

HİDROTERMAL BACALAR

Doç. Dr. Nuray KARAPINAR [*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*

Bilim tarihi “rastlantı” sonucu ortaya çıkan keşif hikâyeleri ile dolu. Pek çok keşfin ortak yönleri, görünüşte birbiri ile ilgisi olmayan gerçekler arasında daha önce görülemeyen bağlantıların kurulması ve aranılan şey olmasa da bilim dünyasını sarsacak bir başka buluşun tesadüfen ortaya çıkıvermesidir. Rastlantının keşiflerde gerçekten önemli bir rolü olduğu genel kabul görür. Rastlantının keşfe dönüşmesinde bilim insanının olup bitene yepyeni bir gözle bakabilme ve her şeyi sorgulama özelliklerine sahip olması anahtar unsurlardır. Rastlantıyla gerçekleşen keşiflerden biri de hidrotermal bacalar.



Hidrotermal bacaların keşfi, Alvin isimli yüksek basınca dayanıklı bir denizaltı aracı ile Büyük Okyanus'un doğusundaki okyanus sırtı boyunca uzanan Galapagos Yarığı (Rift) jeolojik araştırmalarını tamamlayan bir grup bilim insanının verilerinde bir dizi sıcaklık artışını fark etmesiyle başladı. Okyanusun derinliklerinde sıcaklıkların kısa bir mesafede nasıl sert bir şekilde (donma noktasına yakın bir sıcaklıktan 400 °C'ye kadar) değişebileceğini merak eden bilim insanları, ilk önce küresel ısı bütçesi hesabı ile hidrotermal bacaların varlığını tahmin etti. 1977 yılının şubat ayında ise bilim dünyasında yankı uyandıracak ilk hidrotermal baca keşfi Galapagos adaları yakınında deniz tabanında gerçekleşti. Bu keşif sadece derin denizlerdeki hidrotermal bacaların keşfi değil aynı zamanda hidrotermal baca çevresinde yüzlerce yeni türün de dahil olduğu tamamen benzersiz bir ekosistemin varlığının keşfi idi.

Hidrotermal Bacaları Bu Kadar Önemli Yapan Neydi?

Geçmişte, güneş ışığının ulaşmadığı yerlerde fotosentez yapılamayacağından canlı yaşamının olmadığı düşünülüyordu ancak kemosentez adı verilen

süreçte metan, hidrojen sülfid veya hidrojen gibi inorganik bileşiklerin enerji kaynağı olarak kullanılabileceği keşfedilince kabul edilen yargılar yıkıldı. Kemosentez karasal ekosistemlerde keşfedilmişti. Örneğin güneş dışı enerji kaynaklarını kullanan nitrifikasyon ve anaerobik denitrifikasyon bakterileri ve anaerobik sülfür indirgeyen bakteriler karasal ve sığ su sistemlerinde birçok araştırmancının konusu olmuştu. Ancak, derin deniz hidrotermal bacalardaki kükürt ve metan enerji kaynağı olarak kullanan kemosentetik bakterilere dayalı büyük ve bütünleşik bir ekosistemin varlığı yeni bir keşifti ve beraberinde birçok önemli araştırma alanının açılmasına yol açacaktı.

Derin deniz hidrotermal bacalarda bulunan bu eşsiz yaşam ve biyoçeşitlilik, Güneş enerjisinden uzak dünyalarda yaşam alanları olabileceğini gösteriyordu ve bilim insanları, yaşamı, hidrotermal bacalar gibi güneş ışığının bulunmadığı ancak büyük elektrokimyasal farkların bulunduğu yerlerde de aramaya başladı. Grönland'ın kuzeyindeki buzla kaplı sulardaki Auroro hidrotermal baca alanı ve diğer hidrotermal bacaları incelemek için gerçekleştirilen keşif gezilerinin ve bilimsel çalışmaların sonuçları dünya dışındaki diğer gezegenlerdeki potansiyel yaşam hakkında daha fazla bilgi edinilmesine yardımcı olacak ipuçları sağlayacaktı.

