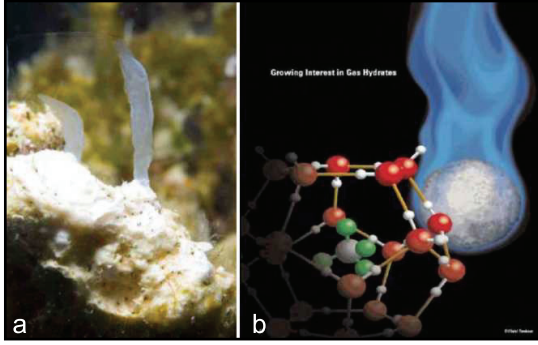


GELECEĞİN ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI - GAZ HİDRATLAR

Fusun YİĞİT FARİDFATHİ*

Yeryüzünün derinliklerinde bulunan metan stoklarının veya deniz diplerinde oluşan tortullar ile beslenen bakterilerin çıkardıkları metanın deniz veya okyanus diplerinde uygun ısı ve basınçta su ile donması ile oluşan gaz hidratlar geleceğin yakıt kaynakları arasında sayılmaktadır. (Şekil 1 a-b)

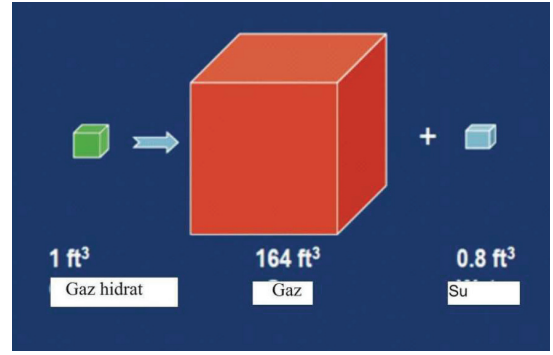


Şekil 1- a- Katı buz halindeki gaz hidratlar bir kibrit ile tutuşturabiliyor.
b- Gaz hidratın yapısal görünümü

GİRİŞ

İnsanoğlu yer altı enerji kaynaklarını tüketmeye devam ediyor. Nüfus artışı ve beraberinde getirdiği artan ihtiyaçlar nedeniyle dünyanın yer altı kaynakları çok yakın bir gelecekte tükenecek. Dünya nüfusunun hızla artması ve enerji kaynaklarının çok yakın bir gelecekte artan ihtiyaca cevap veremeyeceği uyarısı; alternatif enerji kaynaklarının arayışı ve kullanılması konusunda tüm dünya ülkelerini harekete geçirdi. Bu yüzden büyümeler ve geliş-

meler enerji gereksimini hızla artırarak, alışılmış enerji kaynaklarının yerine alternatifler aranmaya başlandı. Sadece 1 m³'ünde standart basınç ve sıcaklık koşullarında (1 atm basınç, 0 °C sıcaklık) yaklaşık olarak 0.8 m³ su ve 164 m³ gibi yüksek bir oranda doğal gaz içeren gaz hidratlar (Kvenvolden, 1988), geleceğin yeni bir enerji kaynağı olarak tüm bakışları okyanuslara çekti (Şekil 2). Uygun koşullarda çıkartıldığında donuk gaz hidrat 164 kat genişleyerek gaz ve LPG'ye dönüşebiliyor.



Şekil 2- 1 m³ gaz hidrat standart basınç ve sıcaklık koşullarında (1 atm basınç, 0°C sıcaklık) yaklaşık olarak 0.8 m³ su ve 164 m³ gibi yüksek bir oranda doğal gaz içerir (Kvenvolden, 1988).

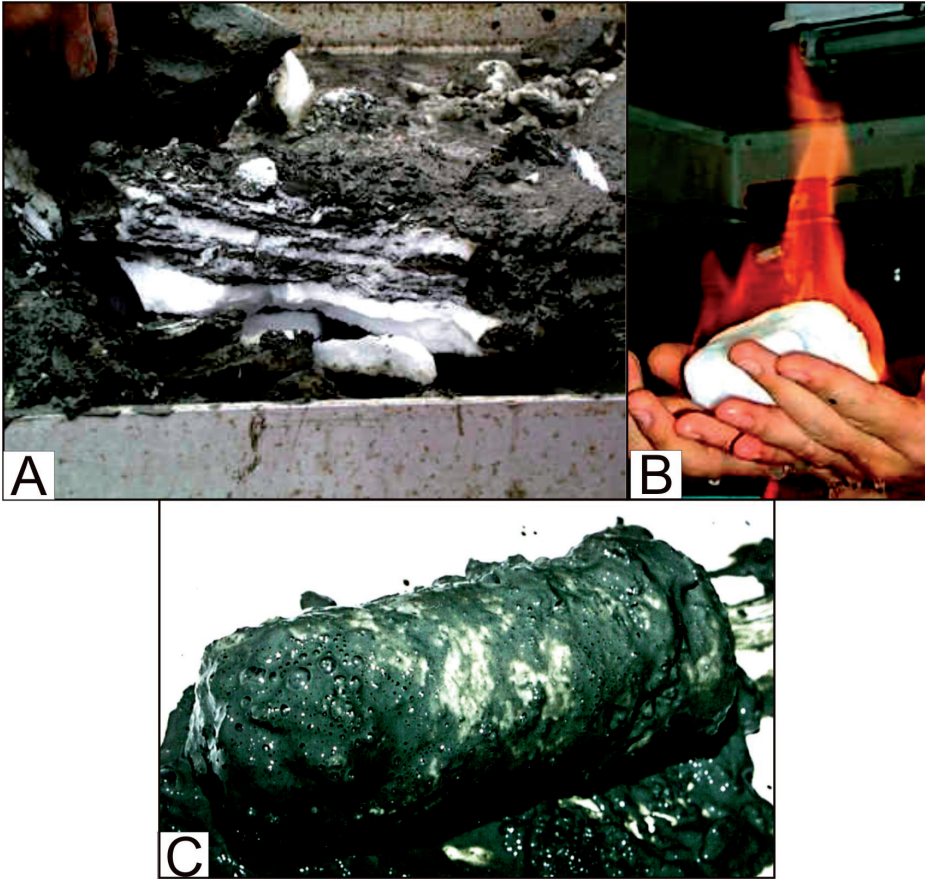
Tüm bu nedenlerden dolayı çok daha temiz ve güçlü bir yakıt olan gaz hidratın önemi önümüzdeki yıllarda daha da artacak gözüküyor. Kuvvetle muhtemeldir ki, bu oluşumlar gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik potansiyel kaynaklar olacaktır. Özellikle enerji darboğazı içersine giren dünya için bolca bulunan gaz hidrat kaynağı kurtarıcı olabilir. Ancak, günümüzde metan hidratların uygun maliyetle ve çevre yönünden güvenli bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi yönünde pek az ilerleme kaydedilmiştir.

