denizlerde karalardan farklı olarak su sıcaklığı ve su derinliği de GHKZ'nun

oluşumunda önemli rol oynar. Genel anlamda su derinliği arttıkça hidrat zonunun kalınlığı da artmaktadır. Ayrıca gaz hidrat oluşumunda GHKZ içerisine yeterli miktarda gaz ve su göçünün kritik rol oynadığı belirlenmiştir. Karalarda ve denizlerde GHKZ'nun alt sınırı BSR seviyesi olarak isimlendirilir ve bu seviyenin altında jeotermal gradyana bağlı olarak sıcaklık koşullarının, gaz hidrat kararlılık koşullarını aşması nedeniyle hidrat oluşumu gözlenmez; onun yerine çoğunlukla serbest metan gazı bulunur (Şekil 4b ve 4c). Eğer GHKZ'ndeki hidrat, içinde bulunduğu çökel kayaların tüm gözeneklerini dolduruyor ise altında bulunan serbest gazın üzerinde geçirimsiz bir örtü etkisi göstermekte ve bu gazın yukarılara göçüne engel olmaktadır. Öte yandan gözeneklerde hidrat tarafından %100 geçirimsizlik etkisi yoksa BSR seviyesinin altındaki serbest gaz yukarılara göç etmekte ve karalarda ve denizlerde gaz çıkışları olarak gözlenmektedir (Judd ve Hovland, 2007).

### GAZ HİDRATLARIN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Gaz hidratlar içerisinde buldukları tortulların akustik özelliklerini büyük ölçüde değiştirdiklerinden yaygın olarak sismik yöntemlerle araştırılırlar. Gaz hidratların arandığı hedef derinliğe ve çözünürlüğe bağlı olarak karada ve denizde çok kanallı, tek kanallı, denizde dipten çekmeli sismik yansımaya yöntemleri; ortamın derinlik ve hız yapısını modellemek için karada ve denizde (okyanus dibi sismometrelerle, OBS) sismik kırılma ölçümleri yapılmaktadır. Özellikle deniz

araştırmalarında deniz tabanından su kolonuna doğru hidrat zonuna bağlı gaz çıkışlarını gözlemlemek amacıyla yandan taramalı sonar, çok ışınlı batimetri gibi çok yüksek çözünürlüklü akustik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin deniz uygulamaları Şekil 5'te şematik olarak gösterilmektedir. Sismik yansımaya kesitlerinde BSR seviyesi, gaz hidrat zonunun tabanını işaret eden kuvvetli bir yansımaya ile temsil edilir. Yansımaya genliğinin büyüklüğü iki ortam arasındaki akustik empedans (hız - yoğunluk çarpımı) farklarına bağlı olarak hesaplanır. Üstteki gözenekli ka-



**Şekil 5:** Denizlerde gaz hidrat aramalarında kullanılan jeofizik yöntemler (Hyndman, vd., 2007'den değiştirilerek).  
**Figure 5:** Geophysical methods applied for marine gas hydrate investigations (Modified from Hyndman et al., 2007).

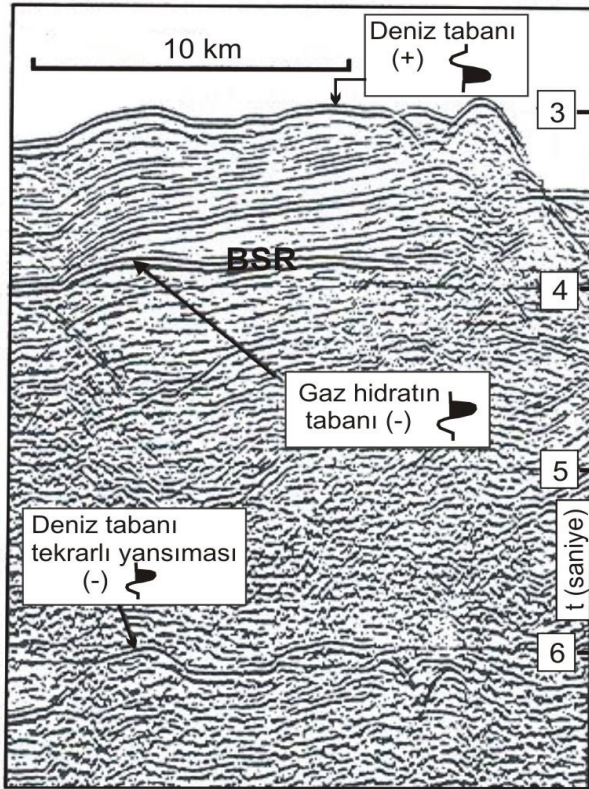
yaçta gözenekliliğin hidratın geçirimsizlik etkisine bağlı olarak azalması, P dalgasının hızını arttırmaktadır. BSR düzeyinin altında ise gaz içeren gevşek tortul birimlerin P dalga hızı, üst ortama oranla oldukça düşüktür. Böylece ortamların akustik empedans farkına bağlı olarak gelişen ve deniz tabanı yansımaya polaritesine göre ters polariteli yansımaya gösteren BSR seviyesi yansımaya katsayısı büyük negatif bir değer alır (Yuan vd., 1996). Çizelge 1'de söz konusu ortamlar için yapılan hız ve yoğunluk sınıflamasına göre saf hidratın; hidrat içeren tortullara, ya da gaz veya suya doymuş tortullara oranla oldukça yüksek P ve S dalga hızına sahip olduğu görülmektedir. BSR seviyesi deniz tabanı yansımaya seviyesini yaklaşık olarak taklit etmesi sebebiyle 'Tabana Benzeyen Yansıtıcı' (Bottom Simulating Reflector, BSR) olarak adlandırılır (Şekil 6). BSR seviyesi tamamıyla gaz hidrat oluşumu için gerekli olan termodinamik koşulların sebep olduğu bir yansımaya seviyesi olup; stratigrafik veya yapısal anlamda herhangi bir yüzeyi ifade etmemektedir. Örneğin normal stratigrafik birimlere ait tabakaların eğimli olması durumunda BSR seviyesi bu birimleri kesmektedir

(Şekil 6). Burada dikkat edilmesi gereken husus BSR yansımaya seviyesinin şekil itibarı ile kendine benzeyen deniz tabanı tekrarlı yansımaları ile karıştırılmamasıdır (Şekil 6). Yansımaya kesitlerinde BSR seviyesinin ayırdığı gaz hidrat ve serbest gaz içeren ortamların yansımaya özelliklerinde de farklılıklar görülmektedir. Örneğin yumuşak killi birimlerden oluşan ya da hidratın geçirimsizlik etkisinin fazla olduğu bir ortamda üstteki hidrat içeren çökeller litolojik olarak göreceli bir homojenliğe sahip olacağından, bu birimlerden gelen yansımalar daha sığdaki çökellere göre daha zayıf ve belirsiz olacaktır (Akustik örtü). Öte yandan ortamın hidrat doymunluğu azaldıkça ve litoloji heterojenliği arttıkça yansımalar daha belirginleşir. Hidrat katmanının altındaki gazlı birimlerde ise ortamın soğurma etkisine bağlı olarak sismik yansımaların genliği azalır ve bu alanlar akustik örtü, akustik bulanıklık gibi yansımaya terimleri ile ifade edilir. Buna karşılık hidratların altında yer alan gaz içeren tortulların alt sınırlarında ise yine yüksek bir akustik empedans farkı meydana geldiğinden dolayı kuvvetli yansımalar görülür (Garcia-Gil vd., 2002).

**Çizelge 1:** Hidratların akustik özellikleri (Anderson, 1992 ve Prenskey, 1995'den değiştirilerek).

**Table 1:** Acoustic properties of hydrates (modified from Anderson, 1992 and Prenskey, 1995).

Parametre	Suya doymun	Hidrat içeren	Saf hidrat	Gaz içeren
P dalga hızı (m/sn)	1600-2500	2000-4500	3250-3600	≤1450
S dalga hızı (m/sn)	380-390	700-1560	1650	--
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1.26-2.42	1.15-2.4	0.912	--



**Şekil 6:** Yeni Zelanda açıklarından alınan bir sismik kesitte BSR yansıması (Katz, 1981'den değiştirilerek).

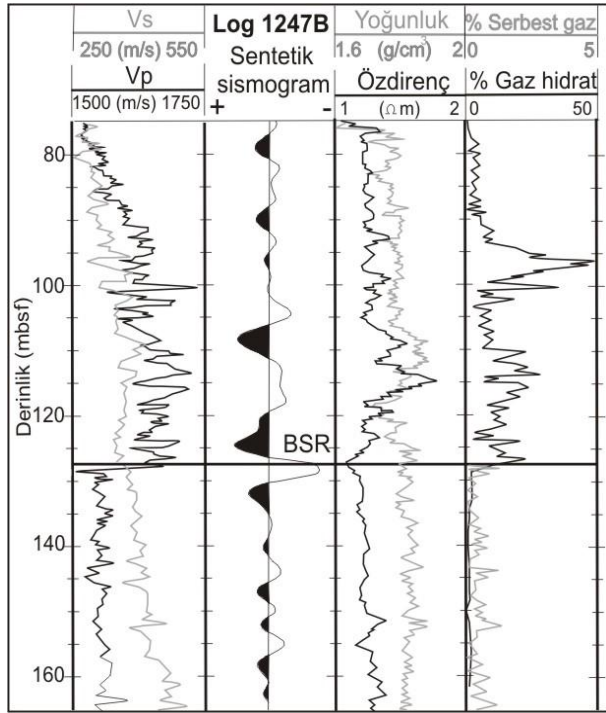
**Figure 6:** BSR reflection in a seismic section from offshore New Zeland (modified from Katz, 1981).