Deniz Tabanındaki Hidrotermal Bacaların Oluşumu ve Jeolojisi

Hidrotermal bacalar, tektonik levha sınırları gibi volkanik aktivitenin olduğu yerlerde gelişir. Bu yerler iki tektonik levhanın birbirine doğru yaklaştığı veya uzaklaştığı çarpışma veya genişleme bölgeleridir. Hemen her derinlikte meydana gelen hidrotermal bacalar ağırlıklı olarak derin okyanusla ilişkilidir ve burada çeşitli tektonik bölgelerde deniz tabanının genişlemesiyle ilişkili olarak ortaya çıkarlar. Çünkü genişlemeli ortamlarda deniz tabanının yayılması, magmanın kabuğun altına yükselmesine ve



gerilen okyanus levhalarında çatlakların ve yarıkların oluşmasına neden olur. Okyanusal kabukta artan bu gözenekli yapı hidrotermal bacaların gelişimi için elverişli ortam oluşturur. Bilinen hidrotermal bacaların çoğunluğu (%65'i) bu sebeple genişleme alanlarında bulunan okyanus ortası sırtları eksenî boyunca yer alır. Hidrotermal bacalar aynı zamanda iki tektonik plakanın çarpıştığı dalma-batma alanında oluşan volkanik yay boyunca (%12'si) ve yay arkası havzalarında (%22'si) bulunur.

Dünya yüzeyinin (okyanusal veya kıtasal kabuk) altına doğru inerken magma olarak adlandırılan erimiş kavurucu sıcak malzeme tabakasını buluruz. Okyanus kabuğundaki çatlaktan derinlere doğru hareket eden soğuk deniz suyu, derinlerdeki bu sıcak magma

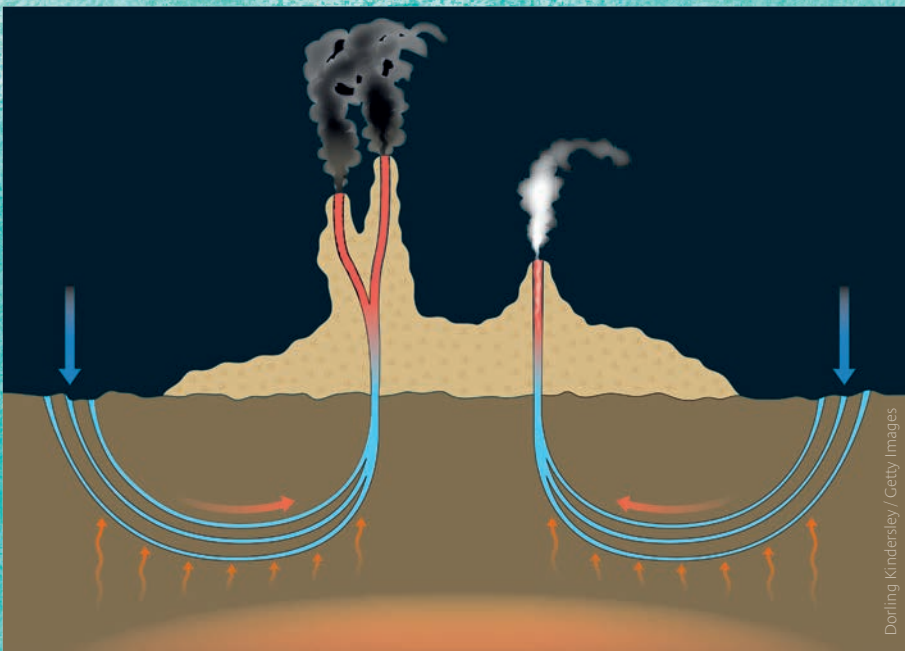
tarafından ısıtılır, 400 °C'ye kadar varabilir. Su, birkaç yüz dereceye kadar ısındığında yoğunluğu soğuk suyun yoğunluğuna göre azalır. Isınan deniz suyu bu nedenle kabuktaki fay kırıklarından ve çatlaklardan yukarı doğru yükselir ve en sonunda deniz tabanına ulaştığında püskürür ve soğuk deniz suyu ile buluşur. Bu haliyle hidrotermal bacalar, jeotermal olarak ısıtılan suyun yerin derinliklerinden yüzeye sızdığı karasal kaplıcalara ve gayzerlere benzer.

Okyanus kabuğunun derinliklerinde dolaşan ve magma tarafından aşırı ısıtılan deniz suyu, basınç ve sıcaklık arttıkça aynı zamanda kabuktaki mineralleri eritir. Mineral bakımından zengin bu sıcak sular, okyanus kabuğundan çıkıp serin deniz suyu ile buluştuğunda erimiş



haldeki mineraller katılaşır ve çıkış ağzında üst üste birikerek baca benzeri yapıları yani hidrotermal bacaları oluştururlar. 60 metrelik bacalar olduğu bilinmektedir. Hidrotermal bacalardan çıkan suyun mineral bileşimi, sıcaklığı ve rengi farklılık gösterir ve bu özellikler hidrotermal baca yapılarının fiziksel ve kimyasal karakteristiklerini belirler.