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Deniz ve Çevre Araştırmaları Dairesi Başkanlığı - Ankara

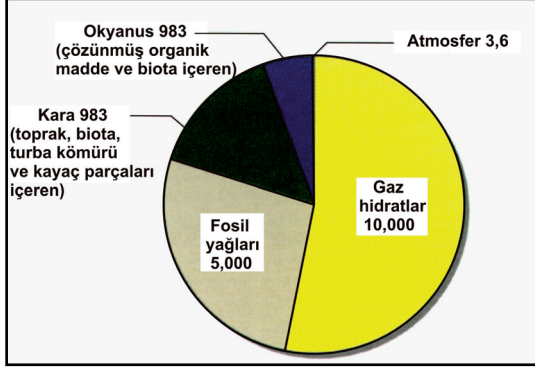
Gaz hidrat olarak kaynaklar, aslında bildiğimiz doğal gazların donmuş hallerinden başka bir şey değildir (Şekil 1, şekil 3). Okyanus dibinden elde edilen bu buzlar, ısıyla temas ettiği anda alev almakta ve ortaya önemli miktarda enerji çıkmaktadır. Var olan geleneksel enerji kaynakları ile geleceğin temiz enerji kaynakları arasında geçiş sürecinin en önemli parçalarından biri durumunda bulunan gaz hidrat yataklarının, bilinen tüm kömür, petrol ve doğal gaz rezervlerinden en az iki misli karbon (metan formunda) ihtiva ettiğini tahmin edilmektedir (Kvenvolden, 1993, Collett, 2002).

Sığ gaz birikintilerinin de var olduğu deniz sedimanlarının, dünya petrolünün

yaklaşık %95 kadar kısmını bünyesinde bulundurduğu bilinmektedir (Şekil 4). Denizel tortullardaki sıg gaz birikimleri (Rice ve Claypool, 1981; Carlson ve diğerleri, 1985; Hovland ve Judd, 1988; Floodgate ve Judd, 1992; Hovland, 1992; Okyar ve Ediger, 1999), petrol endüstrisinin önemli konuları arasında yer alır (Kvenvolden ve diğerleri, 1981). Bu birikimler havzalardaki derin ve geniş hidrokarbon alanlarının varlığını işaret eder. Bunun yanı sıra sıg gaz birikimleri kıyı ötesi inşaatlarda ve sondaj araştırmalarında tehlikeli bir risk oluştururlar (Davis, 1992; Fannin,1980). Bu yüzden söz konusu gaz birikimlerinin tespiti için yapılan çalışmalar önem arz eder. Stratejik ve ekonomik perspektiften



Şekil 3- Gaz hidrat numuneleri. (Fotograf, ODP, GEOMAR, A.V. Milkov ve R.Sassen)



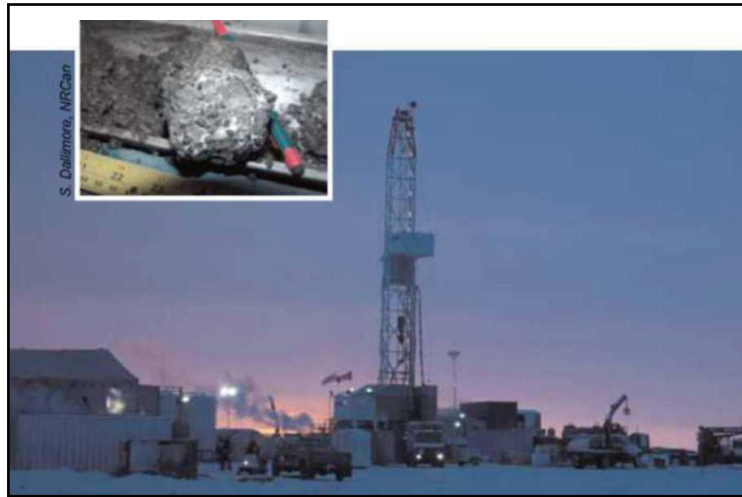
Şekil 4- Dünya üzerinde organik karbonun dağılımı (Kvenvolden, 1988 ve USGS, 1992'den değiştirilerek).

bakıldığında metan hidratların pek çok ülkeyi ithal enerji bağımlılığından kurtarabilecek potansiyeli olduğu değerlendirilmeleri yapılmaktadır. Denizlerde olası sığ gaz ve gaz hidrat oluşumlarının araştırılması ve rezervlerinin belirlenmesi hem ekonomik hem de stratejik öneme sahiptir.

GAZ HİDRATLARIN TARİHİ

Gaz hidratlar ilk kez laboratuvar koşullarında 1810'da bir İngiliz kimyacı Sir Humphrey Davy tarafından keşfedilmiştir. Ancak bu

ilginç maddenin bilim dünyasının gündemine girmesi, yaklaşık bir asır sonra, Kuzey Buz Denizi'nde sondaj yapan doğal gaz şirketlerinin, borularını tıkayan donmuş bir maddeden şikayet edilmesinden yola çıkılarak doğal ortamda hidratın varlığı ve rezervlerinin keşfedilmesiyle olmuştur (Makogon ve diğerleri, 2007). 1960'lı yıllarda Rus bilim adamları metan hidratın enerji kaynağı olabileceğini iddia etmişlerdir. 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). 2000'li yıllara kadar metan hidratın enerji kaynağı olup olmayacağı tartışılmıştır. 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'te Japonya, 1996'da Hindistan, 1999'da Kore; 2004'te Çin ve 2005'ten günümüze Hindistan, Kore, Amerika, Kanada, Rusya, Norveç, İngiltere, Almanya, Yeni Zelanda gibi ülkeler büyük bütçeli doğal gaz hidrat arama projelerini uygulamaya koymuşlardır (Makogon ve diğerleri, 2007, şekil 5).



Şekil 5- Kanada Arctic Mackenzie Delta Mallik gaz hidrat üretim test aşaması.

