

Türkiye'nin Derin Deniz Çamur Volkanları

Derin deniz çamur volkanları yüzlerce metre yükseklikteki ve kilometrelerce uzunluktaki sualtı dağlarının ve sıradağlarının tektonik olarak etkin bölgelerinde bulunur. 1990'lı yıllara kadar keşfedilmemiş olan çamur volkanları aralıklı olarak kaya parçaları, sıvılar ve metan gazı ortaya çıkaran sıra dışı koşullara sahip bölgelerdir.



Şekil 1. Keşif gemisi Nautilus

Çamur volkanlarından yavaş metan gazı salımı soğuk sızıntı olarak adlandırılır. Açığa çıkan metan gazı, fotosentez için gerekli olan ışığın ulaşmadığı bu derinliklerde, yaşam için gerekli kimyasal enerjiyi sağlar. Çamur volkanları, gezegenimizde yaşamın var olduğu en sıra dışı ve bilimsel olarak çalışılması en zor çevrelerden biridir. Özellikleri konusunda çok az bilgi sahibi olduğumuz derin deniz çamur volkanları, Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyılarının açığındaki bölgelerde de bulunur. Birçok ülkeden bilim insanları geçen yaz derin deniz çamur volkanlarını keşif gemisi *E/V Nautilus*'la (Şekil 1) inceledi. Rhode Island Üniversitesi araştırmacılarından Dr. Nicole Raineault ve Michael Brannan, Woods Hole Oşinografi Enstitüsü araştırmacılarından Dr. Tim Shank ve Ocean Exploration Trust deniz

kâşiflerinden Dr. Robert Ballard ve Katy Croff Bell liderliğinde gerçekleştirilen çok disiplinli bu araştırma seferi, Türkiye, ABD ve Yunanistan'dan biyolog, ekoloğ, jeolog, harita uzmanı ve jeokimyacıların oluşturduğu uluslararası bir işbirliği ile gerçekleşti. Bu sefere Dokuz Eylül Üniversitesi'nden Dr. Muhammet Duman uzman araştırmacı ve Dışişleri Bakanlığı'nın temsilcisi olarak katıldı. Son teknoloji ürünü robotik kollar ve uzaktan kumandalı insansız su altı araçları (ROV) kullanılarak, 2300 metre derine kadar inildi. Yüksek çözünürlüklü görüntüler, haritalar ve biyolojik örnekler bilim insanları tarafından toplandı. *Nautilus* keşif programı, nadir olarak görülebilen bu derin deniz ortamının çok az bilinen biyolojik çeşitliliği ve kemosentetik toplulukları hakkında bilgi toplanmasına olanak sağladı.

Finike (Anaksimander) Çamur Volkanları

Doğu Akdeniz'deki Helenik bindirme zonu ile Kıbrıs yayı arasında tektonik olarak etkin bir bölgede bulunan Finike dağları üç ayrı tepeden oluşur: Anaksimander, Anaksimenes ve Anaksagoras (Şekil 3). Yerel tektonik etkinlik çamur volkanları ve soğuk sızıntıları içeren ve varlığına az rastlanan farklı yaşam alanlarına zemin hazırlayan deniz tabanını özelliklerini ortaya çıkardı. Finike deniz altı dağlarına 2012 yazında yapılan seferin önemli bir özelliği bu bölgeye ait biyolojik örneklerin *Nautilus* grubu tarafından ilk kez toplanmış olması. Bulundukları derinlik (>1000 m) nedeniyle bu çamur volkanları ve ilişkili bentik toplulukları hakkındaki bilgimiz sınırlı. Deniz dibi çökeltilerinden sızan metan ve hidrojen sülfürü metabolize eden büyük bakteri topluluklarına ek olarak, iri tüp kurtlarının kolonize olduğu midye yatakları ve karbon kabuklarını araştırmak için *Hercules* ve *Argus* kullanıldı. Bölgedeki beş ayrı çamur volkanından alınan örnekler sayesinde moleküler DNA barkodlama ve istatistiksel topluluk çalışmaları için ilk defa nicel veri toplandı. *Hercules*'in (Şekil 4) robotik kol-

larını kullanarak toplanan ve çok sayıda küçük organizma (<1mm) barındıran çökelti örnekleri şu anda TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü'nde saklanıyor. Örneklerin ön analizleri 2216 metre derinlikteki Amsterdam çamur volkanlarının orta-eğim bölgesinden elde edilen mikrobik zemin çökeltilerinin, daha çok iki spionid su kurdu (*polychaete*) türü tarafından mesken tutulduğunu gösteriyor. Bu türlere ek olarak küçük çift kabuklu yumuşakçalar ve gastropodalar da gözlemlendi. Birincil olarak bu örnekleri hedef alan çok disiplinli ortak bir National Science Foundation (NSF) projesinin hazırlık çalışmaları Rhode Island Üniversitesi (URI) jeologlarından Dr. Nicole Raineault ile birlikte sürdürülüyor.