Hidrotermal bacalar, parçacık yüklü (mineral) sıvı püskürmesi şeklindeki görünüşleri itibarıyla "tüten baca" olarak adlandırılır. Hidrotermal bacadan çıkan dumanın rengini sıvının içindeki mineraller belirler. Bacadan püsküren suda sülfür türünün baskın olduğu durumda bu bileşikler siyahtır ve baca şeklindeki yapılar "siyah tüten bacalar" olarak adlandırılır. Yüksek oranda demir ve bakır sülfür mineralleri içerdiği için en koyu dumanları yayan bu bacaların püskürtüsü 1.000 metreye kadar ulaşır. Bu bacalarda sıcaklık 330-380°C arasındadır. 1977 yılında, düşük sıcaklıklı ilk hidrotermal bacanın keşfinden sonra yüksek sıcaklıklı siyah tüten baca ilk defa 1979 yılında sırasıyla Galapagos sırtı ve Doğu Pasifik yükselişinde



keşfedildi. Dünyanın en derin siyah tüten bacası okyanus yüzeyinin 5.000 metre altında, Cayman Çukuru'ndadır. Büyük Okyanus'ta Oregon eyaleti açıklarındaki "Godzilla" adlı siyah tüten bacanın ise yıkılmadan önce 40 metre yüksekliğe ulaştığı belirtiliyor.

Sıcaklığın 300°C'nin altında olduğu bacalarda sülfat bileşikler baskındır. Baryum, kalsiyum ve silisyum açısından zengin olan bu bacalar, beyaz renginden dolayı "beyaz tüten baca" olarak adlandırılır. Siyah tüten bacalar ile karşılaştırıldığında, beyaz tüten bacalar genellikle daha düşük sıcaklıkta su püskürtür ve daha küçüktür. Hem sülfid hem de sülfat bileşiklerinin bulunduğu "gri tüten baca" ile aktif volkanlarda görülen doğal sülfür çıkışı ve sıcaklığın 150°C'den düşük olduğu "sarı tüten baca"lar da mevcuttur.

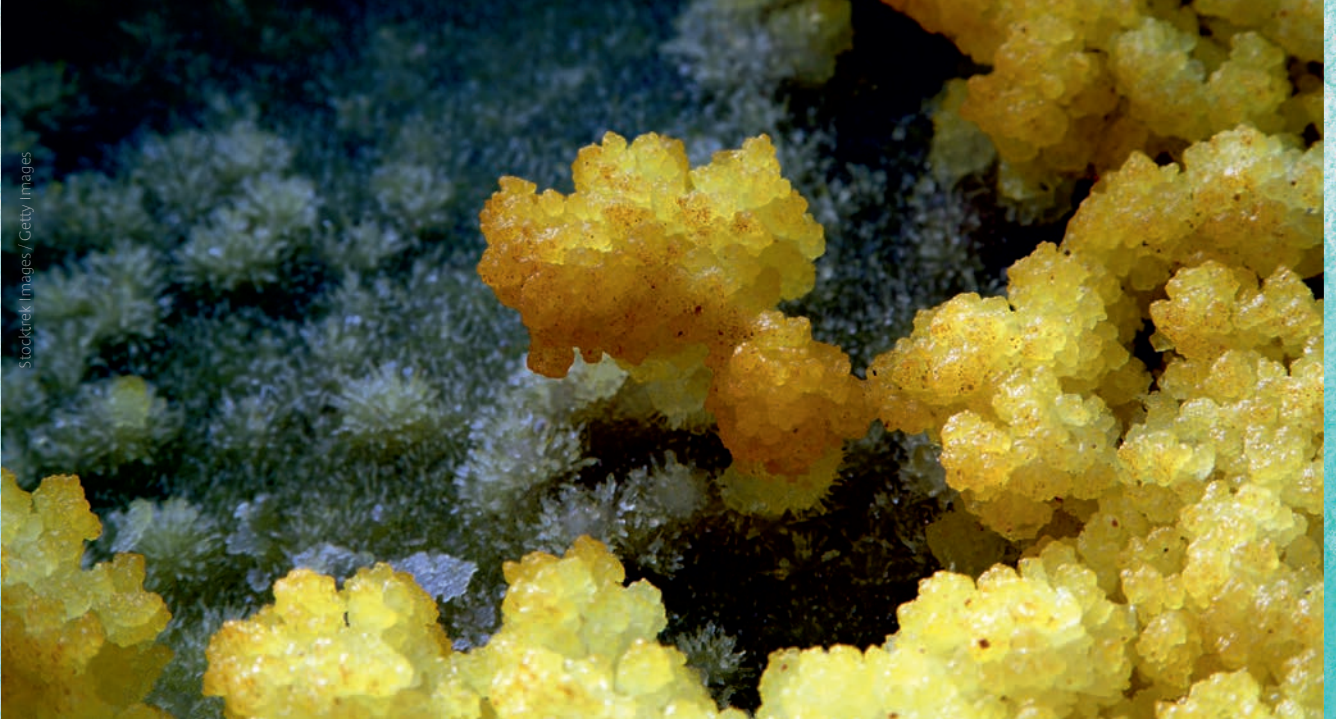
Hidrotermal baca alanlarında suyun sıcaklığı bu kadar yüksek iken nasıl oluyor da su kaynamıyor? Çünkü hidrotermal bacaların olduğu derinliklerdeki aşırı basınç nedeniyle 400°C'ye kadar ısınan su kaynamıyor.