Yerinde ölçümlerin yapılamaması nedeniyle, gaz hidrat içeren ortamın sismik özellikleri AVO analizi (ofsete bağlı genlik değişimi) ile incelenebilir. BSR seviyesinin AVO etkisi oldukça belirgindir. BSR yansıma genliğinin artan ofsete göre olan değişimi, lineer olmayan bir eğri ile ifade edilir ve uzak ofsetlerde yansıma genliğinde hızlı artışlar gözlenirken, dalga formunda faz değişmesi gerçekleşir (Rutherford ve Williams, 1989; Hyndman ve Dallimore, 2001). AVO analizi ile sismik yağma öncesi verinin ters çözümü ile gaz hidrat ve serbest gaz içeren ortamların P ve S dalga hızlarını, poisson oranını, gözenekliliğini hidrat ve gaz

doymunluklarını hesaplamak mümkün olmaktadır (Tinivella and Carcione, 2001; Dai vd., 2004). Yansıma gücü, anlık frekans, anlık faz, fazın sinüsü, fazın kosinüsü gibi karmaşık sismik iz nitelik analizleri de yine BSR oluşumuna sebep olan ortamların ve BSR yansıma seviyesinin tanımlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Sismik hızlar genellikle gaz hidrat değişiminin keskin olduğu sınırları ayırt etmekte duyarlıdır. Ortamdaki gaz hidrat doymunluğu kademeli bir şekilde arttığında sismik hızlar duyarsızlaşır. Bu durumda karada ve denizde yapılan Doğru Akım Elektrik Özdirenç (DCR) Yöntemi ve özellikle sıg hidrat oluşumlarında frekans ortamı Kontrollü Kaynak Elektromanyetik Yöntem (CSEM) başarılı bir şekilde uygulanabilir (Şekil 5). Özdirenç parametresi hidrat doymunluğunun dereceli olarak değişimine duyarlıdır. Dunbar (2007), Mississippi kanyonunda yapmış olduğu DCR ölçümlerinde hidrat içeren sedimanların özdirençinin (2-100 ohm-m), gözeneklerinde su içeren sedimanların özdirenç değişim aralığına (0.5-1 ohm-m) kıyasla oldukça yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Sözkonusu yöntemler ile GHKZ'nun sınırlarını belirlemekte mümkün olmaktadır. Zaman ve maliyet açısından sismik yöntemlere oranla çok daha ekonomik olan EM ve elektrik yöntemler gaz hidrat alanlarının 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellenmesinde uygulanmaktadır. Ayrıca yine sismik yansıma yönteminin jeolojik yapıdan kaynaklanan yetersizliklerinde örneğin tuz domlarının olduğu alanlarda görülen gaz hidrat yapılarının tayininde DCR ve CSEM yöntemleri başarılı olarak uygulanabilmektedir (Weitemeyer vd., 2006; Dunbar, 2007). Karada ve denizde yapılan sondajlar ve bu sondajlarda alınan kuyu logları da gaz hidrat alanlarındaki hidrat ve gaz konsantrasyonlarının, yoğunluk ve elektrik özdirenç değişimlerinin, sismik P ve S dalgaları yayılım hızları değişimlerinin vb. diğer fiziksel parametrelerin tespitine imkan tanımaktadır. Şekil 7'de ODP programı çerçevesinde Guerin vd. (2006)'nin Hidrat Sırtı'nda almış olduğu bir sonik log örneğinde üstteki gaz hidrat katmanında yüksek olan P ve S dalga hızları, elektrik özdirenç ve yoğunluk değerlerinin; alttaki serbest gaz katmanına geçişte düştüğü görülmektedir.





**Şekil 7:** ODP programı çerçevesinde Hidrat Sırtı'ndan alınan bir sonik log örneği (Log- 1247B) (Guerin vd., 2006'dan değiştirilerek).

**Figure 7:** An example of sonic log (log-1247B) which was recorded during Ocean Drilling Program (ODP) across Hydrate Ridge (Modified from Guerin et al., 2006).

Denizel ortamda yapılan gaz hidrat araştırmalarında su kolonuna sızan gazın, suyun iletkenlik yoğunluk ve sıcaklık parametrelerinde yapmış olduğu değişimler su kolonunda belirli derinliklerde yapılan CDT (Conductivity-Density-Temperature) ölçümleri ile tespit edilir. Karada ve denizde karot alımı ve ısı akısı ölçümleri yine gaz hidratların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması açısından önemlidir (Şekil 5). Isı akısı ölçümleri ile bölgenin termal rejimi dolayısıyla hidratın kararlı olduğu derinlikler tespit edilebilmektedir. Bu ölçümler doğrudan yapılabildiği gibi dolaylı olarak sismik verilerden de hesaplanabilmektedir (Yamano vd., 1982; Vanneste vd., 2002).

## TÜRKİYE ÇEVRESİ DENİZLERİNİN GAZ HİDRAT VE SIĞ GAZ POTANSİYELİ

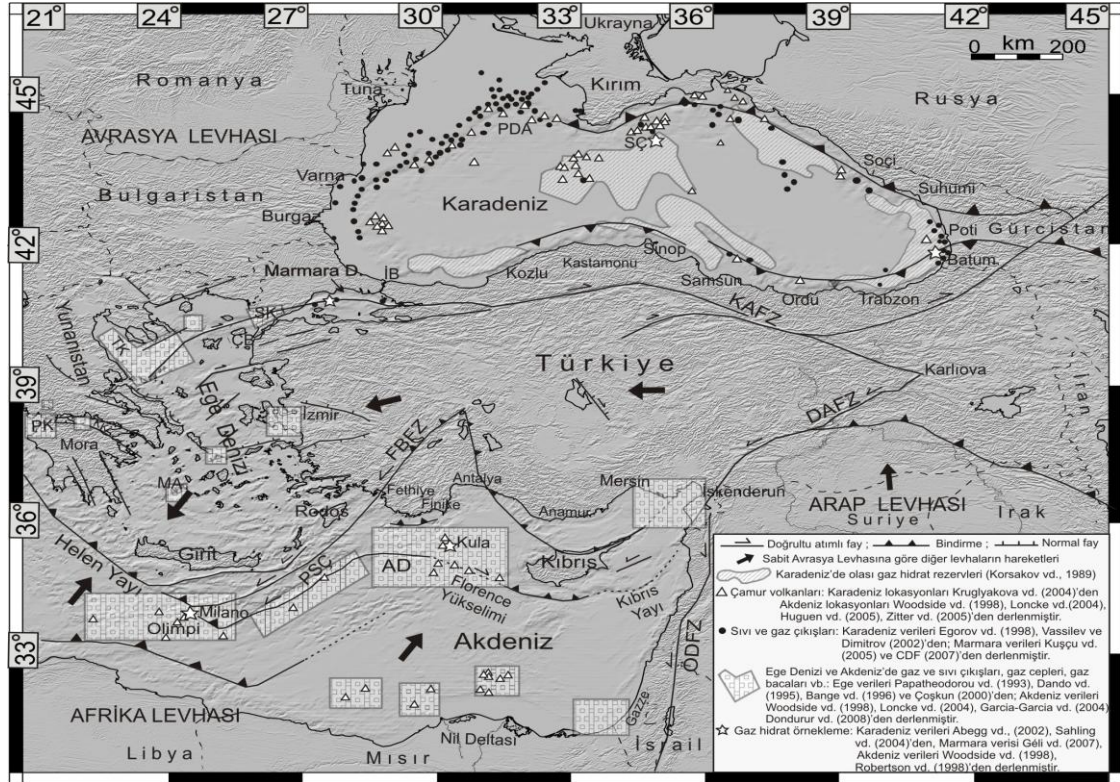
Son yıllarda Türkiye'yi çevreleyen denizlerde gaz hidrat ve hidrata bağlı siğ gaz araştırmaları hız kazanmış ve başta Karadeniz olmak üzere Akdeniz, Marmara Denizi ve Ege Denizi'nde önemli rezervler ortaya çıkarılmıştır. Ülkemiz kıyılarında şelf ve açık denizde ve uluslararası sularda özellikle sismik ve akustik yöntemlerle yapılan bu aramalarda gaz hidrat ve

altındaki siğ gaz rezervleriyle ilişkili olarak; BSR yansımaları, çamur volkanları, çamur diapirleri, gaz cepleri, gaz bacaları, gaz sızıntıları vb. yapılar gözlemlenmiş ve bazı lokasyonlarda alınan numuneler ile gaz hidratın varlığı ispatlanmıştır. Türkiye'yi çevreyelen denizlerde yapılan tüm bu çalışmalar Şekil 8'de biraraya getirilmiş ve takip eden başlıklarda sınıflandırılmıştır.

## Karadeniz

Karadeniz, sahip olduğu petrol ve doğalgaz potansiyeli dışında, gaz hidrat açısından da çok önemli bir enerji alanıdır. Karadeniz'in basınç ve sıcaklık koşulları, 100-150 metre su derinliklerine kadar olan oksijence zengin ortamda görülen yüksek biyolojik aktivite ve 150-200 metrelerden sonra hidrojen sülfürce zengin oksijensiz ortamda oluşan anoksik mikrobiyal yaşam, jeokimyasal döngü ve organik karbonca zengin sedimantasyon doğal gaz hidratların oluşumu için uygundur (Deuser, 1974; Korsakov vd., 1989; Karabakal ve Parlaktuna, 2005). Son yıllarda bölgede ulusal (TPAO) ve uluslararası kuruluşlarca gerçekleştirilen petrol ve doğal gaz arama ve üretme faaliyetleri dışında, geleceğin enerji kaynağı olarak görülen gaz hidrat arama faaliyetleri de hız kazanmıştır. Karadeniz sedimanlarında gaz hidrat ilk kez lokasyon belirtilmesizin Yefremova ve Zhizhchenko (1974) tarafından gözlemlenmiştir. Daha sonra izleyen yıllarda Karadeniz'in gaz hidrat potansiyeli üzerine pekçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan Korsakov vd. (1989) çok kanallı sismik ve akustik yöntemler kullanarak beş ayrı bölgede Karadeniz'deki gaz hidrat alanlarını haritalamıştır (Şekil 8). Karadeniz'de varolan gaz hidratın duraylı olmaya başladığı su derinliği ~700 m ve deniz tabanı sıcaklığı ise ~9° C olarak belirlenmiştir (Bohrmann vd., 2003). BSR yansımaları KB Karadeniz şelf alanında deniz tabanından itibaren 200-300 metrelerde gözlenmiştir (Zillmer vd., 2005). Batı Karadeniz'de ise Tuna Nehri kanyonunda ortalama 1800 m/sn sediman hızı ile deniz tabanından itibaren 400 metre derinlikte çoklu BSR yansımaları görülmüştür (Popescu vd., 2007). Türkiye kıyılarında ise, Kozlu açıklarında TPAO'nun açmış olduğu Akçakoca-1 kuyusu civarında yapılan sismik ölçümlerde yaklaşık 1000 m'den derin olan sularda BSR yansımaları görülmüştür (Damcı vd., 2008; Güreli, 2008). Klauda ve Sandler (2003) Karadeniz'in gaz hidrat rezervini; Romankevich (1984)'ün Karadeniz'deki sedimantasyon hızını (standart basınç ve sıcaklık koşullarında 21 cm yıl<sup>-1</sup>) ve Kvenvolden ve Loreson (2001)'in gaz hidrat lokasyonlarını dikkate alarak, 0.85x10<sup>15</sup> m<sup>3</sup> olarak hesaplamıştır. Yazarlar, rezervin en yoğun olduğu bölge olarak ise güney Karadeniz sahillerinde Ordu-Samsun ve Kastamonu açıklarını işaret etmişlerdir (Klauda ve Sandler, 2003).