E/V Nautilus ve Deniz Keşif Programı

Nautilus Keşif Programı'nın misyonu, dünyanın en büyük ama aynı zamanda en az bilinen kaynağı olan denizleri araştırırken, okyanus mühendisliği, teknolojileri, eğitimi ve iletişimi alanlarının sınırlarını da genişletmek. 31 araştırma personeli ve 17 mürettebatın görev yaptığı 64 metrelik keşif gemisi, son üç senedir Bodrum, Yalıkavak limanında. Bu süre boyunca, araştırmacılar 24 saatlik keşif etkinliklerini mevsimlere göre Akdeniz'de, Karadeniz'de ve Doğu Atlantik Okyanusu'nda gerçekleştirdi.

Nautilus, derin deniz jeolojisi alanında uzman olan, uluslararası medyadan da yakından tanıdığımız Dr. Robert Ballard'ın yönetiminde, ABD'nin Connecticut eyaletinde bulunan Ocean Exploration Trust tarafından işletilen bir keşif gemisi. *RMS Titanic*'i ve savaş gemisi *Bismarck*'ı keşfeden derin deniz araştırmacısı olarak tanınan Dr. Ballard, National Geographic Derneği kâşiflerinden ve ABD Okyanus Politika Komisyonu üyesi.



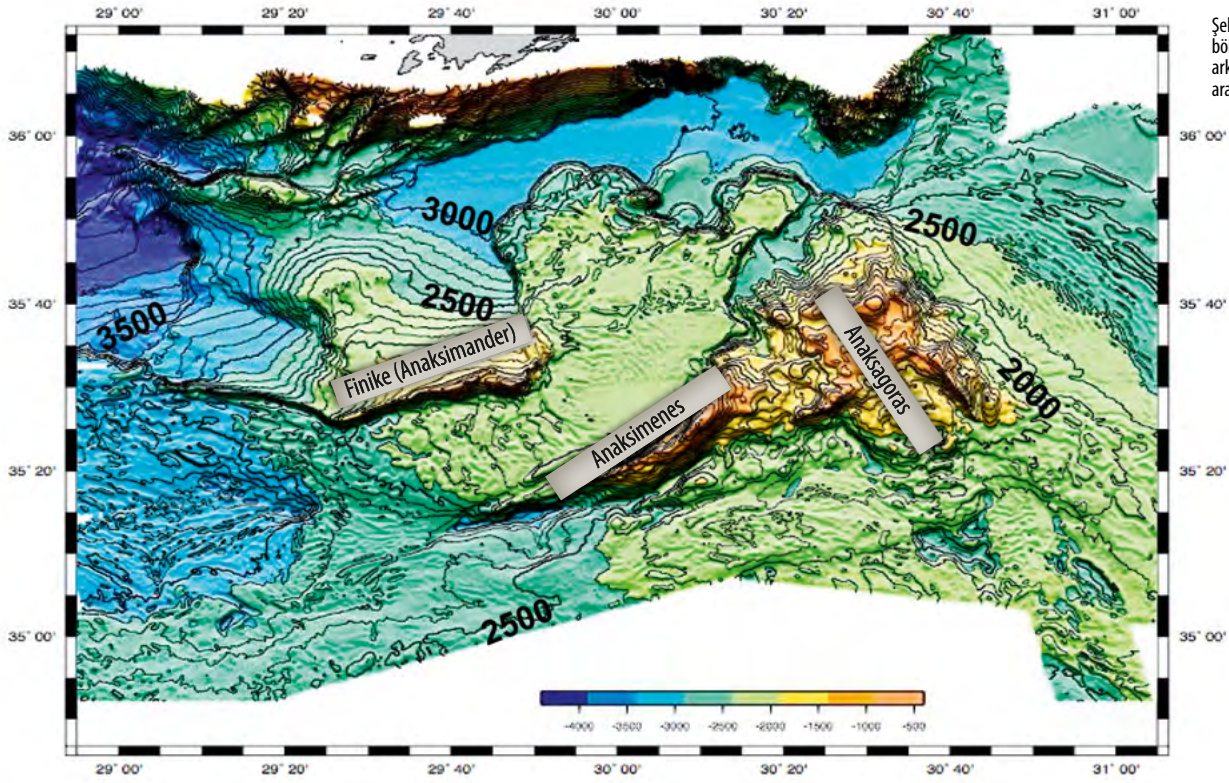
Şekil 2. ROV *Hercules* ve gagalı balinaların neden olduğu çamur oyukları