2016 yılı itibarıyla deniz tabanında 200 metreden daha derinlerde yapılan gözlemlerle aktif olduğu doğrulanan çoğu tektonik levha sınırları boyunca 241 derin deniz hidrotermal bacalarının yer aldığı ve bunların bazılarının 5.000 metreye ulaşan derinliklerde olduğu tespit edilmiş. Derin deniz aktif hidrotermal baca veri bankasına <https://vents-data.interridge.org/> adresinden ulaşabilirsiniz.

Hidrotermal Baca Alanlarındaki Maden Yatakları

Deniz tabanı hidrotermal bacaları mevcut koşullara adapte olmuş nadir ve endemik türlerin bulunduğu olağan üstü biyolojik topluluklara ev sahipliği yapmanın yanı sıra ekonomik öneme sahip mineralleri yoğunlaştıran önemli jeolojik yapılarıdır.

Deniz tabanı masif sülfitleri (SMS) okyanus tabanında sıcak su çıkışlarının olduğu hidrotermal baca alanlarında oluşan maden yatak türüdür. Bu yataklar deniz suyu ve volkanik aktivite arasındaki etkileşimle kabuksal kayaç ve okyanus arasında gelişen ısı ve element değişimi sonucu oluşur. Bu bölgelerde deniz tabanındaki çatlaklardan birkaç kilometre



Deniz tabanındaki sülfid cevherleri

derinlere kadar nüfuz eden ve magma odası yakınlarına kadar ilerleyen ve 400°C'yi aşan sıcaklıklara ısınan deniz suyu, kayalardaki sülfür ve metalleri çözer. Deniz suyundan daha az yoğun olan sıcak su hızla yukarı çıkar ve denize boşalır. Bu karışım soğuk deniz suyu ile karşılaşınca, çözünmüş haldeki mineraller çökler ve hidrotermal bacalar etrafında masif sülfid cevher yatakları şeklinde birikir. Bu tür yataklar günümüzde karada bulunan ancak 2.700 milyon yıl önce geçmiş okyanuslarda oluşan volkanojenik masif sülfid (VMS) yatakları ile benzerlik gösterir.

Yüksek sıcaklık bacaları ile ilişkili hidrotermal sirkülasyona bağlı değişik tip SMS yatak oluşumu söz konusudur: Birincil hidrotermal sıvılar ve deniz suyu karışımının deniz tabanı altında gelişmesi durumunda (sızma sistemi) masif sülfid yatağı okyanusal kabuk içinde oluşur. Hidrotermal sıvıların bacadan çıkarak deniz suyuna karıştığı durumda ise (gergin sistem) masif sülfid yatakları deniz tabanında oluşur. Gergin sistemlerde birincil hidrotermal sıvıdaki metal sülfidlerin çökmesi baca oluşumuna yol açar, baca çökmesi ve bir araya gelmesi ile sülfid dağları oluşur. Genellikle masif sülfid olarak adlandırılmalarına rağmen, hidrotermal baca alanlarındaki yataklar 3 farklı sülfür bileşiği ile karakterize edilir; sülfid, sülfat ve doğal sülfür. Hangi türün

baskın olduğunu hidrotermal sıvının bileşimi ve sıcaklığı belirler.