**Şekil 8:** Türkiye çevresi denizlerinde yer alan ve şekil açıklamasında verilen çeşitli çalışmalardan derlenmiş olan gaz hidrat rezervleri, çamur volkanları, sıvı ve gaz çıkışları, gaz cepleri, gaz bacaları ve gaz hidrat örnekleme noktaları. Batimetri ve topografya haritası GMT haritalama programı ile üretilmiştir (Wessel ve Smith, 1995). Tektonik hatlar Şengör vd. (1985), Taymaz vd. (1991), Barka (1992), İmren (2001), Rangin vd. (2002) ve ten Veen vd. (2004) çalışmalarından derlenmiştir. Kısaltmalar: KAFZ, DAFZ, ÖDFZ sırasıyla Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu, Ölü Deniz ve Fethiye-Burdur Fay zonlarıdır. PSC: Plio-Strabo Çukuru, PDA: Paleyo-Dnepr Alanı, SÇ: Sorokin Çukuru. İB ve ÇB: İstanbul ve Çanakkale boğazları. SK, TK, PK, KK sırasıyla Saroz, Thermaikos, Patras ve Korint körfezleri. MA: Milos Adası, AD: Anaximander Dağları.

**Figure 8:** Gas hydrate reserves, mud volcanoes, fluid and gas seeps, gas pockets, gas chimneys and gas hydrate sample locations in surrounding seas of Turkey completed from several studies given in the explanation box of the figure. Bathymetry and Topography map was produced by using the Generic Mapping Tool (GMT) (Wessel and Smith, 1995). Tectonic lines compiled from Şengör et al. (1985), Taymaz (1991), Barka (1992), İmren (2001), Rangin et al. (2002) and ten Veen et al. (2004). Abbreviations: NAFZ, EAFZ, DSFZ, FBFZ are North Anatolian, East Anatolian, Dead Sea and Fethiye-Burdur Fault Zone's respectively. PST: Plio-Strabo Trench, PDF: Paleo-Dnepr Field, ST: Sorokin Trough, SI and SÇ are Strait of İstanbul and Strait of Çanakkale. SG, TG, PG, KG are Saros, Thermaikos, Patras and Corint Gulf's respectively. MI: Milos Island, AM: Anaximander Mountains.

Gaz hidrat alanlarında BSR seviyesinin altında bulunan serbest gaz ve bu gaz ve sıvıların yukarılara göçü ve yüzeye sızmasına bağlı olarak Karadeniz'de toplanan sismik kesitlerde akustik perdeleme, akustik bulanıklık, çamur volkanları, çamur diapipleri, gaz cepleri, gaz bacaları vb. oluşumlar gözlemlenmektedir. Günümüze değin Karadeniz'de, Bulgaristan, Romanya, Ukrayna, Gürcistan ve Türkiye kıyılarında toplam 65 adet çamur volkanı gözlemlenmiştir (Kruglyakova vd., 2004). Bunlardan bazıları Ukrayna - Kırım'ın doğusunda Sorokin çukurluğunda (~2000 m su derinliğinde), Yalta, Sevastapol, Dvurechenski, Kazakov, Odessa ve İstanbul isimli çamur volkanlarıdır

(Krastel vd., 2003; Bohrman vd., 2003). Benzer şekilde, Kırım'ın kuzey açıklarında orta Karadeniz'de Tredmar, Msu, Malyshev, Kornev çamur volkanları (Ivanov vd., 1989); Doğu Karadeniz Sinop-Samsun açıklarında Piri Reis çamur volkanı (~700 m su derinliğinde) (Hürriyet, 2005) sayılabilir (Şekil 8). Çamur volkanları çoğunlukla mantar görünümünde olup, boyutları birkaç km çap ve 100 metreyi aşan yüksekliklere kadar uzanabilmektedir. Deniz tabanının altında ise jeolojik yapıya bağlı olarak kilometrelerce derinliğe kadar uzanabilme özelliğine sahiptirler. Derinlerden taşıdıkları su, metan gazı ve çamurun köken ve karakterinin anlaşılması sonucu, çamur volkanları

derinlerdeki olası petrol ve doğal gaz alanlarının tespiti açısından ayrı bir öneme sahiptirler.

Karadeniz’de çamur volkanları ve faylanma gibi süreksizlikler yoluyla daha derinlerden ya da sığ derinliklerdeki gaz ceplerinden su kolonuna olan gaz ve sıvı çıkışları Şekil 8’de gösterilmektedir. Gaz çıkışlarının (ağırlıklı olarak metan gazı) en yoğun olduğu bölgeler kuzey şelf alanlarında Kırım yarımadasının doğusunda Sorokin çukurluğunda, batısında Dnepr paleo-deltasında (Poort vd., 2007), Doğu Karadeniz’de Gürcistan Batum açıklarında (Egorov vd., 1998 ve 2003; Vassilev ve Dimitrov, 2002); Batı Karadeniz’de Romanya açıkları Tuna Kanyonu’nda (Popescu vd., 2007) yer almaktadır. Gaz çıkış yoğunluğuna örnek olarak Naudts ve diğ. (2006)’nın Dnepr paleo deltasında buldukları toplam 2778 lokasyondaki metan gaz çıkışı verilebilir. Sözü edilen bu alanlardan Kırım açıklarından ve doğu Karadeniz Batum açıklarından gaz hidrat numuneleri alınmıştır (Abegg vd., 2002; Sahling vd., 2004).

Türkiye kıyılarımızda ilk gaz hidrat ve buna bağlı sığ gaz aramaları TUBİTAK ve DPT projeleri ile Ergün vd. (2000) ve Çiftçi vd. (2003) tarafından 9 Eylül Üniversitesi ‘Piri Reis’ Araştırma Gemisi ile gerçekleştirilmiştir. Devam eden çalışmalarda, Doğu Karadeniz kıyılarımızda Yeşilirmak deltası kıta yamacında sığ gaz çıkışları sismik ve sonar verileri ile araştırılmış ve detaylı görüntülenmiştir (Dondurur ve Çiftçi, 2007). Trabzon açıklarında Holosen sedimanlarda kökeni biyojenik olan gazın varlığı sismik kesitlerde akustik perde olarak kendini göstermiştir (Okyar and Ediger, 1999). Son yıllarda Batı Karadeniz’de Kozlu açıkları ve daha batı kıyılarımız TPAO tarafından potansiyel hidrokarbon alanı olarak görülmekte ve detaylı çalışılmaktadır. ‘Piri Reis’ araştırma gemisi Kozlu yükseliminin ve İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışının gaz ve gaz hidrat potansiyelini ve muhtemel çamur volkanlarını araştırmaya yönelik projeler yürütmektedir (Çiftçi vd., 2005; Okay vd., 2006). Kozlu yükseliminde yaklaşık 1000-1800 m derinliklerde gaz çıkışları Bohrmann vd. (2005) tarafından keşfedilmiştir. TPAO doğu ve batı Karadeniz kıyılarımızda gaz hidrat aramalarına ilişkin çalışmaları başlatmışlardır.

Karadeniz kıyılarında çıkan gazların kökeni üzerine pek çok araştırma yapılmaktadır. Ginzburg ve diğ. (1990) kuzey Karadeniz kıyılarında çıkan gazların hem biyojenik hem de termojenik kökenli olduğunu belirtmiştir. Popescu vd. (2007) Batı Karadeniz’de Romanya Bulgaristan açıklarındaki şelf alanından çıkan gazların ise çoğunlukla biyojenik kökenli olduğunu belirtmiştir. Karadeniz’de 2002-2007 yılları arasında yapılan ve halen süregelmekte olan çok uluslu projelerle (Belçika-Fransa-Romanya ve Almanya-Rusya-Türkiye ortaklı projeler) varolan gaz hidrat ve hidrata bağlı

doğal gaz potansiyeli daha detaylı incelenmekte, gazların kökeni üzerinde araştırmalar genişletilmekte ve yeni gaz ve gaz hidrat alanların keşfine gidilmektedir. Bu amaçlarla Alman ‘Poseidon’ Araştırma Gemisi ile Karadeniz’de 2002 yılında başlayan çalışmalar, yine Alman ‘Meteor’ Araştırma Gemisi ile 2007 yılında hız kazanmış ve tüm Karadeniz kıyılarını içine alacak şekilde sismik yansıma, sismik kırılma (OBS ölçümleri), akustik ölçümler, CDT ölçümleri, karot alımı, deniz altı kamera görüntüleri (ROV ölçümleri) vb. çalışmaları ile günümüze değin getirilmiştir.

### Marmara Denizi

Marmara Bölgesi’nde 1999 yılında meydana gelen ve 20.000’den fazla insanın ölümüne neden olan moment manyitüt büyüklükleri sırasıyla  $M_w=7.4$  ve  $M_w=7.1$  olan Gölcük ve Düzce depremleri (Taymaz, 2001), Marmara Bölgesi ve Marmara Denizi’ni aktif tektonik açısından bilim adamlarının ilgi odağı haline getirmiştir. Bölgenin aktif tektoniğinin ve dolayısıyla deprem potansiyelinin anlaşılabilmesi için Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun kuzey kolunun geçtiği Marmara Denizi’nde denizaltı aktif faylarının ve yapısal özelliklerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar 1999 yılından sonra hız kazanmıştır. Bu çerçevede, 1997 yılında MTA-TUBİTAK-İTÜ ortaklığında MTA ‘Sismik-1’ Araştırma Gemisi ile başlatılmış olan sismik verilerin toplama ve değerlendirme işlemi (Okay vd, 1999, 2000; İmren vd., 2001), 2000 yılından itibaren ise uluslararası projeler ile (2000-2002, Fransa-Türkiye ortaklı) devam etmiştir. Bu dönemde, Fransız ‘Le Nadir’, ‘Le Suroit’ ve ‘Le’Atalante’ araştırma gemileri ile derin ve sığ sismik ile çok ışınli batimetri çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Böylece Marmara Denizi’nin gerek sığ, gerekse derin yapılarının ve deniz tabanının detay haritalanması gerçekleştirilmiştir (Le Pichon vd., 2001; Armijo vd., 2002; Carton vd., 2007).