Uzaktan Kumandalı İnsansız Su Altı Araçları (ROV)

Keşif etkinliklerinin büyük bölümü uzaktan kumandalı insansız sualtı araçları (ROV) ile yapıldı (Şekil 2). Sualtı robotik araçlar gemiye fiber optik kablolar ile bağlıdır. Pilotlar, bu insansız araçları 4000 metre derinliğe kadar deniz tabanının üstünde yüzdürerek canlı video görüntüler ve veri aktarabiliyor. İnsansız araçlar *Hercules* ve *Argus* bir takım olarak çalışıyor. *Argus*, *Hercules*'in üstünde yüzerken *Hercules*'e ışık sağlıyor, video kameralar yardımıyla konumsal farkındalık oluşturuyor ve deniz yüzeyinde dalgadan kaynaklı yükseklik değişimlerini soğurarak *Hercules*'i sabitliyor. Yandan taramalı sonarlar ile donatılmış olan *Argus*, en fazla 400 metre uzaktaki cisimleri konumlandırabiliyor. Ana keşif unsuru olan *Hercules*'in ise HD kamera, ışık kaynakları, yük-

sek çözünürlüklü batimetrik ve lazer haritalama sistemleri, stereo görüntüleme kameraları, tarama sonarı, sıcaklık, iletkenlik, oksijen ve derinlik sensörleri ve örnek toplama donanımı var. *Hercules*'in robotik kolu çekirdeklenme ve emiş aygıtları kullanarak deniz tabanından biyolojik, fiziksel (örneğin su ve gaz) ve jeolojik örnekler topladı. Keşif seferine katılan bilim insanları ve mühendisler bu sefere özgü örneklenme araçları geliştirerek *Hercules*'e entegre etti. Örneğin Harvard Üniversitesi'nden keşif gezisine katılan bir bilim insanı, Finike deniz altı dağlarında bulunan soğuk sızıntı noktalarındaki suyun kimyasal içeriğini ölçmek üzere bir kütle spektrometre cihazını *Hercules*'e ekledi.



Şekil 3. Doğu Akdeniz'deki Finike dağı bölgesinin derinlik haritası (Lykousis ve ark., 2009'dan uyarlanmıştır). Yükselti aralığı 100 m.

Finike 2012 Keşfinde Öne Çıkanlar

Finike çamur volkanının keşfinden elde edilen terabaytlarca veriyi dikkatle incelemekten keşfin boyutlarını öngörmek zor olsa da, heyecan verici bazı ön bulgulara ulaşıldı.

Örneğin deniz altı dağlarının değişik bölgelerinde bulunan çamur volkanları arasında büyük farklılıklar olduğu, sızıntı olan ve olmayan bölgelerde farklı biyolojik toplulukların bulunduğu ve yeni keşfedilen

Athina çamur volkanındaki büyük karbon kabuklarının oluşturduğu -pek rastlanmayan- zeminlerden beklenmedik seviyede metan sızıntısı olduğu gözlemlendi. Detaylı deniz tabanı haritaları, çamur akıntılarının mozaiklenmiş görüntüleri, kaya yapıları, hendekler, kubbeler ve bu alanlar ile ilintili yüksek çözünürlüklü derinlik haritaları ve stereo görüntüler çamur volkanlarının oluşumu ve morfolojisi hakkında zengin birer bilgi kaynağı.