Masif sülfid yataklarının hangi metalleri ne derişimde içereceği, hidrotermal bacanın üzerinde bulunduğu kayaç bileşimine ve çıkan suyun sıcaklığına bağlıdır. Bölgeye bağlı olarak bakır, çinko, kurşun, altın ve gümüş gibi elementleri değişik oranlarda içerir. Ayrıca manganez, bizmut, kadmiyum, galyum, germanyum, antimuan, tellür, talyum ve indiyum gibi birçok önemli elementi eser miktarda içerir. Bazı yataklarda özellikle ada yay volkanlarında bu elementler daha yüksek derişimlerde zenginleşebilmektedir.

Hidrotermal Baca Alanında Yaşam

Bilim insanları tarafından küresel ısı bütçesi hesaplamaları ile varlığı tahmin edilen hidrotermal

bacalar ilk kez 1977 yılında dalgıçlar tarafından ziyaret edildiğinde bunların biyolojik topluluklarla dolu olması beklenmiyordu. Günümüzde deniz vahaları olarak da adlandırılan hidrotermal baca alanları ortam şartlarına uyum sağlamış son derece üretken biyolojik topluluklara ev sahipliği yapar.

Kristal berraklığındaki suda ışık en fazla yüzeyden yaklaşık 1.000 metre derinliğe kadar ulaşabilir. Bu, yaşam için önemlidir çünkü Dünya'daki yaşamın çoğu Güneş'ten gelen enerjiye bağımlıdır. Fotosentetik organizmalar (bitkiler gibi), yüzey biyosferi için besin zincirlerinin temeli olan molekülleri (şekerler ve karbonhidratlar gibi) üretmek için güneş ışığını kullanır. Deniz tabanında, karanlık bölgede yer alan hidrotermal bacaların etrafındaki yaşamın ise farklı bir hikayesi var: Dünya'nın



Science History Images/Alamy



derinlerinden yayılan kimyasal enerjiyle desteklenen bir yaşam. Mineral bakımından zengin hidrotermal sıvının enerjiye dönüştürülmesi ise bu eşsiz ekosistemlerin önemli bir özelliği.

Hidrotermal bacalardan püsküren sular kemosenetik mikroorganizmaların enerji kaynağı olarak kullanılabileceği kimyasal maddeler açısından zengindir. Bakteriler güneş ışığının olmadığı bu ortamda kemosentez sayesinde, hidrotermal sıvının getirdiği aynı zamanda “jeoyakıt” olarak adlandırılan kimyasalları kullanılabilir enerji formlarına dönüştürerek ortamda bulunan diğer canlılar için enerji ve besin sağlar. Enerji için güneş yerine kimyasallara bağımlı olan bu ototrofik bakterilere kemoototroflar denir.

Hidrotermal baca alanı habitatında birincil besin üreticileri yani mikroorganizmalar enerjiyi hidrotermal sıvı ile gelen başlıca elektron donörlerinin (sülfür, hidrojen, metan ve demir) oksidasyonundan elde eder. Bu mikroorganizmalar arasında sülfid oksitleyen bakterilerin hidrotermal baca alanlarında temel birincil üreticiler olduğu kabul ediliyor. Bu kemosenetik bakteriler indirgen kimyasal türleri oksitleyerek elde ettikleri enerjiyi karbonun sabitlenmesinde yani besin üretiminde kullanır. Kemosenetik bakterilerin ürettiği besinler hidrotermal baca alanlarında besin zincirinin ilk

halkasını oluşturur. Kemosenetik bakteriler tarafından desteklenen hidrotermal alan besin zinciri zooplanktonlar, karides, tüp solucan, istiridye, midye, ıstakoz, balık, yengeç sifonofor ve ahtapot gibi canlıları barındırır. Bakteriler ve zooplanktonlar bazı canlılar için besin kaynağı oluştururken midye ve tüp solucanlar gibi canlılar ile bakteriler arasında simbiyotik yaşam biçimine de rastlanır.