Bugüne değin yapılan bu çalışmalarda Marmara Denizi’nde gaz hidrat göstergesi olabilecek herhangi bir BSR seviyesine rastlanamamış olsa da, bölgede yer yer gaz ve sıvı çıkışları gözlemlenmiştir. Özellikle 2002 yılında Fransız-Türkiye ortaklı çalışmalarda İzmit Körfezi’nde 1999 depremi sonrası metan gazı çıkışları, gaz bacaları gözlemlenmiştir (CDF, 2007). Yine İzmit Körfezi’nde sığ derinliklerde olası gaz yüklü sedimanların varlığı Kuşçu vd. (2005) tarafından sığ sismik verilerle ortaya çıkarılmıştır. Yazarlar İzmit Körfezi’ndeki bu gaz çıkışlarının 1999 depremleri ile tetiklendiğini öne sürmüşlerdir. 2004 yılında Marmara Denizi’nde Fransız ‘Marion Dufresne’ Araştırma Gemisi ile deniz tabanından örnekler alınarak gaz ve sıvı çıkışlarının görüldüğü sediman birimler araştırılmıştır. 2007 yılında Fransa (CNRS) Türkiye (İTÜ-EMCOL) Almanya (GEOMAR) ve ABD ortaklığında başlatılan ‘MARNAUT’ Projesi ile Fransız

'Atalante' Araştırma Gemisi ile Marmara Denizi'ndeki sismik çalışmalara devam edilmiş; sefer boyunca yüksek çözünürlüklü sismik ölçümler dışında, karot alımı, ısı akısı ölçümleri, gözenek basıncı ölçümleri, CDT ölçümleri, deniz suyu numune alımı, OBS ölçümleri vb. çalışmalar gerçekleştirilmiştir. MARNAUT Projesi ile 'Nautile' isimli denizaltı Marmara Denizi dibine indirilerek deniz tabanının morfolojik özellikleri, aktif faylar ve gaz ve sıvı çıkışları detaylı olarak görüntülenmiştir. Bu çalışmaların ilk sonuçları Marmara Denizi'nde her üç havzada da (Çınarcık Havzası – Orta Havza – Tekirdağ Havzası) fay hattı boyunca yer yer aktif sıvı ve metan gazı çıkışlarını göstermektedir (Henry vd., 2006; CDF, 2007). MARNAUT projesi ile 40°49'K, 28°46.8'D koordinatlarındaki siğ su derinliklerinde (yaklaşık 660 metreler) deniz tabanında gaz hidrat oluşumlarına rastlanmıştır (Géli vd., 2007; Şekil 8). Marmara Denizi'ndeki metan gazı çıkışlarının bölgedeki derin fay sistemleri ile ilişkili olduğu ve yine bölgedeki gaz hidrat oluşumları ile ilişkili olarak gazın termojenik kökenli olabileceği Henry vd. (2008) tarafından öne sürülmüştür. MARNAUT projesinin bir sonraki adımında bölgede saptanan bu sıvı ve gaz çıkışlarının zaman içerisindeki davranışının gözlemlenmesi ve bu verilerin bölgenin depremselliği ile ilişkilendirilmesi için Avrupa Denizleri Denizaltı Gözlemi Ağı Projesi olan ESHONET kapsamında deniz tabanına toplam 12 adet gözlem istasyonunun yerleştirilmesi yer almaktadır (CDF, 2007).

Marmara Denizi'nin Karadeniz ve Ege Denizi'ne açılan her iki boğazında ise siğ sedimanlarda yine gazın varlığı tespit edilmiştir. İstanbul Boğazı'nda boğazın içindeki Paleozoyik temelin üzerinde yer alan kanal dolgusunda gaz yüklü sedimanlar Alavi vd. (1989) tarafından sismik kesitler üzerinde gösterilmiştir. Çanakkale Boğazı'nda ise Alpar vd. (1996) olası gaz içeren geç Kuvaterner yaşlı sedimanları sismik kesitlerde gözlemlenmişlerdir.

### Ege Denizi

Ege Denizi'nde bugüne değin gaz hidratın varlığına işaret eden bir BSR seviyesine rastlanmamıştır. Öte yandan bölgenin petrol ve doğal gaz potansiyelinin araştırılması son 15 yıldır yapılan çalışmalarla hız kazanmıştır. Bu çalışmalardan Coşkun (2000) kuzey Ege Denizi Saroz Körfezi'nin sediman yapısını sismik ve kuyu verileri ile araştırmış ve körfezin kuzeyinde yaklaşık 1500-2000 m derinliklerde petrol üretebilecek jeolojik formasyonların olabileceğini, körfezin güneyinde KAF'dan etkilenen alanda ise 3000 m ve daha derinlerde doğal gazın olabileceğini öne sürmüştür. TPAO'nun aynı bölgede petrol ve doğal gaz aramaya yönelik çalışmaları da mevcuttur. Bange vd. (1996) Yunanistan kıyılarında

yapmış olduğu ortalama N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> ölçümlerinde kuzey Ege Denizi ve doğu İyon Denizi'nde suda sırasıyla % 231 (4.8 nmol L<sup>-1</sup>) ve %148 (3.2 nmol L<sup>-1</sup>) CH<sub>4</sub> konsantrasyonları ölçmüştür. Bu değerler bölgede gaz hidrat oluşumları açısından olumlu olsa da Karadeniz'deki metan konsantrasyonlarına göre daha düşük seviyelerdedir (Hermann, 2006). Öte yandan Papatheodorou vd. (1993), Hasiotis vd. (1996) ve Soter (1999) Yunanistan'ın Ege Denizi ve İyon Denizi kıyılarında yapmış olduğu sismik çalışmalarda bölgede gaz içeren gaz cepleri, akustik örtüler, gaz sızıntıları vb siğ yapıların varlığını ortaya koymuş ve deniz tabanı detay haritalaması sonucu çok sayıda gaz cebinin varlığına işaret etmiştir. Papatheodorou vd. (1993) Kuvaterner birimlerde görülen gazların muhtemelen biyojenik kökenli olabileceğini, Kuvaterner öncesi çökellerde görülen gazların ise bölgedeki fay ve tuz domlarına bağlı olarak termojenik kökenli olabileceğini belirtmişlerdir. Bu yapılar KB Ege Denizi'nde doğu İyon Denizi'nde Korint ve Patras Körfezleri'nde detaylı olarak haritalanmıştır (Şekil 8). Dando vd. (1995) ve Soter (1999), orta ve güney Ege Denizi'ndeki deniz tabanında gözlenen gaz ve sıvı çıkışlarının daha çok bölgedeki hidrotermal sistemden kaynaklandığını belirtmiştir. Buna göre volkanik aktivitenin yüksek olduğu alanlarda jeotermal olarak ısınmış sular ve gazlar çatlaklar vasıtası ile yükselmekte ve deniz tabanından sızmaktadır. Türkiye kıyılarından İzmir Körfezi'nde Dondurur vd. (2008) sismik ve akustik verilerde siğ sedimanlarda gaz cepleri, gaz ve sıvı çıkışları gözlemlenmişlerdir. Dando vd. (1995)' göre Ege Denizi'ndeki bu gazlar daha çok CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> ve az miktarda CH<sub>4</sub> (%10 kadar) içermektedir. Bunun bir örneği Helen volkanik yayına yakın Milos adası civarındaki gaz çıkışlarında gözlemlenmiştir. Bölgeden çıkan gazların % 90'ı CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> içermektedir (Dando vd., 1995). Sözü edilen yazarlar ayrıca bölgedeki depremlerle gaz ceplerinin ve gaz çıkışlarının ilişkisini araştırmışlardır. Buna göre depremlerin yakınlarındaki gaz ceplerini aktif hale getirebileceğini, depremden önce ilgili gaz ceplerinde sıcaklıkların yükseldiğini gözlemlenmişlerdir (Papatheodorou vd., 1993). Sonuç olarak, petrol açısından da belirli düzeyde bir potansiyele sahip olduğu bilinen Ege Denizi'nin, bu bakış açısı altında gaz hidrat açısından da bir potansiyele sahip olduğunu söylemek mümkündür. Ancak bu olası gaz varlığının Karadeniz'deki gaz miktarına oranla daha az olması gerekliliği de, yapılan araştırmalardan yola çıkılarak söylenebilir.

### Doğu Akdeniz

Doğu Akdeniz'in gaz hidrat ve gaz potansiyelini araştırmaya yönelik son 10 yıl içinde pek çok uluslararası proje gerçekleştirilmiştir. Bu projeler 1993 yılında UNESCO'nun TTR programı dahilinde başlatılmış (Çiftçi vd., 1997); 1995-1996 yıllarında