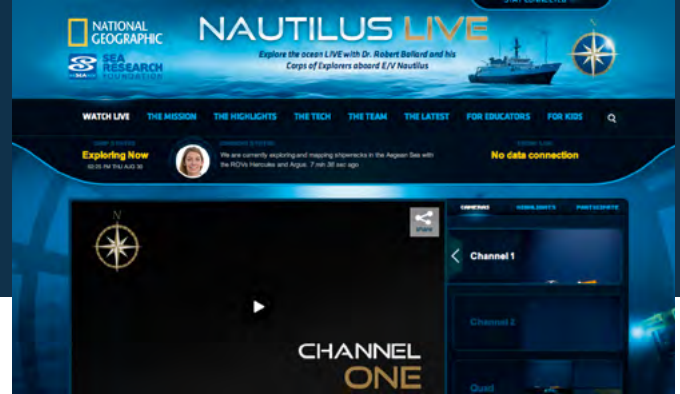


Şekil 4. Biyolojik analiz ve çökelti analizi için mikrobik tabanların ROV tarafından örneklenmesi (çekirdek örnekleri)

Telegörüntü Teknolojisi

Nautilus modern insansız derin deniz araçları ile telegörüntü teknolojisini birleştirerek, internet bağlantısı bulunan herke-se deniz keşif çalışmalarını gerçek zamanlı deneyimleme fırsatı veriyor. Uydu aracılığıyla deniz dibinden canlı olarak sunulan görüntülerin yanı sıra keşifte yer alan araştırmacıların sesli yayınları ve sefer ile ilgili diğer bilgilere web sitesinden ulaşılabilir (www.NautilusLive.org). Bu sitenin ziyaretçileri araştırmacılara sorular yöneltebiliyor ve sorularına gerçek zamanlı yanıtlar alabiliyor. Bu teknoloji aynı zamanda farklı araştırma alanlarından uzmanlara keşif çalışmalarına “nöbetçi” olarak uzaktan katılabilme olanağı sunuyor. Ek uzmanlık gerektiren yeni ve bek-

lenmedik keşifler yapıldığında, bu bulguların değerlendirilmesine ve en iyi şekilde belgelenmesine yardımcı olmak üzere uzmanlarla hemen iletişime geçilebiliyor.



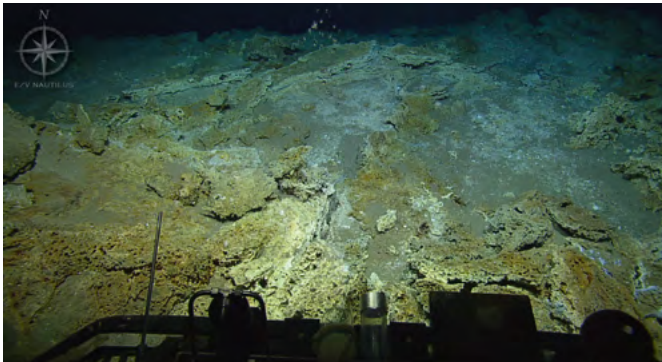
Takım Çalışması

Bu türden çok disiplinli ve başarılı bir çalışma, geleneksel disiplinler arası sınırları aşan bir işbirliği ile mümkün. Arkeoloji, jeoloji ve biyoloji alanındaki uzmanlar keşif çalışmalarını yönlendirirken, lise ve üniversite seviyesindeki stajyerler bilimsel gözlemlere katılarak bu tür bilimsel çalışmalar hakkında birinci elden bilgi edinebiliyor. Gemide bulunan mühendisler insansız araçları kumanda edip bakımını sağlarken video mühendisleri görüntülerin en yüksek çözünürlükte kaydedilmesini ve internet üzerinden dağıtılmasını sağlıyor. Eğitmenlerden oluşan ve “Eğitmenler Denizde” isimli bir grup da keşif çalışmaları ve gemi yaşamı hakkında internet üzerinden bilgi veriyor.

Etkin sızıntılar Amsterdam, Thessaloniki ve Athina çamur volkanlarını içeren bölgelerde tespit edildi, bu bölgelerdeki çatlamış karbon kabuklarından metan kabarcıklarının salındığı gözlemlendi (Şekil 5). Tüp kurtlarının yoğun olarak bulunduğu (Şekil 6)