Derin hidrotermal baca alanlarından izole edilen litotrofik bakteriler arasında hidrojen sülfidi oksitleyen bakterilerin yanı sıra nitrifikasyon, hidrojen

kısmen dev tüp solucanlarındaki simbiyotlar olmalarıdır.

Hidrotermal baca alanlarında yaşayan canlılar, aşırı havalandırma ortamına, tamamen karanlık ortama, çevredeki deniz suyunun 2°C’sinden hidrotermal alanda 400°C’ye kadar değişen su sıcaklıklarına, yüzlerce atmosfer basıncına ve yüksek konsantrasyonlarda sülfid ve diğer toksik kimyasallara iyi adapte olmuşlardır.

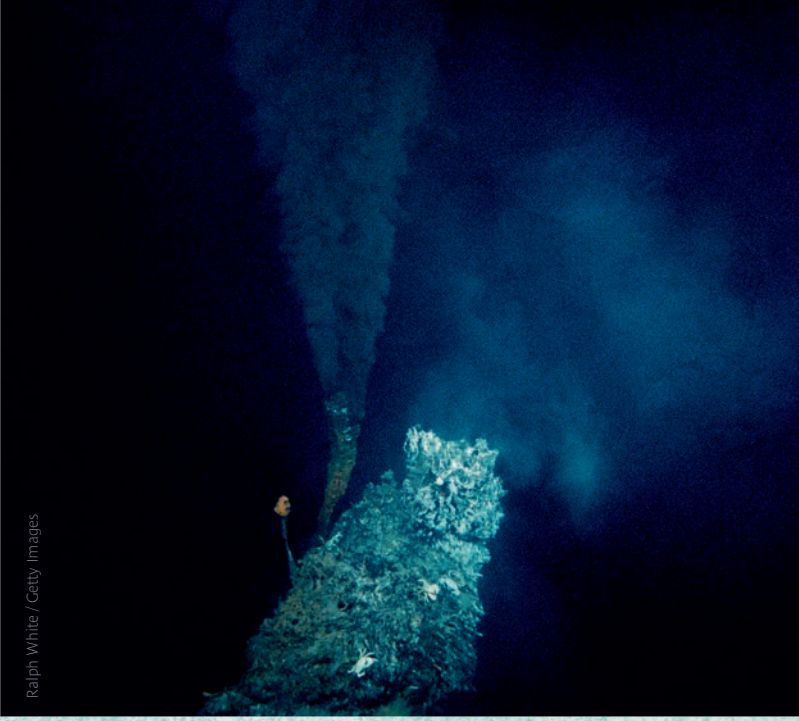
Fotosentezde olduğu gibi kemosentez sürecinde de enerjiden besin üretimi ve suyun sentezinde gerekli olan karbon



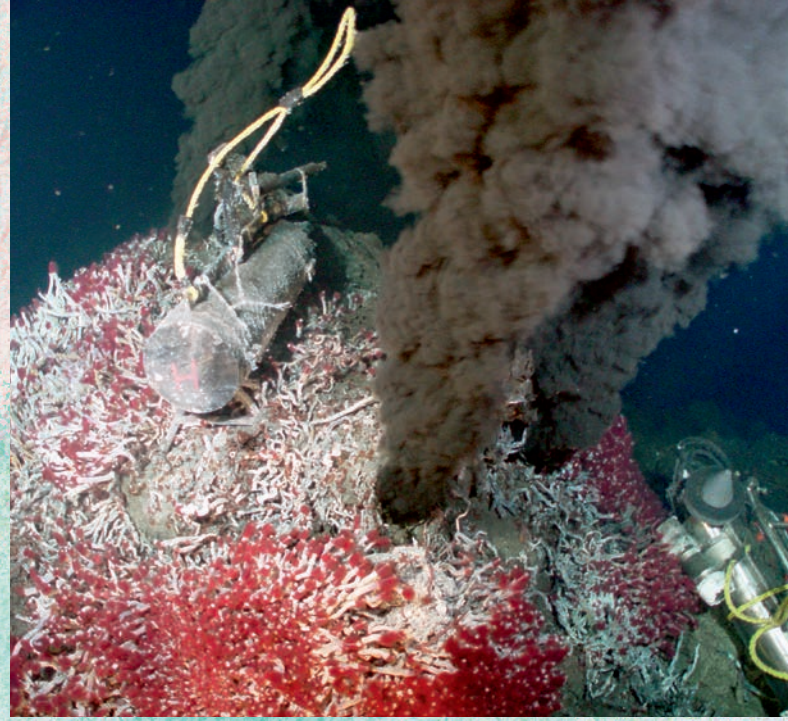
Riftia pachyptila (Dev tüp solucanı)