Fransa-Rusya ortaklığında ANAXIPROBE programı kapsamında Fransız 'L'Atalante' ve Rus 'Gelendzhik' Araştırma gemileri ile; 1998-1999 Fransa-Almanya ortaklığında MEDINAUT/MEDINETH programı kapsamında Fransız 'L'Atalante' Araştırma Gemisi ile sürdürülmüştür. 2003 yılında ise Fransız denizaltısı 'Nautile' Akdeniz'in derin sularına indirilerek potansiyel gaz hidrat ve gaz alanlarında detay gözlemler yapılmıştır. Bu projelerde derin ve sığ sismik yansıma çalışmaları, çok ışınlı batimetri, yandan taramalı sonar, sığ sondaj, karot alımı vb. çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu projelerin sonuçlarında; yaklaşan Afrika ve Avrasya levhaları'nın oluşturduğu bindirmeli ve yanal atımlı aktif tektoniğin etkisi altında bulunan Doğu Akdeniz sedimanlarında yanal yönde basınç artışına bağlı olarak gaz ve gaz hidrat içeren pek çok yapısal özelliğin varlığına rastlanmıştır. Gazın hidrat formuna çok az lokasyonda rastlanırken bölgede aktif gaz ve sıvı çıkışlarına bağlı olarak çamur volkanları, çamur diapirleri, daha küçük boyutlarda olan çamur domları, gaz cepleri, tuzlu su havuzları vb. yapılar haritalanmıştır (Limonov vd., 1996; Ivanov vd., 1996; Woodside vd., 1998; Huguen vd., 2001; Kopf vd., 2001; Woodside vd., 2002; Loncke vd., 2004; Huguen vd., 2005; Zitter vd., 2005). Sözü edilen yazarlar bu çalışmalarından Doğu Akdeniz'de yaklaşık 100'e yakın çamur volkanı haritalamışlardır (Şekil 8). Buna göre, bölgede yer alan potansiyel alanlara kısaca değinecek olunursa, ülkemiz karasularına en yakın çamur volkanı alanı Girit'in güneyinde Orta Akdeniz Sırtı'nda yer alır (Şekil 8). Helen Dalma Batma Zonu'nun yığışım prizması olarak bilinen bu bölgede metan gazı çıkışlarının en yoğun olarak gözlemlendiği Olimpi Alanında Napoli, Milano, Moscow ve Maistone adlı çamur volkanları ve güneyindeki kuşakta ise Lorient adlı çamur domu yer almaktadır (MEDINAUT/MEDINETH programı, Huguen vd., 2005). Olimpi alanındaki çamur volkanlarının yarıçapları 1-6 km, yükseklikleri ise 10-200 m arasında değişmektedir. Milano ve Napoli çamur volkanları da ODP tarafından sondaj yapılmış ve deniz tabanından itibaren çok sığ derinliklerde gaz hidrat tabakasına rastlanılarak, masif gaz hidrat numunesi alınmıştır (Robertson ve Kopf, 1998). Aktif olan Napoli çamur volkanında ise gaz hidrata rastlanmamıştır (De Lange ve Brumsack, 1998). Orta Akdeniz sırtındaki gaz ve gaz hidrat alanının içerdiği CH<sub>4</sub> gazının olası miktarı De Lange ve Brumsack (1998) tarafından  $1 \times 10^{14}$  m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Doğu Akdeniz'in diğer bilinen çamur volkanları Kıbrıs'ın güneybatısında Florence yükseliminde; daha güneyde Nil Nehri'nin denizaltı çökellerinde ve doğusunda İsrail açıklarında gözlemlenmiştir (Coleman ve Ballard, 2001; Loncke vd., 2004; Zitter vd., 2005). Özellikle Nil deltasının kuzey ve doğu açıklarında yarıçapları 100-900 m arasında değişen çok sayıda çamur volkanı ve yine bu bölgede çok sayıda gaz cepleri ve metan gazı ve sıvı

çıkışları gözlenmiştir (Loncke vd., 2004). Doğu Akdeniz'de Messiniyen Evaporit tabakası genel anlamda derinlerdeki gaz ve sıvıların yukarıya çıkışını engelleyici bir örtü görevini görürken yer yer Nil deltasında görüldüğü üzere yüksek sedimantasyon ve bu sedimantasyonun alttaki gaz ve sıvı içeren tabakaların üzerinde yarattığı basınç, ortamın duraylılığını bozarak varolan gaz ve sıvıların göçüne ve fay ve kırıklar vasıtası ile yukarılara hareketine sebep olmaktadır. Nil deltası açıklarında pek çok uluslararası petrol şirketi, petrol ve doğal gaz arama faaliyetlerini sürdürmektedir.

Doğu Akdeniz Türkiye kıyılarında ise İskenderun Körfezi'nde Garcia-Garcia vd. (2004) çok ışınlı batimetri ve sığ sismik verilerden pek çok gaz cebi ve sığ derinliklerde gaz içeren sediman tabakalarını haritalamışlardır. Şekil 8'e göre Türkiye güney kıyıları Finike açıklarında doğrultu atımlı ve bindirme tektoniğinin etkisi altında Anaximander dağlarında Anaxagoras ve Anaximenes sırtlarında San Remo, Kula, Kazan, Amsterdam adı verilen çamur volkanları belirlenmiştir (Şekil 8; Zitter vd., 2005). Sözü edilen çamur volkanlarının yarıçapları 2.5 km'ye, yükseklikleri ise birkaç yüz metreye ulaşmaktadır. Anaximander dağlarındaki çamur volkanlarının büyük bir çoğunluğu aktiftir; yani metan gazı ve sıvı çıkışları gözlenmiştir. Bu bölgedeki ilk gaz hidrat numunesi ANAXIPROBE projesi kapsamında Kula çamur volkanından alınmıştır (Şekil 8, Woodside vd., 1998). Ayrıca, İskenderun Körfezi ve Kıbrıs adası açıklarının petrol ve doğal gaz potansiyeli TPAO tarafından yapılan projelerle araştırılmaktadır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yer ve sistem bilimcilerin üzerinde önemle durduğu ve araştırmalar yaptığı gaz hidratların nasıl bir enerji türü olduğuna, çevresel ve atmosfer etkilerine, tarihsel gelişim sürecine, oluşum ve kararlılık koşullarına, belli başlı hangi jeofizik yöntemler ile araştırıldığına ve ülkemizi çevreleyen denizlerdeki gaz hidrat ve sığ gaz aramalarına ait bilgiler, önceki ulusal ve uluslararası çalışmaların ışığında verilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmalar gaz hidratların çok yakın geleceğimizin potansiyel bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Teknolojinin de gelişimine bağlı olarak jeofizik yöntemlerin karasal ve denizel alanlarda uygulanması ile dünya üzerinde önemli gaz hidrat rezervleri tespit edilmiştir. Bu alanlarda henüz hidrat üretimini yapacak teknoloji gelişmemiş olmakla birlikte günümüzdeki hedef, gaz hidratın altında bulunan serbest gazın üretimi ve işletimi şeklindedir. Büyük bir oranda metan gazı olarak bilinen bu gaz denizlerde deniz tabanından su kolonuna sızarak kendini belli etmektedir. Özellikle kıta yamaçlarının bu gaz sızıntılarına bağlı olarak sığ su derinliklerinde sığ gaz hidrat rezervlerini barındırma ihtimali çok yüksektir ve



ekonomik anlamda da derinlere nazaran arama ve işletimde düşük maliyete sahip bu rezervler dikkat çekicidir. Ayrıca çıkan metan gazının termojenik kökenli olması durumunda derinlerdeki hidrokarbon rezervlerini de gösterebiliyor olması sebebiyle ayrı bir önem taşımaktadır. Bu anlamda özellikle başta Karadeniz kıyılarımız olmak üzere, Akdeniz kıyılarımızın ve Marmara Denizi'nin içerdiği olası gaz hidrat ve siğ gaz potansiyeli, ülkemizin gelecekteki enerji ihtiyacı açısından büyük önem taşımaktadır. Ege kıyılarımız ise bu anlamda en az bilinen ve araştırılmayı bekleyen bölgelerdir.

Gaz hidrat ve buna bağlı siğ gaz oluşumları özellikle uygulanan akustik yöntemler ile gaz sızıntıları, gaz bacaları, çamur volkanları, çamur diapirleri, BSR yansıma yüzeyleri olarak karşımıza çıkmaktadır. BSR sismik yansıma yöntemlerinde, gaz hidratın göstergesi olarak bilinse de, bu durum her zaman geçerli olmayabilir. Bazen BSR olmayan ortamlarda gaz hidrat bulunabileceği gibi, bunun tam tersi olarak da çok az gaz hidrat ve altında çok az siğ gaz içeren ortamların arayüzeyinden de BSR yansıması alınabilir. Bunun yanı sıra, çoklu BSR yansımaları ile paleo BSR yüzeylerinin sismik veriler üzerinde görülebilmesi de olasıdır (Hydman ve Dallimore, 2001; Popescu vd., 2007). Öte yandan gaz hidrattan bağımsız olarak sediman çökellerinde silika konsantrasyonunun diyajenez etkisine bağlı olarak BSR benzeri yansımalar da görülebilmektedir (Berndt vd., 2004). Kısacası ortamda BSR yokluğu ya da BSR'in varlığı gaz hidratın kesin varlığına/yokluğuna işaret etmemektedir. Gaz hidratlar pek çok genellemelere rağmen oluşum ve duraylılık koşulları, fiziksel ve kimyasal özellikleri bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında akustik yöntemlerin dışındaki diğer jeofizik yöntemler (Elektrik ve EM yöntemler ısı akışı ölçümleri vb.), ileri veri işlem tekniklerinin de (AVO modelleme, Karmaşık sismik iz nitelik analizleri vb.) gaz hidrat aramalarında kullanılması gerekmektedir.

Ülkemiz denizlerinde öncelikle şelf ve ötesi alanlarda daha sonra derin sularda bu tür çalışmaların yapılabilmesi için donanımlı ulusal araştırma gemilerine ihtiyaç vardır. Özellikle söz konusu alanlarda siğ gaz çıkışları öncelikli tespit edilerek daha sonra daha derinlerde gaz hidratın varlığını görmeye yönelik ya da varolan gaz ve hidratın kökenini araştırmaya yönelik jeofizik yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Bu anlamda Karadeniz ve Akdeniz'de oldukça yaygın olan çamur volkanına bağlı gaz hidrat alanlarında bu volkanlar üzerinde yapılan sismik kırılma çalışmaları ile gazın kökeni ve ortamın fiziksel özellikleri hakkında bilgilere ulaşılabilmektedir.

Öte yandan gaz hidratların iklimsel süreçler üzerindeki etkisi ise oldukça önemli ve tartışmalı bir konudur. Yapılan çalışmalar gaz hidrat ve iklim

arasındaki bu karşılıklı etkileşimde sonucun küresel ısınma yönünde olduğuna dair kanıtlar ortaya koymaktadır. Gaz hidratlardan doğal ya da üretim ile açığa çıkan metan gazının sera etkisi karbondioksit oranla yaklaşık 20-30 kat fazladır ve bu etki küresel ısınma ile doğrudan ilintilidir. Bu sebeple iklimsel ve çevresel süreçler açısından ülkemizi çevreleyen denizlerimizden doğal ya da üretim aşamasında gaz hidratlardan atmosfere yayılan metan gazı miktarının hesaplanması gerekmektedir. İklimsel süreçlerde geçmişte olmuş ve gelecekte olabilecek metan gazına bağlı katastrofik olayların modellenmesi çevre ve tüm canlılar açısından büyük öneme sahiptir. Metan gazı çıkışına bağlı heyelan ve tsunami riskleri de göz önüne alınarak bu konuda özellikle ülkemizde Karadeniz kıyılarımızın ne derece etkilendiği ve etkileneceği konusu önemle araştırılmalıdır. Bu çalışmaların henüz pek çok bilinmezliği olan hidratların doğasının anlaşılması açısından aydınlatıcı olacağı düşünülmektedir.