bu bölgelerde, etkin olarak sızan sıvının sıcaklığının, çevresindeki deniz suyu sıcaklığı ile aynı olduğu (14 °C) tespit edildi. Mikrobik tabanların beş çamur volkanında da parçalı olduğu ve bu bölgelerdeki en yaygın mikrohabitatlardan birini oluşturduğu sonucuna ulaşıldı (Şekil 4). Bu tabanlar birkaç metre kadar olabilen büyüklükleri ve beyazdan turuncuya ve koyu griye kadar değişebilen renkleri açısından farklılık gösteriyor. Mikrobik zemin renklerinin çökeltideki sülfür oksidasyon etkinliği ile ilişkili olduğu düşünülüyor, turuncu veya kırmızımsı tabanların beyaz tabanlara göre azalmış sıvıların daha yüksek akışına maruz kalıp kalmadığı tartışılıyor. Daha yaşlı olan sızıntı alanları tüp kurtları, midyeler, gastropodalar, galatheid yengeçleri ve denizkestanelerinden oluşan daha çeşitli topluluklara ev sahipliği yapıyor. Bu alanlar biyolojik olarak fakir derin deniz bölgelerinde bulunan sızıntı alanlarındaki biyoçeşitliliğin temelini oluşturuyor. Messina tuzluluk krizini takip eden izolasyona bağlı olarak, Akdeniz çamur volkanlarındaki biyolojik toplulukların Atlantik Okyanusu'nda karşılaşılanlardan farklı olduğu düşünülüyor.

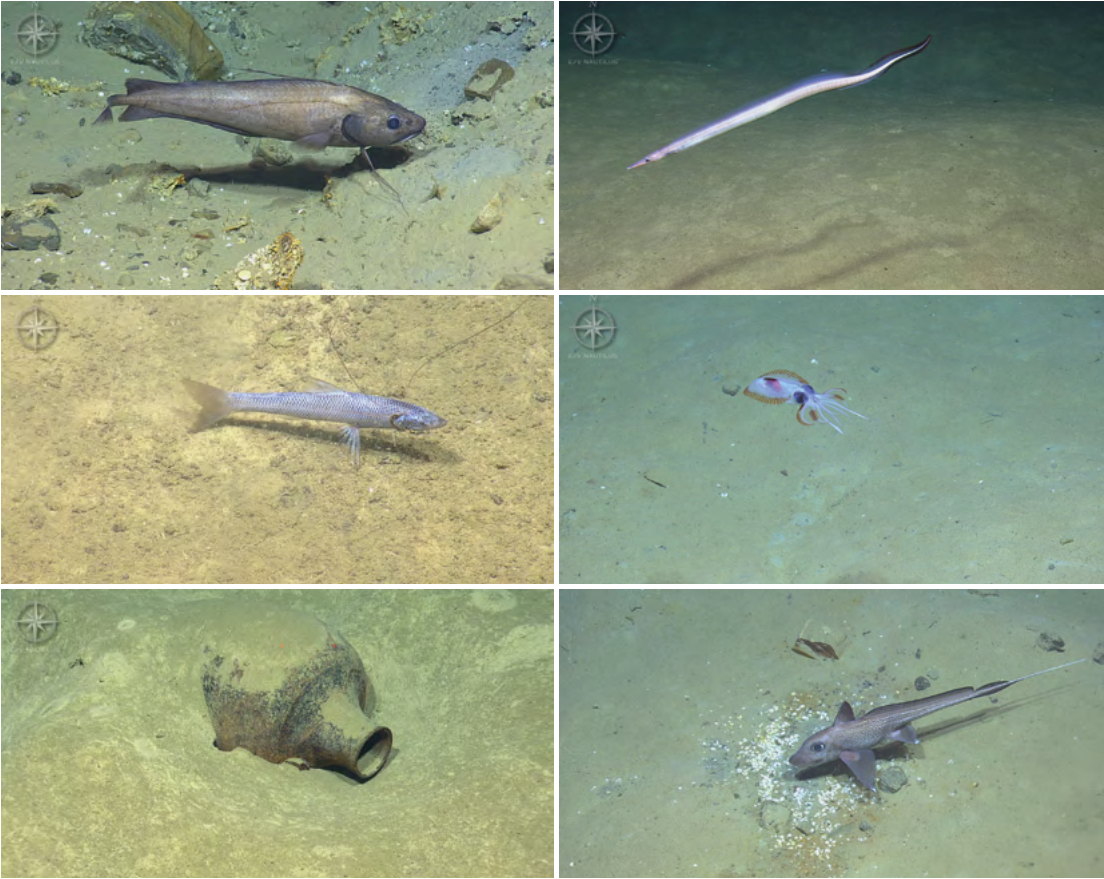
Şekil 5. Athina çamur volkanında bulunan çatlamış karbon kabuklarından metan kabarcıklarının salımı