Gaz hidrat üretimi ve nakliyesi ile ilgili teknoloji geliştiren şirketler arasında Japon Mitsui Engineering and Shipbuilding Ltd., (MES) dünya lideri konumunda. Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Örgütü'nün (NEDO) desteği ile MES, günlük 600 kg yüksek üretim kapasitesine sahip pilot suni gaz hidrat üretim tesisini tamamladılar. Daha da önemlisi MES, Ulusal Endüstriyel Bilimler Enstitüsü ve Osaka Üniversitesi ile işbirliği yaparak, Japan Oil, Gas and Metal ile ortak bir proje çalışması kapsamında "gaz hidrat peletleme, nakliye, depolama yapabilen bir işletme tesisini inşa ettiler. Gaz hidratın yüksek basınç altında kesintisiz olarak gaz haline getirilmesini başarıyla gerçekleştirdiler. Bu teknoloji tam anlamıyla geliştirildiğinde ve dünyada henüz yararlanılmayan gaz alanları nihayetinde kullanıma açıldığında, dünyanın enerji ihtiyacının çevre dostu bir yakıtla karşılanmasında çok büyük bir adım olacaktır.

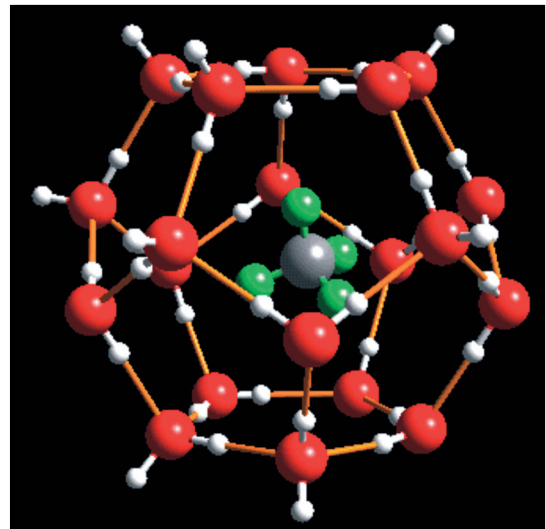
GAZ HİDRAT OLUŞUMU

Gaz hidratlar, çoğunlukla beyaz renkli su ve gaz moleküllerinin (genellikle metan) uygun ısı ve basınç koşullarında donmasıyla (tıpkı buz gibi) oluşur (şekil 6). Yüksek basınç ve düşük sıcaklık koşulları altında su molekülleri kafese benzer bir şekilde gaz moleküllerini, genellikle metan, kuşatarak gaz hidratları meydana getirirler. Metan molekülünün etrafını sararak donan su molekülleri metan molekülleri üzerinde önemli bir basınç oluşturur. Yapının erimesi ile birlikte bu basınç kalkar ve metan molekülleri genişerek serbest hale geçer. Su molekülleri (H_2O) tarafından hapsolan gaz %99 oranla metan gazı (CH_4) olduğundan gaz hidratlar metan hidratlar ya da kafes yapılarından dolayı klratratlar olarak da isimlendirilir (Sloan, 1990). Metan gazı

ortamdaki kumlu, killi, siltli birimlerden oluşan sedimanların taneler arası boşluklarına hapsolarak yumru, şerit, tabakalı ve masif halde 5-10 cm den birkaç metreye ulaşan kalınlıkta hidrat yapıları oluştururlar (Kvenvolden ve McMenamin, 1980; Sloan, 1990; Kvenvolden, 1995).

Oluşum koşullarına göre gaz hidratları biyojenik (bakteriyel) ve termojenik (ısısal) olmak üzere iki grupta toplanırlar. Her iki durumda gaz organik materyalden ortaya çıkmakta, biyojenik süreçte bakteri aktiviteleri termojenik süreçte ise çoğunlukla basınç ve sıcaklık koşulları etkin olmaktadır (Davis, 1992).

Yeryüzünde mevcut gaz hidratların %99'u genellikle biyojeniktir. Okyanus akıntılarının kuzey-güney yönlü olanları, yüzyıllar boyu birbirine yaklaşmışlar, yavaşlaştılar ve tortul depolamışlardır. Organik madde açısından zengin olan bu tortullar, oksijensiz ortamda bakteriler için mükemmel bir ziyafet sofrasıdır. Biyojenik kökenli metan gazı sığ denizel ortamlarda organik

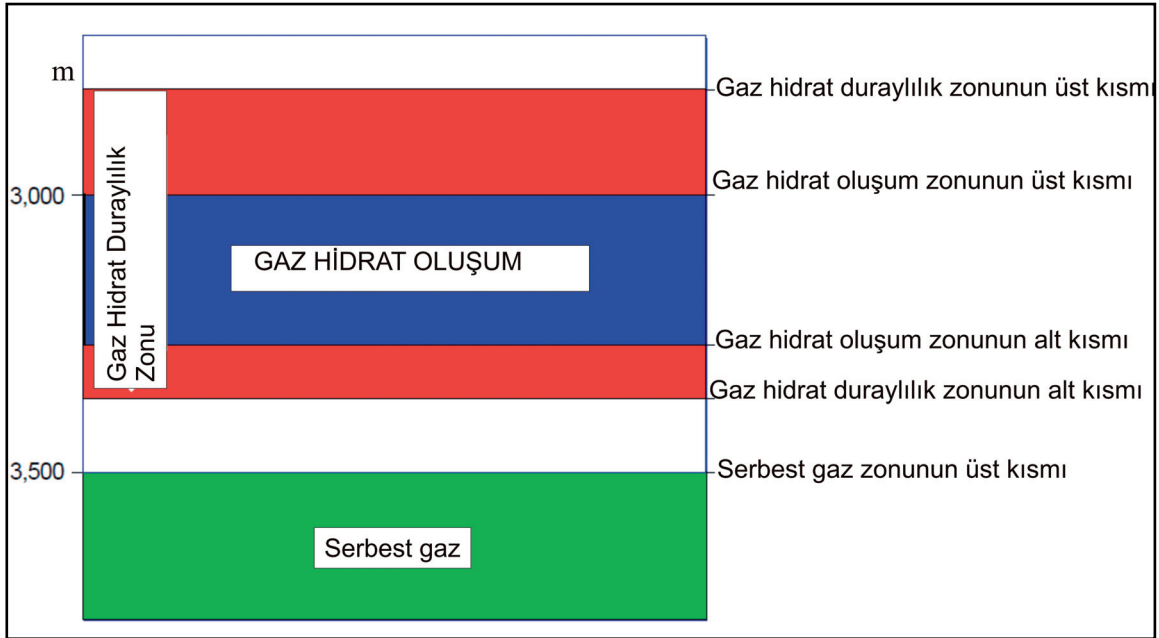


Şekil 6- Bir gaz hidrat yapısındaki birim hücre görünümü.