## SUMMARY

In this study, gas hydrates, their major implications for energy resources and climate, their occurrence and stability conditions, geophysical methods applied for gas hydrate studies, and gas hydrate and shallow gas potential in seas around Turkey are reviewed. Gas hydrates are naturally occurring crystalline solids consisting of gas molecules, usually methane, each surrounded by a cage of water molecules. It looks very much like water ice. 1 m<sup>3</sup> crystalline form of gas hydrate packs inside approx. 0.8 m<sup>3</sup> water and 164 m<sup>3</sup> methane gas. This high volume of gas makes gas hydrates as a future energy resource. On the other hand, high methane released into the atmosphere due to hydrate decomposition may cause global climatic changes and also many environmental problems such as landslides on the continental margins and tsunami risks.

Previous studies show that gas hydrates are widely located both in Arctic regions and in marine sediments on the Earth. These potential reserves form in the Gas Hydrate Stability Zones (GHSZ) where the pressure and temperature conditions (generally high pressure and low temperature) are in stability range for hydrate formation. These deposits extend downward in the sediments until geothermal gradient increases to the point where the hydrates are no longer stable. GHSZ are also affected by other factors, such as composition of the gas, structure of the porous medium, pore water salinity, degree of gas saturation.

Seismic and acoustic methods are widely used to investigate gas hydrates. Bottom Simulating Reflectors (BSR) on seismic sections are known as indicators of gas hydrates. BSR's mark the boundary between higher-sonic velocity, hydrate cemented sediments of the

GHSZ, and underlying lower sonic velocity, hydrate-free sediments, generally free gas zone. Moreover, Direct Current Resistivity Method (DCR) and Controlled Source Electromagnetic methods (CSEM) are applied where seismic methods are insufficient. Resistivity is highly sensitive to define gas hydrate concentration levels. Anomalously high resistivity in a region with essentially normal seismic velocities is indicative of the presence of hydrate.

The seas around Turkey have high gas hydrate and shallow gas potential due to gas hydrate. Several academic and industrial research groups of United States and many European and Asian countries have already initiated programs aimed to investigate gas hydrates around Turkey seas in the last years. Also, Turkish academic groups and petroleum companies (Turkish Petroleum Cooperation, TPAO) have participated to these programs. Although technology has not enough developed to produce gas hydrates, the researches have mostly focused to get out free gas just trapped below hydrate cemented sediments. These studies have discovered many signatures of possible gas hydrate fields such as BSR's, gas chimneys, gas seeps, gas pockets, mud volcanoes, mud diapirs on the continental shelves of Black Sea and Mediterranean. On the other hand, the Marmara Sea and the Aegean Sea have been focused by few studies. Certainly, we need to develop more national and international research programs in Turkey seas both to discover new gas hydrate reservoirs and to understand natural controls on gas hydrates and their impacts on the environment.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Abegg, F., Bohrmann, G., Freitag, J., Kipfstuhl, S., 2002**, Structure and distribution of gas hydrates in marine sediments, Abstracts, 7<sup>th</sup> shallow gas group meeting, 7-11 September 2002, Baku, Azerbaijan, p.30-33.
- Alpar, B., Yüce, H., Doğan, E., 1996**, Gas-charged late Quaternary sediments in Strait of Çanakkale (Dardanelles), Turkish Journal of Marine Sciences, ISSN: 1300-7122, 2(3), 155-169.
- Alavi, S.N., Okyar, M., and Timur, K., 1989**, Late Quaternary sedimentation in the strait of Bosphorus: High resolution seismic profiling, Marine Geology, 89, 185-205.
- Amos, J., 2006**, 'Deep ice tells long climate story', BBC, 2006-09-04, Retrieved on 2008-01-21.
- Anderson, A.L., 1992**, Remote acoustic characterization of the seafloor including gassy and hydrated sediment regions, in 2nd international offshore and polar engineering conference proceedings, v. 1: International Society of Offshore and Polar Engineering, Golden Colorado, p. 674-683.
- Armijo, R., B. Meyer, S. Navarro, G. King, and A. Barka, 2002**, Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: A clue to propagation process of the North Anatolian Fault? Terra Nova, 14, 80-86.
- Bange, H.W., Rapsomanikis, S., and Andreae, M.O., 1996**, The Aegean Sea as a source of atmospheric nitrous oxide and methane, Marine Chemistry, 53, 41-49.
- Barka, A.A., 1992**, The North Anatolian fault zone, Annales Tectonicae, 6, 164-195.
- Berndt, C., Bünz, S., Clayton, T., Mienert, J., and Saunders, M., 2004**, Seismic character of Bottom simulating reflectors: examples from the mid Norwegian margin, Marine and Petroleum Geology, 21, 6, 723-733.
- Bohrmann, G., Ivanov, M, Foucher, J.P., Spiess, V., Bialas, J., Greinert, J., Weinrebe, W., Abegg, F., Aloisi, G., Artemov, Y., Blinova, V., Drews, M., Heidersdorf, F., Krabbenhöft, A., Klauke, I., Krastel, S., Leder, T., Polikarpov, I., Saburova, M., Schmale, O., Seifert, R., Volkonskaya' A., and Zillmer' M., 2003**, Mud volcanoes and gas hydrates in the Black Sea: new data from Dvurechenskii and Odessa mud volcanoes, Geo-Marine Letters, 23, 239-249.
- Bohrmann, G., Weinrebe, W., and Poseidon P317/4 Scientific Party, 2005**, Fluid escape features and gas hydrates in the Southern Black Sea, European Geosciences Union (EGU) Meeting, April 2005, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 02607, Vienna, Austria.
- Bugge, T., Befring, S., Belderson, R. H., Eidvin, T., Jansen, E., Kenyon, N. H., Holtedahl, H., and Sejrup, H.-P., 1987**, A giant three-stage submarine slide off Norway, Geo-Marine Letters, 7, 191-198.
- Carton, H., Singh, S.C., Hirn, A., Bazin, S., de Voogd, B., Wigner, A., Ricolleau, A., Çetin, S., Ocağolu, N., Karakoç, F., Sevilgen, V., 2007**, Seismic imaging of the three-dimensional architecture of the Çınarcık Basin along the North Anatolian Fault, Journal of Geophysical Research, 112, 1-17.
- CDF (College De France), 2007**, Preliminary results of the MarNaut cruise in the Sea of Marmara, <http://www.cdf.u-3mrs.fr/~henry/marmara/>, 14 Temmuz 2008.
- Coleman, D.F., and Ballard, R.D., 2001**, A high concentrated region of cold hydrocarbon seeps in

- the southeastern Mediterranean Sea, *Geo-Marine Letters*, 21, 162-167.
- Collett, T.S., 2002**, Energy resource potential of natural gas hydrates, *AAPG Bulletin* 86, 1971-1992.
- Coşkun, B., 2000**, North Anatolian Fault–Saros Gulf relationships and their relevance to hydrocarbon exploration, northern Aegean Sea, Turkey. *Marine and Petroleum Geology*, 17, 751-772.
- Çiftçi, G., Limonov, A., Dimitrov, L., Gainanov, V., 1997**, Mud Volcanoes and Dome-Like Structures at the Eastern Mediterranean Ridge, *Marine Geophysical Researches*, 19, 421–438,
- Çiftçi, G., Özel, E., Dondurur, D., 2003**, Doğu Karadeniz Türkiye şelf ve yamacında gaza doygun tortullar ve gaz hidratların sismik yöntemlerle araştırılması, DPT Projesi, Proje kodu: 2003K120360.
- Çiftçi, G., Dondurur, D., Okay, S., Çopur, S., Sahling, H. and Klaucke, I., 2005**, Preliminary Results From High Resolution Geophysical Study on the Kozlu High, Offshore Zonguldak, Western Black Sea, *International Earth Sciences Colloquim On the Aegean Regions (IESCA)*, 4-7 Ekim 2005, İzmir, Türkiye.
- Dai, J., Xu, H., Snyder, F., Dutta, N., 2004**, Detection and estimation of gas hydrates using rock physics and seismic inversion: Examples from the northern deepwater Gulf of Mexico, *The Leading Edge*, 1, 60-66.
- Damcı, E., Demirbağ, E., Sarıkavak, K., 2008**, Interpretation of seismic reflection data from offshore Bartın-Amasra (Black Sea), *ESONET Training Workshop-1*, 27-28 January 2008, Jacobs University, Bremen, Germany.
- Dando, P.R. Hughes, J.A., Leahy, Y., Niven, S.J., Taylor, L.J., and Smith, C., Smith, 1995**, Gas venting rates from submarine hydrothermal areas around the island of Milos, Hellenic Volcanic Arc, *Continental Shelf Research*, 15, 913–929.
- De Lange, G.J., and Brumsack, H.-J., 1998**, The occurrence of gas hydrates in Eastern Mediterranean mud dome structures as indicated by pore-water composition. In: *Henriet, J.-P., and Mienert, J. (eds.) Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change*, Geological Society, London, Special Publications, 137, 167-175.
- Deuser, W. G., 1974**, Evolution of Anoxic Conditions in Black Sea During Holocene, the Black Sea-Geology, Chemistry, and Biology, *Degens, E. T. And Ross, A. D., ed., The American Association of Petroleum Geologists, United States*, 133-136.
- Dickens, G. R., O’Neil, J. R., Rea, D. K., and Owen, R. M., 1995**, Dissociation of oceanic methane hydrate as a cause of the carbon isotope excursion at the end of the Paleocene, *Paleoceanography*, 10, 965-971.
- Dillon, W. P., Danforth, W. W., Hutchinson, D. R., Drury, R. M., Taylor, M. H., Booth, J. S., 1998**, Evidence for faulting related to dissociation of gas hydrate and release of methane off the southeastern United States. 293-302. In: *J.-P. Henriet, and J., Mienert (eds.) Gas hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change*, The Geological Society of London, Special Publication, 137, 293-302.
- Dimitrov, L., 2002**, Contribution to atmospheric methane by natural seepages on the Bulgarian continental shelf, *Continental Shelf Research*, 22, 2429–2442.
- Dondurur, D., Çiftçi, G., 2007**, Acoustic structure and recent sediment transport processes on the continental slope of Yeşilirmak River Fan, Eastern Black Sea, *Marine Geology*, 237, 37-53.
- Dondurur D, Coşkun S, Gürçay S, Okay S, Özer P, Çiftçi G, Ergün M, 2008**, Acoustic Observations of Shallow Gas Accumulations, Gas Seeps and Active Pockmarks in the Gulf of Izmir, Aegean Sea. Abstracts, 9th International Conference on Gas in Marine Sediments Bremen University, September 15 – 19, 2008, Bremen, Germany.
- Dunbar, J. A., 2007**, Electrical resistivity investigation of gas hydrate distribution in Mississippi Canyon Block 118, Gulf of Mexico, [http://204.154.137.14/technologies/oilgas/FutureSupply/MethaneHydrates/projects/DOEProjects/MH\\_42959ElectricalResist.html](http://204.154.137.14/technologies/oilgas/FutureSupply/MethaneHydrates/projects/DOEProjects/MH_42959ElectricalResist.html), 13 Mayıs 2008.
- Egorov, V.N., Luth, U., Luth, C. and Gulin, M.B., 1998**, Gas seeps in the submarine Dnieper Canyon, Black Sea: acoustic, video and trawl data. In: *U. Luth, C. Luth and H. Thiel (Editors), Methane gas seep explorations in the Black Sea (MEGASEEBS)*, Project Report. Ber. Zentrum Meeres- u. Klimaforsch. Universität Hamburg, Hamburg, p. 11-21.
- Egorov, V.N., Polikarpov, G.G., Gulin, S.B., Artemov, Yu.G., Stokozov, N.A., Kostova, S.K., 2003**, Modern conception about forming-casting and ecological role of methane gas seeps from bottom of the Black Sea, *Marine Ecological Journal*, Vol. II. No. 3, 5-26.
- Ergün, M., Çiftçi, G., Dondurur, D., ve Limonov, A., 2000**, Karadeniz sedimanlarındagaz hidrat oluşumu ve etkilerinin araştırılması, TÜBİTAK projesi, Proje Kodu: 100Y078.