Şekil 6. Karbon kabukları arasında kaydedilen tüp kurtları ve denizkestanesi



Finike deniz tepelerindeki organizmalar ve bir amfora örneği



Keşfedilen birçok bölgede yoğun olarak içi boş, çift kabuklu birikimi gözlemlendi. Bu durumun sızıntılar etkinliğini yitirdiğinde, bu bölgelerin sakinlerinden olan çift kabuklu yumuşakçaların ölmesine bağlı olduğu düşünülüyor. Karbon kabukların içinde tüp kurtları da gözlemlendi. Bu organizmalara ek olarak, ROV dalışları sırasında leopar köpekbalığı, üç ayaklı balık türü, iki yılan balığı türü, karides ve türü bilinmeyen bir kafadan bacaklının çökeltilerin hemen üstünde yüzdüğü kaydedildi.

Sızıntı alanlarının dışında kalan bölgelerin keşfi sırasında ise, çökelti ile kaplanmış olan deniz altı dağlarının sırtlarında soğuk su mercanları ve bu mercanlar ile ilintili Amfipod ve karidesler bulunduğu ortaya koyuldu. Anaksimenes'in zirvesinde siyah *Antipathes* mercanı ve aralıklı olarak *Desmophyllum* mercanı gözlemlendi. Atina'nın kayalık eğimindeki soğuk sızıntılarından uzak bölgelerde yoğun olarak fosilleşmiş mercanlar gözlemlendi. Kula ve Anaksimenes sırtlarında karşılaşılan oyuklara gagalı balinaların neden olduğu düşünülüyor (Şekil 2). Son olarak, eskiçağ denizcilerinin bu deniz altı dağlarının üzerinden geçtiğini düşündüren, bir bölümünün geç Roma dönemine ait olduğu tespit edilen birçok amfora bulundu (Şekil 7).

Nautilus keşif gemisinin 2012 ve öncesi keşif gezileri hakkında daha fazla bilgiye, *Nautilus* internet sayfasından (www.NautilusLive.org) ve Ocean Exploration Trust internet sayfasındaki (<http://www.oceanexplorationtrust.com/>) Oşinografi eki ve 2012 keşif gezisi özetinden erişilebilir. Bu yazıdaki görüntüler, haritalar ve resimler Institute for Explorations (IFE) tarafından sağlanmıştır.

E/V Nautilus kaptanı ve mürettebatına, bilim ve operasyon ekiplerine, Derya Ürkmez'e (Sinop Üniversitesi), Tufan Turanlı'ya (BOSAV Vakfı), Suma Tüzün'e (Adnan Menderes Üniversitesi), Aslı Özmaral'a (İstanbul Teknik Üniversitesi), Harun Özdaş'a (Dokuz Eylül Üniversitesi) ve Sacit Yılmaz'a (ASELSAN) teşekkür ederiz. Bu makaleyi Türkçeye çeviren Fuat Balcı, Ayşe Karson ve Fahri Karson'a ve önerileri için Sinan Hüsvreçoğlu ve İpek Erzi'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- European Science Foundation, "Life In The Extreme: Scientists Examine Harsh Conditions Of Underwater Mud Volcanoes", *ScienceDaily*, Erişim Tarihi: 3 Nisan 2013. from <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/11/061108154504.htm>
- Nikolaus, R., Ammerman, J. W., MacDonald, I. R., "Distinct pigmentation and trophic modes in Beggiaetia from hydrocarbon in the Gulf of Mexico", *Marine Ecology Progress Series*, Sayı 32, s. 85-93, 2003.
- Levin, L. A., "Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry, and microbes", *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, Sayı 43, s. 1-46, 2005.
- Danovaro, R., Company, J. B., Corinaldesi, C., D'Onghia, G., Galil, B., Gambi, C., Gooday, A. J.,

- Lampadariou, N., Luna, G. M., Morigi, C., Olu, K., Polymenakou, P., Ramirez-Llodra, E., Sabbatini, A., Sarda, F., Sibuet, M., Tsekepidis, A., "Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: the known, the unknown, and the unknowable", *PLoS ONE*, Cilt 5, Sayı 8, s. 23, 2010.
- Lykousis, V., Alexandri, S., Woodside, J., de Lange, G., Dahlmann, A., Perissoratis, C., Heeschen, K., Ioakim, C., Sakellariou, D., Nomikou, P., Rousakis, G., Casas, D., Ballas, D., Ercilla, G., "Mud volcanoes and gas hydrates in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean Sea)", *Marine and Petroleum Geology*, Sayı 26, s. 854-872, 2009.