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 oluşmuşlardır (Sloan, 1990). Bakteriler önce metan gazı açığa çıkarmışlar ve zamanla tortullar deniz tabanından aşağıya, daha derinlerde sürüklenmeye devam etmiş, böylece metan gazı derinlerde gömülü hale gelmiştir. Daha sonra da bu soğuk ve basınçlı ortamda su molekülleri, içlerinde metan moleküllerini tutarak, hidrat halinde kristalize olmuşlardır. Bu tip hidratlar organik madde ve çökeltilerin çok hızlı biriktiği bölgelerde görülür. Organik prosesler sonucunda oluşan hidratlar genellikle çok saf olup, sadece metan ve su molekülleri içerirler. Denizlerde biyojenik kökenli metan gazının oluşabilmesi için yüksek bir sedimentasyon hızına (30 m/yıl) ve en az %0,5 toplam organik karbon (TOC) değerine ihtiyaç vardır (Rice ve Claypool, 1981). Biyojenik metan gazının önceleri deniz ta-

banı sedimanlarının yüzeyinden itibaren birkaç metre derinliklerinde olduğu öne sürülmekteydi, ancak günümüzde bakteriyel aktivitelerin deniz tabanındaki sedimanların birkaç 100 m lik derinliklerine kadar ulaşabildiği belirlenmiştir. Bunun yanısıra yüksek sedimentasyon nedeni ile biyojenik kökenli metan gazına oldukça derin kesimlerde de rastlanmaktadır (Davis, 1992).

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 oluşturmalarının bir sonucudur. Oluşan bu gaz ve sıvılar derinlerden fay ve kırık sistemleri ile yukarıya taşınmakta ve yeterli miktarı gaz hidrat kararlılık zonuna (GHKZ) ulaştığında hidrata dönüşmektedir (Sloan, 1990; şekil 7). Gaz hidratları içerisindeki metan gazı doğal gaz olarak bilinir. Doğal gazın varlığı, hem önemli bir enerji kaynağına işaret etmekte hem de ga-



Şekil 7- Gaz hidratların oluşum ve kararlılık zonları.

zın termojenik kökenli olması durumunda derinlerdeki hidrokarbon aramaları için bir rehber niteliği taşımaktadır. Bu proses sonucu oluşan hidratlar metana ilaveten başka gazları, mineralleri ve bileşiklerini içerebilir. Hidrat zonunun kalınlığı jeotermal gradyan veya dünyanın derinliğine bağlı olarak hangi hızla ısındığı ile doğru orantılıdır.

Dünyadaki hidratların çoğu derin deniz tabanı altında binlerce kilometrelik alanları kapsayan yerlerde bulunur. En büyük doğal gaz birikimleri gaz hidrat formunda olup, okyanusal, derin su ve buzul tortullarında bulunabilir. Okyanusal sedimanlardaki gaz hidratlar, aktif ve pasif kıta kenarlarında (kıta sahanlığı, kıtasal eğim ve kıta yükselimi bölgelerinde), derin su sedimanlarındaki gaz hidratlar, denizlerde ve göllerde, buzul tortullarındaki gaz hidratlar ise hem kara kesiminde hem de kıta sahanlıklarında yer alır. Sulu ortamlardaki çökellerde, derinliğin 300 metreyi geçtiği ve su sıcaklığının 0° C ye yaklaştığı deniz tabanında, gaz hidratlar 1100 m derinlikteki sedimanlar içerisinde bulunabilir. Kutupsal bölgelerdeki gaz hidratlar ise 150 m ve 2000 m derinlikteki tortullar içerisinde yer alır (USGS, 2007). Arktik gaz-hidrat çalışmalarıyla elde edilen sonuçlara göre, gaz hidrat tabakalarının derinliği toprak yüzey seviyesinin hemen altında 130 metreden 2000 m'e kadar çıkabilir (Mielke, 2000). Dünyadaki gaz hidrat yatak rezervinin 3 bin 700 trilyon ile 10 milyon trilyon metreküp arasında olduğunu bilir.

Önemli bir potansiyele sahip gaz hidratlar; enerji kaynağı, küresel iklim değişimi faktörü, ve jeolojik tehlike nedenlerinden ötürü bir çok araştırmaya konu olmaktadır (USGS, 2007). Son 30 yılda bu konuda yaklaşık 7000'den fazla yayınlanmış makale bulunmaktadır (Makogon, 1997). Bir

çok sebepten dolayı hem enerji dünyasının ilginç çekmekte hem de uzak durulmaya çalışılmaktadır.

GAZ HİDRATLARIN AVANTAJLARI

Gaz hidratların önemli avantajları bulunmaktadır.

1. Doğal şartlarda buz halinde bulunan bu maddenin, çok önemli bir yakıt potansiyeli oluşturması.- İçerdiği gazın hacmi, metan hidrat kristallerini başlıca fosil yakıt türleri arasına sokmaya aday gösterir. ABD Enerji Bakanlığı'nın hesaplarına göre var olduğu sanılan metan hidrat yataklarının yalnızca değerlendirilebilse bile dünyanın tüm doğal gaz rezervlerinden daha fazla enerji elde edilebilecektir. Gaz hidratlar büyük bir olasılıkla petrol ve doğal gaz rezervlerinin tükenmesiyle, dünyanın gelecekteki enerji kaynağı olacaktır. Gelecekte petrol şirketlerinin yerini hidrat şirketlerinin alacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, pek çok ülkede enerji verimliliğinin artırılması ve kaynakların çeşitlendirilmesine yönelik gayretler devam etmektedir.

2. Küresel ısınmayı önleyebilecek etkisinin olması.- Metan zengini olan bu bileşik, iklim değişikliklerinde önemli rol oynayabilir. Küresel ısınmaya sebep olarak gösterilen gazlar karbondioksit ve metan gazıdır. Karbondioksit gazının atmosfere salınımının en büyük sebebi petrol ve kömür gibi yakıtların çok fazla kullanılmasıdır. Zira metan, yandığında kömürün çıkarıldığının sadece 1/4'ü kadar karbondioksit çıkarır. Çoğunlukla metandan oluşan bu yakıt kömür ve petrol'a göre daha temiz yanar. Üstelik küresel ısınmaya da çare olabilir. Hidratları kullanıma sokarsak, atmosfere karışan karbondioksitin yarıya düşeceği düşünülebilir.