- Faraday, M., and Davy, H., 1823**, On Fluid Chlorine, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 113, 160-165.
- Garcia-Garcia, A., Orange, D.L., Maher, N.B., Heffernan, A.S., Fortier, G.S., Malone, 2004**, Geophysical evidence for gas geohazards off Iskenderun Bay SE Turkey, *Marine Geology*, 21, 1255-1264.
- Garcia-Gil, S., Vilas, F., Garcia-Garcia, A., 2002**, Shallow gas features in incised valley fills (Rio de Vigo, NW Spain, *Continental Shelf Research*, 22, 2303-2315.
- Géli, L., Henry, P., Dupré, S., Voelker, D., Zitter, T., Le Pichon, X., Tryon, M., Çağatay, N., and Shipboard Science Party, 2007**, Acoustic detection of gas emissions within the submerged section of the North Anatolian Fault Zone in the Sea of Marmara, AGU Fall meeting 10-14 December 2007, Abstracts B43E-1659, San Francisco, USA.
- GOMAR (Research Center for Marine Geosciences at the University of Kiel), 2000**, <http://www.marum.de/Galerie.html>, 29 Nisan 2008.
- Ginzburg, G.D., Kremlev, A.N., Grigoriev, M.N., Larkin, G.N., Pavlenkin, A.D., and Saltykova, N.A., 1990**, Filtrogenic gas hydrates in the Black Sea, 21th Cruise of R/V evpatoria. *Geologiya i Geofizika*, 3, 10-19 (in Russian).
- Grauls, D., 2001**, Gas hydrates: importance and applications in petroleum exploration, *Marine and Petroleum Geology*, 18, 519-523.
- Guerin, G., Goldberg, D.S., and Collett, T.S., 2006**, Sonic velocities in an active gas hydrate system, Hydrate Ridge. In Tréhu, A.M., Bohrmann, G., Torres, M.E., and Colwell, F.S. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results, 204: College Station, TX (Ocean Drilling Program)*, 1-38. doi:10.2973/odp.proc.sr.204.124.2006.
- Gürel, M., 2008**, Sismik yöntemlerle gaz hidratların aranması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.
- Haq, B. U., 1997**, The rol of gas hydrates in climate change, *Thalassas*, 13, 127-134.
- Hasiotis, T., Papatheodorou, G., Kastanos, N., and Ferentinos, G., 1996**, A pockmark field in Patras Gulf (Greece) and its activation during the 14/7/93 seismic event, *Marine Geology*, 130, 333-344.
- Henry, P., Zitter, T.A.C., Fornacciari, F., Geli, L., 2006**, Cold seeps along the Main Marmara Fault: context and perspectives for monitoring, North Anatolian Fault - San Andreas Fault workshop in Istanbul Technical University, August 14-16, 2006, İstanbul.
- Henry, P., Zitter, T. A. C., Le Pichon, X., Geli, L., Tryon, M.D., Mercier de Lepinay, B., Çağatay, N.M., Şengör, A.M.C., Görür, N., Bourlange, S., and the Marnaut Scientific Party 2008**, Cold seeps in the North Anatolian Fault zone, Sea of Marmara: hints for a deep connection, EGU General Assembly 2008, April 2008 Vienna, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, A-05747, Vienna, Austria.
- Hermann, W.B., 2006**, Nitrous oxide and methane in European coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70, 361-374.
- Huguen, C., Mascle, J., Chaumillon, E., Woodside, J.M., Benkhelil, J., Kopf, A., Volkonskaya, A., 2001**, Deformational styles of the eastern Mediterranean Ridge and surroundings from combined swath mapping and seismic reflection profiling, *Tectonophysics*, 343, 21-47.
- Huguen, C., Mascle, J., Woodside, J.M., Zitter, T., Foucher, J.P., 2005**, Mud volcanoes and mud domes of the Central Mediterranean Ridge: Near-bottom and in situ observation, *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, 52, 10, 1910-1931.
- Hürriyet, 2005**, Karadeniz'in dibinde dev çamur volkanı, <http://hurarsiv.hurriyet.com.tr/goster/haber.aspx?id=3530552&tarih=2005-11-17>, 8 Temmuz 2008.
- Hyndman, R.D., and Dallimore, S.R., 2001**, Natural gas hydrate studies in Canada, *Canadian Society of Exploration Geophysicists*, 26, 11-20.
- Hyndman, G.D., Spence, R., Chapman, M. R., and Edwards, R.N., 2007**, Gas Hydrates Geophysical studies of marine gas hydrate in Northern Cascadia, [http://gsc.nrcan.gc.ca/gashydrates/ncascadia/index\\_e.php#seismic](http://gsc.nrcan.gc.ca/gashydrates/ncascadia/index_e.php#seismic), 14 Mayıs 2008.
- Ivanov, M.K., Limonov, A.F., Cronin, B.T. (Eds.), 1996**, Mud volcanism and fluid venting in the eastern part of the Mediterranean Ridge, Initial results of the geological and geophysical investigations during the fifth UNESCO-ESF "Training-Through-Research" Cruise of RV Professor Logachev (July-September 1995), *UNESCO reports in marine science* 68, UNESCO, Paris, p.126.
- Ivanov M.K., Koniukhov A.I., Kulnitskii L.M., and Musatov, A.A., 1989**, Mud volcanism in the deep Black sea basin, *Vestnik MGU, geologicheskaya seriya*, N3.



- İmren, C., X. Le Pichon, C. Rangin, E. Demirbağ, B. Ecevitoglu, and N. Görür, 2001**, The North Anatolian Fault within the Sea of Marmara: A new interpretation based on multi-channel seismic and multi-beam bathymetry data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 186, 143-158.
- Judd, A., Hovland, M., 2007**, *Seabed Fluid Flow, The impact on Geology, Biology and the marine environment*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Karabakal, U., and Parlaktuna, M., 2005**, Natural gas hydrate Formation conditions of Black Sea – A Theoretical Approach, 15<sup>th</sup> International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey IPETGAS 2005, 11-13 May 2005.
- Katz, H. R., 1981**, Probable gas hydrate in continental slope east of the North Island, New Zealand, *J. Pet. Geol.* 3, 315-324.
- Klauda, J.B., Sandler, S.I., 2003**, Predictions of gas hydrate phase equilibria and amounts in natural sediment porous media, *Marine Geology*, 20, 459-470.
- Kopf, A., Klaeschen, D., Mascle, J., 2001**, Extreme efficiency in dewatering accretionary prisms, *Earth and Planetary Science Letters* 189, 295-313.
- Korsakov, O.D., Byakov, Y.A., and Stupak, S., 1989**, Gas Hydrates in the Black Sea Basin, *International Geology Review*, 1251-1257.
- Krastel, S., Spiess, V., Ivanov, M., Weinrebe, W., Bohrmann, G., Shashkin, P., Heidersdorf, F., 2003**, Acoustic investigations of mud volcanoes in the Sorokin Trough, Black Sea, *Geo-Mar Letter*, 23, 230-238.
- Kruglyakova, R.P., Byakov, Y.A., Kruglyakova, M.V., Chalenko, L.A. and Shevtsova, N.T., 2004**, Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor, *Geo-Marine Letters*, 24, 150-162.
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Gökaşan, E., Awata, Y., Tur, H., Şimşek, M., Keçer, M., 2005**, Seafloor gas seeps and sediment failures triggered by the August 17, 1999 earthquake in the Eastern part of the Gulf of İzmit, Sea of Marmara, NW Turkey, *Marine Geology*, 215, 193-241.
- Kvenvolden, K. A., 1988**, Methane hydrate-a major reservoir of carbon in the shallow geosphere? *Chemical Geology*, 71, 41-51.
- Kvenvolden, K. A., 1993**, A primer on gas hydrates. In: Howel, D.G. (Ed.), *The Future of Energy Gases*, U.S. Geological Survey Professional Paper, 1570, 279-291.
- Kvenvolden, K. A., 1995**, A review of the geochemistry of methane in natural gas hydrate, *Org. Geochem.*, 23, 997-1008.
- Kvenvolden, K. A., and Loreson, T. D., 2001**, A global inventory of natural gas hydrate occurrence, USGS: Western Region Coastal and Marine.
- Kvenvolden, K. A., and McMnamin, M. A., 1980**, Hydrates of natural gas: A review of their geological occurrence, *U.S. Geol. Circ.*, 825, 1-11.
- Le Pichon, X., Şengör, AMC., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçiler, R., Tok, B., 2001**, The active main Marmara Fault, *Earth Planet Sci Letter*, 192, 595-616.
- Limonov, A.F., Woodside, J.M., Cita, M.B., Ivanov, M.K., 1996**, The Mediterranean Ridge and related mud diapirism: a background, *Marine Geology* 132, 7-19.
- Loncke, L., Mascle, J., and Fanil Scientific Parties, 2004**, Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences, *Marine and Petroleum Geology*, 21, 669-689.
- Makogon, Y.F., 1965**, A gas hydrate formation in the gas saturated layers under low temperature, *Gas Ind.* 5.
- Makogon, Y.F., 1974**, *Hydrate of Natural Gas*, Nedra, Moscow, (237 pp.) 1974 Penn. Well Tulsa, USA.
- Makogon, Y.F., 1997**, *Hydrates of Hydrocarbons*, Penn. Well Publ. Co, Tulsa, USA.
- Makogon, Y.F., Holditch, S.A., Makogon, T.Y., 2007**, Natural gas-hydrates-A potential energy source for the 21st Century, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 56, 14-31.
- MMS (Minerals Management Service of USA), 2008**, [http://www.mms.gov/offshore/Assets/GasHydrateFiles/hydr\\_dist\\_ImapForClathColl.gif](http://www.mms.gov/offshore/Assets/GasHydrateFiles/hydr_dist_ImapForClathColl.gif), 28 Nisan 2008.
- Naudts, L., Greinert, J., Artemov, Y., Staelens, P., Poort, J., Van Rensbergen, P., De Batist, M., 2006**, Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr Paleo-delta, NW Black Sea. *Marine Geology*, 227, 177-199.
- Nisbet, E. G., 1990**, The end of the ice-age, *Can. J. Earth Sci.* 27, 148-157.
- Nisbet, E., and Piper, D. W., 1998**, Giant submarine slides, *Nature*, 392, 329-330.
- Okay, A.I., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N., ve Kuşçu, İ., 1999**, An active, deep marine strike-