oksitleyici ve demir ve manganez oksitleyici bakteriler de bulunur. Metanı enerji kaynağı olarak kullanan metilotropik bakteriler de burada bulunur. Hidrojen sülfid kullananlar en çok araştırılanlardır; bunun nedeni

için karbondioksit kaynak olarak kullanılır. Fotosentezde yan ürün olarak oksijen gazı açığa çıkarken kemosentezde kullanılan kimyasal substrata bağlı olarak çok çeşitli yan ürünler açığa çıkabilir. Derin deniz ortamındaki bu yaşam aynı



Siyah tüten hidrotermal baca



Hidrotermal baca alanında yaşayan dev tüp solucanları

zamanda karbondioksit için bir yutak alan oluşturur.

Hidrotermal baca alanlarında yaşayan en dikkat çekici canlılardan birisi olan dev tüp solucanları (*Riftia pachyptila*), Galapagos'un hidrotermal baca alanında yapılan çalışmalar sırasında 1977'de keşfedildi. Bu canlıların kükürten enerji üretebilen bakterileri içeren, trofozom denilen özel bir organları var ve metabolik ihtiyaçlarını kemosentez ile enerji üreten bu simbiyotik bakterilerden sağlıyorlar. Bir tüp solucanının kemosentetik bakterilerin milyarlarcasına ev sahipliği yaptığı tahmin ediliyor. Dev tüp solucanların canlılığı hidrotermal bacaların aktif olmasına bağlıdır. Bir hidrotermal baca alanında havalandırma (püskürme) bittiğinde bu canlıların yaşamları da sona erer.

Çok çeşitli deniz yaşamına ev sahipliği yapan hidrotermal baca alanları okyanus tabanlarının vahaları gibidir. Bu vahalarda yaşayan canlı türlerini merak ediyorsanız NOAA Photo Library internet sitesini ziyaret ederek görebilirsiniz. ■



Kaynaklar

- <https://education.nationalgeographic.org/resource/plate-tectonics/>
- Demircan K., Nobel Ödüllü Bacalar: Okyanus Derinliklerinde Neler Oluyor? *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Haziran 2012, 42-47.
- Karapınar, N., Derin Deniz Madenciliği, *Madencilik Türkiye Dergisi*, 46, 72-82, 2015.
- Le Bris N, Yücel M., Das A., Sievert S.M., LokaBharathi P. ve Girguis P.R., Hydrothermal energy transfer and organic carbon production at the deep seafloor. *Frontiers in Marine Science*, Cilt 5, Makale No: 531, 2018. doi: 10.3389/fmars.2018.00531
- <https://oceanexplorer.noaa.gov/edu/materials/hydrothermal-vents-fact-sheet.pdf>
- <https://oceanexplorer.noaa.gov/edu/materials/chemosynthesis-fact-sheet.pdf>
- <https://oceanexplorer.noaa.gov/edu/materials/vent-food-web.pdf>
- <https://astrobiology.nasa.gov/news/exploring-the-aurora-hydrothermal-vent-field/>
- <https://astrobiology.nasa.gov/news/exploring-enceladus-in-the-arctic/>
- <https://astrobiology.nasa.gov/news/life-in-the-extreme-hydrothermal-vents/>
- <https://marinemadnessdotblog.wordpress.com/2019/02/12/hydrothermal-vents-abiogenesis-and-life-in-the-solar-system/>
- <https://schmidtcocean.org/scientists-discover-new-ecosystem-underneath-hydrothermal-vents/>
- (<https://www.nhm.ac.uk/discover/survival-at-hydrothermal-vents.html#:~:text=Animals%20such%20as%20scaly%2Dfoot,the%20sides%20of%20vent%20chimneys.>)
- (<https://geology.com/plate-tectonics.shtml>)
- <https://nautiluslive.org/album/2015/06/20/life-extremes-tube-worms#&gid=1&pid=10>
- <https://www.pmel.noaa.gov/eoi/PlumeStudies/global-vents/images/global-vents-map.png>
- <https://schmidtcocean.org/wp-content/uploads/fk151121-guam-20151123-baker-plume.jpg>
- <https://www.britannica.com/science/plate-tectonics/Earths-layers>