3. *Yeni yaşam topluluklarına ortam oluşturması.*- Gaz hidratların diğer bir çevresel etkisi ise deniz tabanında hidrata bağlı gaz çıkışlarının olduğu bölgelerde çıkan gazlarla beslenen çok küçük yaşam topluluklarının yeni mikroorganizmaların varlığını sürdürmesine imkan tanınmasıdır.

GAZ HİDRATLARIN DEZAVANTAJLARI

Gaz hidratların dezavantajları 4 kategoride toplanabilir.

1. *İklimsel süreçler üzerindeki etkisi.*- Dünyamızın atmosferi, fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan sera gazlarının (CO_2 , CH_4 gibi) yol açtığı ısınma açısından çoktandır tehlike sinyalleri verse de, dünya enerji politikası, halen ağırlıklı olarak fosil yakıtlar üzerine kuruludur. Şüphesiz dünya üzerinde son 30 yılda endüstriyel gelişmeye bağlı olarak fosil yakıtların yanması ile açığa çıkan karbondioksit gazının da payı oldukça büyüktür. Bilindiği gibi fosil yakıtlarının yanma esnasında atmosfere bıraktıkları karbondioksit gazı, atmosfer sıcaklığının giderek artmasına, bu ise dünya buzullarının yavaş yavaş erimesine ve okyanus sularının yükselmesine sebep olur. Bilim adamları; 2050 yılında buzulların yarısının eriyeceğini, karaların belli oranda su altında kalacağını 21. yüzyılın sonlarına doğru yeryüzünde ayak basacak kadar dahi belli bir toprak parçasının kalmayacağını iddia etmektedirler (Paull ve diğerleri, 1991; Dillon ve diğerleri, 1998; Dickens ve diğerleri, 1995; Haq, 1997).

Doğal şartlarda buz halinde bulunan gaz hidrat, gaz haline geçtiğinde bir "sera" gazı olan metan gazını açığa çıkarır. Metan gazı karbondioksitten 10 kat daha fazla bir etkiyle dünya atmosferini altüst edecek bir potansiyele de sahiptir. Hangi jeolojik şartların metan hidratların denge yapısını

etkileyerek metan gazının atmosfere salınmasını tetiklediği tam olarak açık değildir. Eğer muazzam gaz hidrat stokları, kaza sonucu atmosfere yayılacak olsaydı, yeryüzü iklimini tamamen değiştirecek çok büyük bir etkiye sahip olurdu. Dickens ve diğerleri, (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. Dimitrov (2002), Schmale ve diğerleri (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 yükselmeceğini vurgulayarak, gaz hidratların iklimsel süreçlerdeki olumsuz etkilerine karşı görüşlerini belirtmişlerdir.

2. *Çıkartılması ve depolanması için teknik yetersizlik.*- Dünyada günümüz teknolojisiyle deniz dibinden gaz hidrat çıkartılmıyor. Yüzeyden 3000 metre derinlikteki okyanus tabanının ve gaz hidratı yataklarının araştırılması, çok gelişmiş cihazlar gerektirir. Gaz halindeki kaynakların belirlenmesi, rezerv tesbiti ve bunların çıkarılabilmesi için tamamen yeni bir teknoloji geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Üstelik dünyanın pek çok bölgesinde karada yapılan çok daha az zahmetli bir sondaj yardımıyla doğal gaz kaynaklarına ulaşmak, okyanus altındaki buz kristallerinden gaz çıkarmaktan daha kolay ve daha ekonomiktir. Ancak, dünya üzerinde Japonya gibi fosil yakıtı sahip olmayan ülkeler vardır ve gaz hidratı kaynakları bu ülkeler için küçümsenemeyecek öneme sahiptir. Japonlar, Nankai Trough denilen kıyı bölgesinin 50 mil güneydoğusunda bulunan bölgedeki hidrat yataklarından metan elde etmek için 5 yıllık ciddi bir planı uygulamaya koy-

dular. Var olan gaz hidrat rezervlerinden üretimin ise gerekli teknolojinin gelişmesine bağlı olarak karalarda 2015 yılından, denizlerde ise 2030 yılından önce mümkün olamayacağı öngörülmektedir (Grauls, 2001).

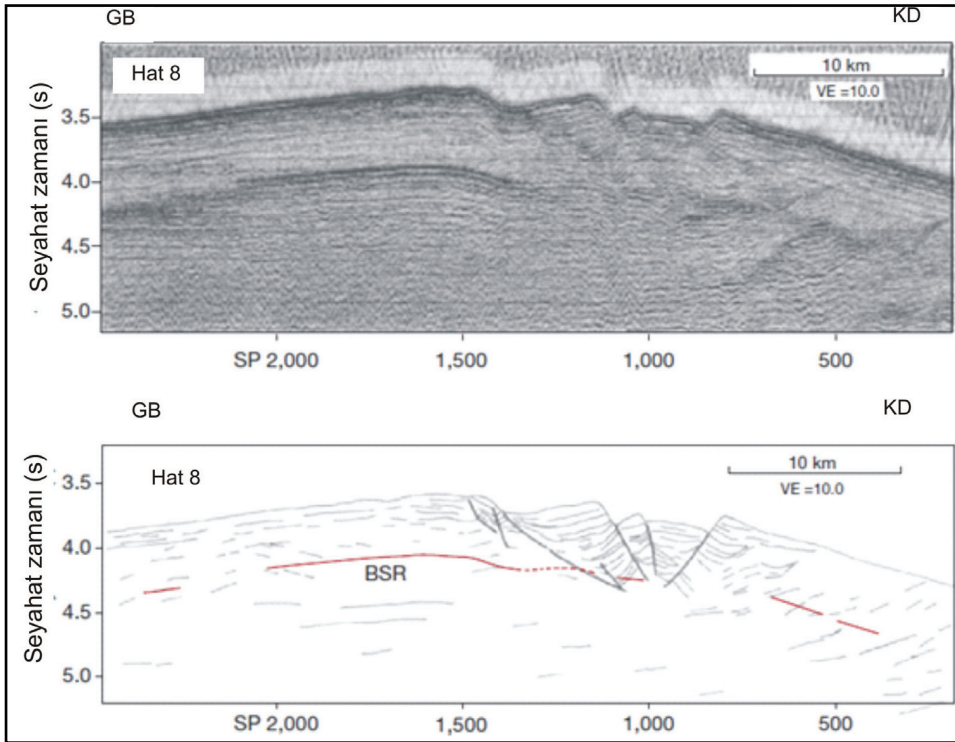
3. *Heyelan, kayma ve tsunamiye neden olabilir.*- Kayma düzlemleri ile aynı derinliklerde oluşan hidratlar çözülünce sedimanlardaki basınç artmakta, duraylılık azalmakta ve çökeller akıcı hale gelmektedir. Böylece heyelan ve kaymalar oluşmaktadır (Pecher ve diğerleri, 2005). Bu heyelanların tsunami denen dev dalgaları oluşturabileceği düşünülüyor. Dünya üzerinde Norveç kıta yamacında bu tür heyelanlar (Bugge ve diğerleri, 1987) gözlenmiştir. Oluşan bu devasa heyelanlardan biri İskoçya kıyılarında 4 m yüksekliğinde tsunami dalgası oluşturmuştur (Nisbet ve Piper, 1998).