- slip basin along the North Anatolian fault in Turkey, *Tectonics*, 18, 129-148.
- Okay, A.I., A. Kaslılar-Ozcan, C. Imren, A. Boztepe-Guney, E. Demirbag, I. Kuscu, 2000**, Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study, *Tectonophysics*, 321, 189-218.
- Okay, S., Çifçi G., Lericolais G., Bohrmann G., Ivanov M., 2006**, A tributary canyon system, shallow gas accumulations and an unnamed mud volcano at Bosphorus outlet in Black Sea, European Geosciences Union, Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 08072, Vienna, 02-07 April 2006.
- Okyar, M., Ediger, V., 1999**, Seismic evidence of shallow gas in the sediment on the shelf of Trabzon, southeastern Black Sea, *Continental Shelf Research*, 19, 575-587.
- Papatheodorou, G., Hesiotis, T., and Ferentinos, G., 1993**, Gas charged sediments in the Aegean and Ionian Seas, Greece, *Marine Geology*, 112, 171-184.
- Paull, C. K., Ussler, W., Dillon, W. P., 1991**, Is the extent of glaciation limited by marine gas hydrates? *Geophysical Research Letter*, 18, 432-434.
- Pecher, I.A., Henrys, S.A., Ellis, S., Chiswell, S.M., and Kukowski, N., 2005**, Erosion of the seafloor at the top of the gas hydrate stability zone on the Hikurangi Margin, New Zealand, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L24603, doi:10.1029/2005GL024687.
- Poort, J., Kutas, R.I., Klerkx, J., Beaubien, S.B., Lombardi, S., Dimitrov, L., Vassilev, A., Naudts, L., 2007**, Strong heat flow variability in an active shallow gas environment, Dnepr Paleodelta, Black Sea, *Geo-Mar Letter*, 27, 185-195.
- Popescu, I., Lericolais, G., Panin, N., De Batist, M., Gillet, H., 2007**, Seismic expression of gas and gas hydrates across the western Black Sea, *Geo-Mar Letter*, 27, 173-183.
- Prensky, S.E., 1995**, A review of gas hydrates and formation evaluation of hydrate-bearing reservoirs, 1995 meeting of the Society of Professional Well Log Analysts, June 26-29, Paris, France.
- Rangin, C., Bader, A. G., Pascal, G., Ecevitoglu, B. and Görür, N., 2002**, Deep structure of the Mid Black Sea High (offshore Turkey) imaged by multi-channel seismic survey (BLACKSIS curise), *Marine Geology* 182, 265-278.
- Reeburgh, W. S., Ward, B. B., Whalen, S. C., Sandbeck, K. A., Kilpatrick, K. A., and Kerkhof, L. J., 1991**, Black Sea methane geochemistry, *Deep-Sea Research*, 38 (2), 1189-1210.
- Rice, D.D., and Claypool, G.E., 1981**, Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas, *AAPG Bulletin*, 65, 5-25.
- Robertson, A.H.F., Kopf, A., 1998**, Tectonic Setting and Processes of Mud Volcanism on the Mediterranean Ridge Accretionary Complex: Evidence from Leg 160, In: *Proceedings of the ODP, Science Results 160*, College Station, TX, Ocean Drilling Program, p. 665-680.
- Romankevich, E. A., 1984**, *Geochemistry of organic matter in the ocean*, Berlin: Springer.
- Rutherford, S.R., and Williams, R.H., 1989**, Amplitude-versus-offset variations in gas sand, *Geophys.*, 54, 6880-6888.
- Sahling, H., Blinova, V., Bürk, D., Çifçi, G., S., Dondurur, D., Klaucke, I., Lursmanashvili, N., Okay, S., Renken, J., Schott, T., 2004**, Report and preliminary results of R/V Poseidon Cruise P317/4, Istanbul-Istanbul, 16 October-4 November 2004, *berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, No.235*, 92 pages, Bremen.
- Schmale, O., Greinert, J. and Rehder, G., 2005**, Methane emission from high-intensity marine gas seeps in the Black Sea into the atmosphere, *Geophysical Research Letters*, 32(L07609): doi:10.1029/2004GL021138.
- Sloan, E.D., 1990**, *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, Marcel Dekker, New York.
- Sloan, E.D., 1998**, *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, Second edition, Marcel Dekker Inc., New York.
- Soter, S., 1999**, Macroscopic seismic anomalies and submarine pockmarks in the Corinth-Patras rift, Greece, *Tectonophysics*, 308, 275-290.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., Biddle, K.T., Christie-Blick, N., 1985**, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study. Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation, *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.* 37, 227-264.
- Taymaz, T., 2001**, Active tectonics of the north and central Aegean Sea, *Symposia on Seismotectonics of the north-western Anatolia-Aegean and Recent Turkish Earthquakes*, May 8, 2001, İstanbul Technical University, Maslak, İstanbul.
- Taymaz, T., Jackson, J.A. & McKenzie, D., 1991**, Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea, *Geophys. J. Int.*, 106, 433-490.

- ten Veen, J.H., Woodside M., Zitter, T.A.C., Dumont, J.F., Mascle, J., Volkonskaia, A., 2004,** Neotectonic evolution of the Anaximander Mountains at the junction of the Hellenic and Cyprus Arcs, *Tectonophysics*, 391, 35-65.
- Tinivella, U. and Carcione, J.M., 2001,** Estimation of gas-hydrate concentration and free-gas saturation from log and seismic data, *Lead. Edge* 20 2, 200-203.
- USGS (United State Geological Survey), 1992,** <http://marine.er.usgs.gov/fact-sheets/gas-hydrates/gas-hydrates-3.gif>, 28 Nisan 2008.
- USGS (United State Geological Survey), 2004,** [http://geology.usgs.gov/connections/mms/joint\\_projects/Methane.htm](http://geology.usgs.gov/connections/mms/joint_projects/Methane.htm), 28 Nisan 2008.
- USGS (United State Geological Survey), 2006,** <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/hydrates/what.html>, 29 Nisan 2008.
- Vanneste, M., Poort, J., Batist, M.D., Klerkx, J., 2002,** A typical heat-flow near gas hydrate irregularities and cold seeps in the Baikal Rift Zone, *Marine and Petroleum Geology*, 19, 10, 1257-1274.
- Vassilev, A. and Dimitrov, L., 2002,** Spatial and quantity evaluation of the Black Sea gas hydrates, *Russian Geology and Geophysics*, 43, 637-649.
- Weitemeyer, K., Constable, S., Key, K., 2006,** Marine EM techniques for gas hydrate detection and hazard mitigation, *The Leading Edge*, May, 629-632.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1995,** New version of the Generic Mapping Tools released, *Eos*, 76 (33), 329.
- Woodside, J.M., Ivanov, M.K., Limonov, A.F., 1998,** Shallow gas and gas hydrates in the Anaximander Mountains region, eastern Mediterranean Sea. In: *Henriet, J.P., Mienert, J. (Eds.), Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change*, Geological Society, Special Publications, London, 137, 177-193.
- Woodside, J.M., Mascle, J., Zitter, T.A.C., Limonov, A.F., Ergun, M., Volkonskaia, A., 2002,** The Florence Rise, the western bend of the Cyprus Arc, *Marine Geology* 185, 177-194.
- Yamano, M., Uyeda, S., Aoki, Y., and Shipley, T.H., 1982,** Estimates of heat flow derived from gas hydrates, *Geology*, 10, 339-343.
- Yefremova, A.G., and Zhizhchenko, B.P., 1974,** Occurrence of crystal hydrates of gases in the sediments of modern marine basins, *Doklady Akademii Nauk, SSSR Earth Science Section* 214, 219-220.
- Yuan, T., R.D. Hyndman, G.D. Spence, and B. Desmons, 1996,** Seismic velocity increase and deep-sea gas hydrate concentration above a bottom-simulating reflector on the northern Cascadia continental slope, *J. of Geophys. Res.*, 101, 13,655-13, 671.
- Zillmer, M., Flueh, E.R., Peterson, J., 2005,** Seismic investigation of a bottom simulating reflector and quantification of gas hydrate in the Black Sea, *Geophysical Journal International*, 161, 662-678.
- Zitter, T.A.C., Huguen, C., Woodside, J.M., 2005,** Geology of mud volcanoes in the eastern Mediterranean from combined sidescan sonar and submersible surveys, *Deep-Sea Research I*, 52, 457-475.