4. *Deniz altı doğal gaz boru hatlarını tıkanmasına neden olur.*- Hidratlar, özellikle soğuk havalarda gaz depolama alanlarında problemlere neden olarak, özellikle deniz-altı doğal gaz hatlarında bazı tıkanmalara neden olabilirler.

GAZ HİDRATLARIN ÜRETİMİ

Hidrat rezervlerinin belirlenmesi için sismik metodlar ve karotlu sondaj tercih edilebilmektedir (Şekil 8, şekil 9). U.S. Geologic Survey tarafından yürütülen araştırmalarda, hidrat rezervleri içinde sesin yayılım hızı çok yüksek olarak belirlenmiştir.

Metan gazının hidrat rezervlerinden nasıl üretileceği kesin olarak belirlenmiş değildir. Önerilen en basit yol, genelde hidrat rezervinin altında yer alan doğal gaz rezervine bir sondaj kuyusu açmaktır. Re-



Şekil 8- Blake Bahama-gaz hidrat seviyesi BSR (Bottom simulating reflector)



Şekil 9- Gaz hidrat karot örneği. Marmara Denizi Batı Sırtı. Esonet Marmara Denizi Araştırmaları. (Fotograf. Namık Çağatay)

zervuardan gaz alındıkça üstteki hidratin bir kısmı bozulacak ve daha fazla metan gazı ortama salınmış olacaktır. Buna ilaveten doğrudan hidrat tabakasına açılacak bir sondaj kuyusu da basınç düşmesine neden olacak ve böylece metan elde edilebilecektir.

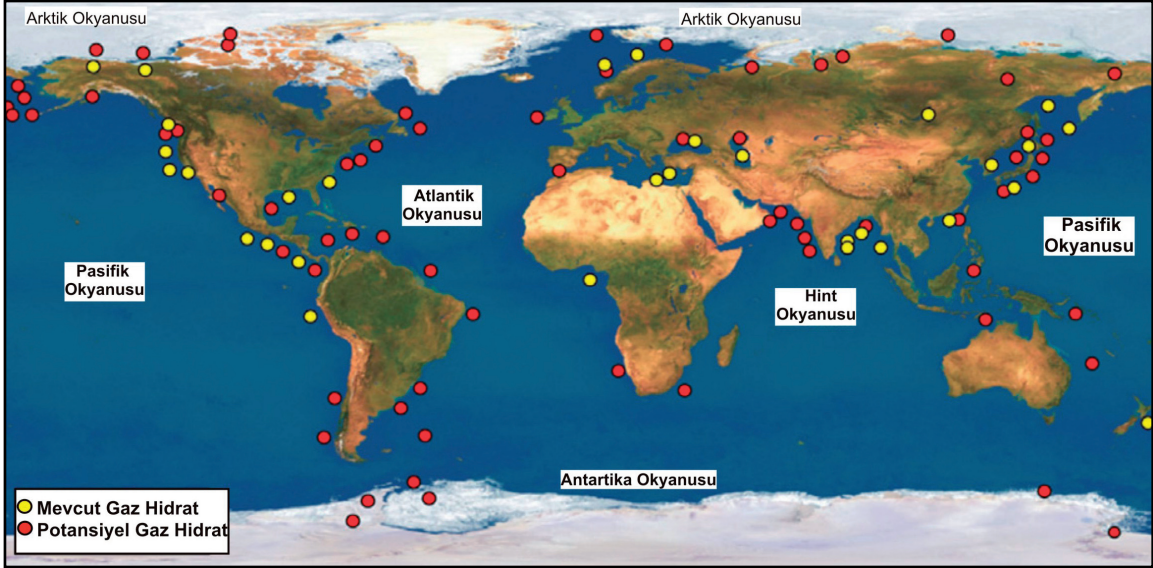
Eğer iki kuyu açılması tercih edilir ise, birinci kuyudan buhar, sıcak su veya antifiriz malzeme gönderilerek hidrat tabakasının erimesi ve metan gazının da ikinci kuyudan alınması mümkün olabilir (Moore, 2000).

ABD Ulusal Enerji Teknolojileri Laboratuvarı'nda çalışan Dr. Ray Boswell araştırmacıya göre en çok umut vadeden yöntemlerden birisi yüksek basınçsızlaştır-

ma, hidrat kaynaklarının üzerindeki basınç azaltıldığında metan gazı elde edilebilir. Diğer bir yöntemi ise metanı kafes yapının içerisinde çıkarmak için karbondioksit kullanmak diyen Dr. Boswell uygulamada çalışanların metan gazını çıkarırken günümüzde petrol ya da doğal gaz çıkarırken kullanılan yöntemlerin aynısını kullanacağını belirtir.

GAZ HİDRATLARIN DÜNYADAKİ DAĞILIMI

Jeologlar, bugün, yerkürede hemen hemen her yerde gaz hidratlara dair işaretle bulmaktadır. Yapılan çalışmalar, gaz hidrattarın en çok kuzey kutup bölgesindeki buz tabakaları altında ve kıta sahanlıkları-



Şekil 10- Dünyadaki gaz hidrat dağılımı. (Kvenvolden, K.A., ve Rogers, B.W., 2005).

nın kenarında bulunduğunu gösterir (Şekil 10). Dünya üzerinde yaygın olarak karalarda Alaska ve Sibirya gibi donmuş alanlarda, yüzeyden yaklaşık 300-400 ile 3000 m derinlikler arasında yer aldığını gösterir. Sibirya ve Alaska buzullarında yapılan sondaj araştırmaları, hidratlar hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır. Denizel alanlarda ise gaz hidratlara, pasif ve aktif kıta kenarlarında, derin denizel alanlarda, yakınlaşan 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 rastlanır (Makogon, 1974; Makogon ve diğerleri, 2007).

1997 yılında ABD'de gaz hidrat rezervlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan bir çalışmada 200.000 trilyon ft³'lük bir gaz rezervi, Birleşik Devletler kıyıları ile Alaska'da yer alan donmuş bölgelerde belirlenmiştir. Bu miktar, dünyanın bilinen doğal gaz rezervi olan 5.000 trilyon ft³'ten

daha büyüktür. Sadece Carolina kıyıları'nın açıklarında, 140 trilyon metreküpten fazla gaz hidrat tutulabilmektedir. Bu miktar, neredeyse, Amerika'da geçen yıl kullanılan doğal gaz miktarının 60 mislidir. Bu bölgenin dünyanın en zengin hidrat kaynaklarını barındırdığı tahmin edilmektedir. ABD güneydoğu kıta yamacındaki Blake Platosu'nda yaklaşık 3 bin metrekarelik hızlı çökme alanında ülkenin yıllık gaz tüketiminin yaklaşık 30 katına eşit metan rezervi saptanmıştır. Benzer rezervler dünyanın pek çok yerinde tanımlanmıştır. Japonya hükümeti 1995 yılında ulusal bir program oluşturarak, Japan National Oil Corp (JNOC) Kanada'nın McKenzie Deltası'nda sondajla arama çalışmaları yapmaya başlamıştır. 2015 yılında ekonomik üretimi planlamaktadırlar. Dünyada sadece Sibirya'da karadan gaz hidrat çıkartılmaktadır.

Güncelleştirilmiş küresel gaz hidrat envanterine göre, dünya üzerinde 39 alanda gaz hidrat çıkartılmakta, 116 alanda ise jeofiziksel, jeokimyasal ve jeolojik bulgular-

la gaz hidratın var olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 10; USGS, 2007). Bu hacmin ne kadarının endüstriyel ölçeklerde üretime geçirebileceği ise şu an için bilinmemektedir.

Ancak, varlığı kabul edilen pek çok metan hidrat rezervinin esas boyut ve lokasyonu hakkında hala elimizde çok az bilgi mevcuttur. Metan hidrat rezervlerini oluşumu ve duraylılığı basınç ve sıcaklığa bağlı olduğundan, rezervlerin deniz tabanı boyunca da dağılımı düzgün değildir.

TÜRKİYE'DE GAZ HİDRATLARLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye; Karadeniz, Ege, Akdeniz ve bir iç deniz olan Marmara Denizi ile birlikte yaklaşık 8 bin kilometrelik deniz kıyısına sahip bir ülkedir. Bir denizci ülkesi olması gereken Türkiye, denizlerindeki enerji, maden ve endüstriyel ham madde kaynaklarını yeterince değerlendirememiş ve gaz hidrat arama çalışmalarını henüz yeterince yapamamıştır. Ülkemizde 2000 yıllarda TÜBİTAK'ın da desteğiyle ilk gaz hidrat çalışmaları başlamıştır. Karadeniz'in altı bilindiği gibi metanla doludur. Bu da denizlerimizde gaz hidrat olabileceğinin göstergesidir. Son yıllarda Türkiye'yi çevreleyen denizlerde gaz hidrat ve hidrata bağlı sığ gaz araştırmaları hız kazanmış ve Karadeniz'de 5 alanda bulunmasının ardından Doğu Akdeniz'de Finike Körfezi açıklarında, Kıbrıs yakınlarında, Marmara Denizi ve Ege Denizi'nde önemli rezervlere rastlanmıştır. Türkiye kıyılarımızda ilk gaz hidrat ve buna bağlı sığ gaz aramaları TÜBİTAK ve DPT projeleri ile Ergün ve diğerleri (2000), Çiftçi ve diğerleri (2003) tarafından 9 Eylül Üniversitesi "Piri Reis" Araştırma Gemisi ile gerçekleştirmiştir. Sürdürülen çalışmalarda, ülkemiz kıyılarında sığ gaz çıkışları sismik ve sonar verileri ile araştırıl-

mış ve detaylı görüntülenmiştir (Okay ve diğerleri, 1999; Okay ve Ediger, 1999; Okay ve diğerleri, 2000; İmren ve diğerleri, 2001; Rangin ve diğerleri, 2002; Çiftçi ve diğerleri, 2003; Çiftçi ve diğerleri, 2005; Karabakal ve diğerleri, 2005; Kuşcu ve diğerleri, 2005; Zitter ve diğerleri, 2005; Okay ve diğerleri, 2006; Dondurur ve Çiftçi, 2007).

Ülkemizde bu gibi kaynakların araştırılması için çalışmalar yapıldığını görmek gerçekten güzel ve umut verici bir süreçtir. Ülkemiz denizlerinde öncelikle şelf ve ötesi alanlarda daha sonra derin sularda bu tür çalışmaların yapılabilmesi için donanımlı ulusal araştırma gemilerine ihtiyaç vardır. Ülkemiz için önemli olacak bu tür çalışmaların gerçekleştirilmesinde MTA ve TPAO gibi köklü kuruluşların alacağı yeni gemiler bu alanlardaki çalışmalara yeni bir boyut katacaktır. Önümüzdeki 5-10 yıl içerisinde ülkemizde de gaz hidratlar konusunda araştırmaların artması beklenmektedir. Her şeyden ötesi kendi kaynaklarımızla bu enerjiyi ortaya çıkarıp, üretebilirsek, petrol ve doğal gazda dışa bağımlılıktan kurtulma şansını elde etmiş olacağız.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bugge, T., Befring, S., Belderson, R.H., Eidvin, T., Jansen, E., Kenyon, N. H., Holtedahl, H., ve Sejrup, H.-P., 1987. A giant three-stage submarine slide off Norway, *Geological Marine Letters*, 7, 191-198.
- Carlson, P.R., Golan-Bac, M., Karl, H.A. ve Kvenvolden, K.A., 1985. Seismic and geochemical evidence for shallow gas in sediment on the Navarin Continental margin, Bering Sea. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 69, 422-436.
- Çiftçi, G., Özel, E. ve Dondurur, D., 2003. Doğu Karadeniz Türkiye şelf ve yamacında

- gaza doymuş tortullar ve gaz hidratların sismik yöntemlerle araştırılması, DPT Projesi, Proje kodu: 2003K120360.
- Collett, T. S., 2002. Energy resource potential of natural gas hydrates, AAPG Bulletin 86, 1971-1992.
- Coşkun, S., Gürçay, S., Okay, S., Özer, P., Çiftçi, G. ve 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.
- Davis, A.M., 1992. Shallow gas: an overview. Continental Shelf Research, 12/10,1077-1079.
- Dickens, G. R., O'Nei J. R., Rea, D. K., ve 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. ve Booth, J. S., 1998. Evidence for faulting related to dissociation of gas hydrate and release of methane off the southeastern United States. 293302. In. J.-P. Henriot, 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. ve 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.
- Ergün, M., Çiftçi, G., Dondurur, D., ve Limonov, A., 2000. Karadeniz sedimanlarında gaz hidrat oluşumu ve etkilerinin araştırılması, TÜBİTAK projesi, Proje Kodu:100Y078.
- Fannin, N. G. T., 1980. The use of regional geological surveys in the North Sea and adjacent areas in recognition of offshore hazards, in: Offshore Site Investigations, D. A. Arduş, editor, Graham and Trotman, London, 5-21.
- Floodgate, G. D. ve Judd, A. G., 1992. The origins of shallow gas. Continental Shelf Research, 12/10, 1145-1156.
- Grauls, D., 2001. Gas hydrates: importance and applications in petroleum exploration, Marine and Petroleum Geology, 18, 519-523.
- Haq, B. U., 1997. The role of gas hydrates in climate change, Thalassas, 13, 127-134.
- Hovland, M., 1992. The evidence of shallow gas in marine sediments. Continental Shelf Research, 12/10, 1081-1905.
- _____ ve Judd, A.G, 1988. Seabed Pockmarks and Seepages. Impact on Geology, biology and the Marine Environment. Graham and Trotman Limited, London,293s.
- Hürriyet., 2005. Karadeniz'in dibinde dev çamur volkanı, <http://hurarsiv.hurriyet.com.tr/>
- İmren, C., Le Pichon, X., Rangin, C., Demirbağ, E., Ecevitoğlu, B., ve Görür, N., 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.
- Karabakal, U., ve Parlaktuna, M., 2005. Natural gas hydrate Formation conditions of Black Sea - A Theoretical Approach, 15th International Petroleum and Natu-

- ral Gas Congress and Exhibition of Turkey IPETGAS 2005, 11-13 May 2005.
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Gökaşan, E., Awata, Y., Tur, H., Şimşek, M. ve 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., 1995. A review of the geochemistry of methane in natural gas hydrate, *Org. Geochem.*, 23, 997-1008.
- _____, 1988. Methane hydrate-a major reservoir of carbon in the shallow geosphere? *Chemical Geology*, 71, 41-51.
- _____, 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.
- _____, ve Mc Menamin, M. A., 1980. Hydrates of natural gas: A review of their geological occurrence, *U.S. Geol. Circ.*, 825, 111.
- _____, ve Vogel, T. M. ve Gardner, J. V, 1981. Geochemical prospecting for hydrocarbons in the outer continental shelf, southern Bering Sea, Alaska. *Journal of Geochemical Exploration*, 14, 209-219.
- _____, ve Rogers, B.W., 2005. Gaia's breath—global methane exhalations *Marine Petroleum Geol.* 22 579–90
- Makogon, Y. F., 1965. A gas hydrate formation in the gas saturated layers under low temperature, *Gas Ind.* 5.
- _____, 1974. *Hydrate of Natural Gas*, Nedra, Moscow, (237 pp.) 1974 Penn.Well Tulsa, USA.
- _____, 1997. *Hydrates of Hydrocarbons*, Penn. Well Publ. Co, Tulsa, USA.
- Makogon, Y. F., Holditch, S.A. ve Makogon, T.Y., 2007. Natural gas-hydrates-A potential energy source for the 21st Century, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 56, 14-31.
- Mielke., 2000. The National Council for Science and Environment RS 20050 : Methane Hydrates: Energy Prospect or Natural Hazard James E. Mielke Feb Ayrıca: [http://www.hydrate.org /resources.htm](http://www.hydrate.org/resources.htm).
- Moore, B., 2000. Do Hydrates Have a Future World People ve Technology Nov.22.
- Nisbet, E. G., 1990. The end of the ice-age, *Can. J. Earth Sci.* 27, 148-157.
- _____, ve 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, 129148.
- _____, Kaslılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 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. ve 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.
- Okay, M. ve 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.

- Paul, C. K., Ussier, W. ve Dillon, W. P., 1991. Is the extent of glaciation limited by marine gas hydrates? *Geophysical Research Letter*, 18, 432434.
- Pecher, LA., Henrys, S. A., Ellis, S., Chiswell, S. M., ve 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.
- Rangin, C., Bader, A. G., Pascal, G., Ecevitoglu, B. ve Görür, N., 2002, Deep structure of the Mid Black Sea High (offshore Turkey) imaged by multi-channel seismic survey (BLACKSIS cruise), *Marine Geology* 182, 265-278.
- Rice, D. D., ve Claypool, G. E., 1981. Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas, *AAPG Bulletin*, 65, 5-25.
- Sloan, E. D., 1990. *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, Marcel Dekker, New York.
- Schmale, O., Greinert, J. ve 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.
- USGS (United State Geological Survey), 2004. http://geology.usgs.gov/connections/mms/joint_projects/Methane.htm, 28 Nisan 2008.
- USGS, 2007. Internet Sitesi <http://walrus.wr.usgs.gov/globalhydrate/images/browse.jpg> Erişim Tarihi: 01.08.2009.
- W. Xu ve C. Ruppel, 1998. Predicting the Occurrence, Distribution, and Evolution of Methane Gas Hydrate in Porous Marine Sediments, draft submitted to *Journal of Geophysical Research*.
- Zitter, T. A. C., Huguen, C. ve 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.