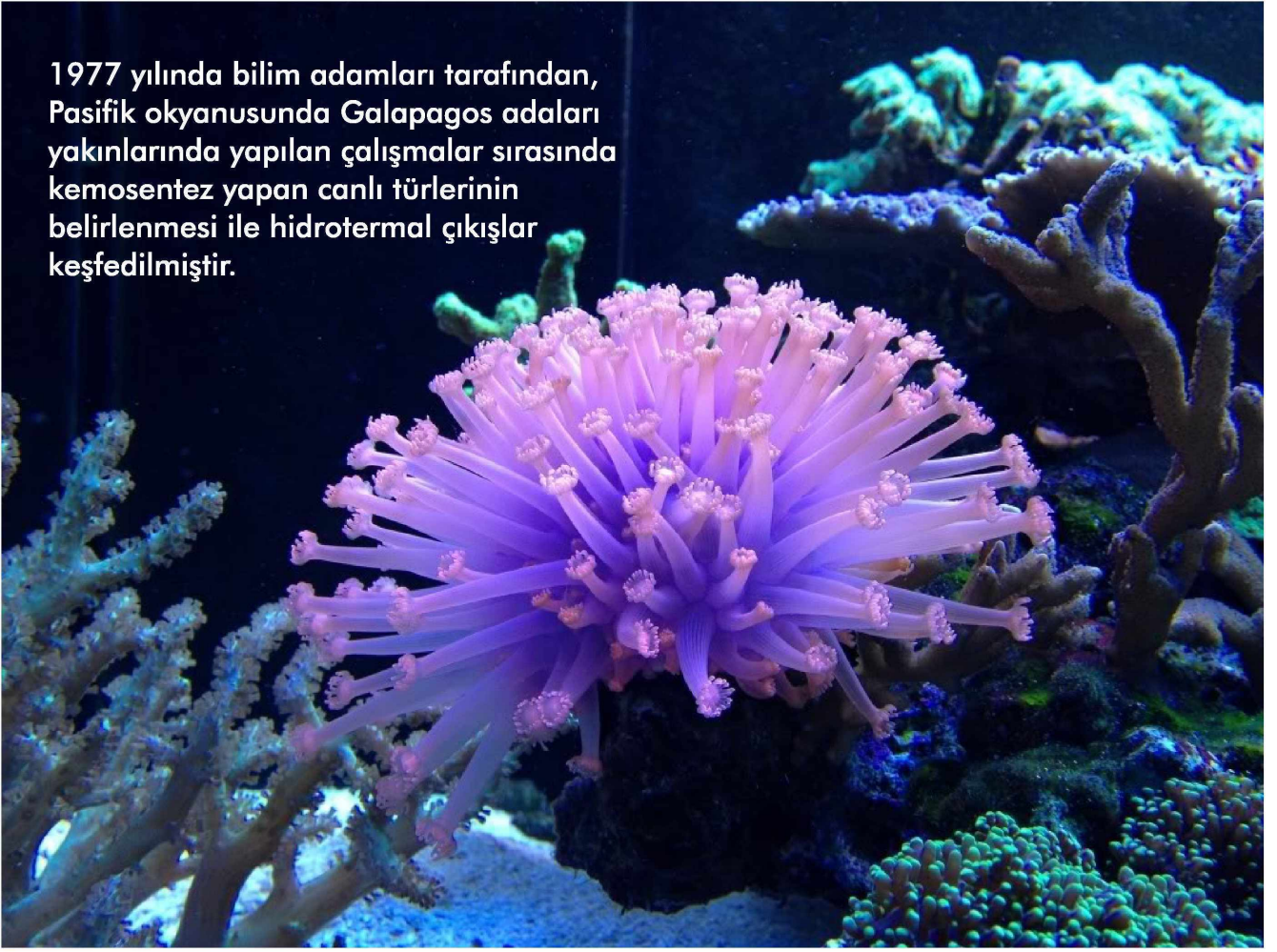


1977 yılında bilim adamları tarafından, Pasifik okyanusunda Galapagos adaları yakınlarında yapılan çalışmalar sırasında kemosentez yapan canlı türlerinin belirlenmesi ile hidrotermal çıkışlar keşfedilmiştir.



Deniz içi hidrotermal çıkışların tesbitinde canlıların önemi



Özde BAKAK

Dokuz Eylül Üniversitesi
Jeotermal Enerji Anabilim Dalı
ozde.badur@deu.edu.tr

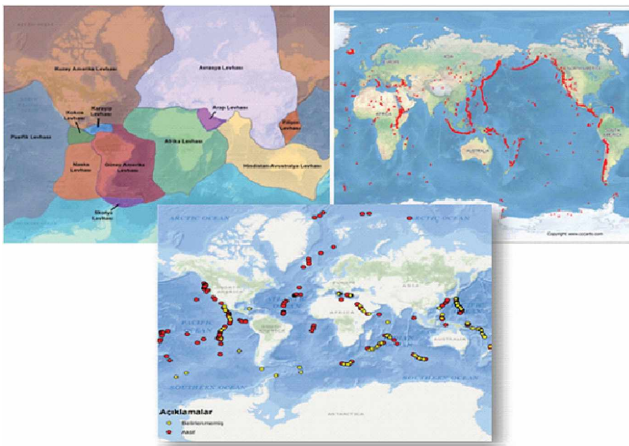
Hidrotermal çıkışların oluşum sistemi okyanustan yerkabuğuna kütle ve ısı transferinde önemli rol oynarken aynı zamanda bu ağızlar birçok biyolojik canlıya ev sahipliği yapmaktadır. 1977 yılında bilim adamları tarafından, Pasifik okyanusunda Galapagos adaları yakınlarında yapılan çalışmalar sırasında kemosentez yapan canlı türlerinin belirlenmesi ile hidrotermal çıkışlar keşfedilmiştir. Benzer canlılar, okyanus tabanında meydana gelen diğer hidrotermal çıkış alanlarında da görülmüştür. Ülkemizde ise, 1986 yılından bu yana Ege Denizi kıyılarında kümelenen canlı türlerinin incelenmesi ile sıcak su çıkışlarının olabileceği alanlar belirlenmiştir.

Çalışma, derin denizlerde ve özellikle Ülkemizde Ege Denizi kıyılarında sığ denizlerde yapılan araştırmalardan derlenerek hazırlanmış olup, bu alanlarda yaşayan canlı faunalarının sıcak su aramalarında yol gösterici nitelik taşıdığı sonucuna varılmıştır.

HİDROTERMAL ÇIKIŞLARIN OLUŞUMU

Konveksiyon akımlarının etkisi ile iki okyanusal levha yukarı ve yanlara doğru zıt yönlerde itilerek birbirinden uzaklaşmaya başlar ve burada meydana gelen boşluğu doldurmak için aşağıdan genç litosfer soğuyarak sırtın her iki yanında büyümeye devam eder. Bu olay okyanus ortası sırtlarının oluşmasına neden olur. Levha sınırlarının bulunduğu alanlar; hidrotermal aktivitenin ve depremselliğin yoğun olduğu alanlardır (Şekil 1). Okyanus ortası sırtlarında diğer bir deyişle derin denizlerde meydana gelen bu hareketlilik tabanda yüksek sıcaklıklara sahip hidrotermal çıkışların oluşumunu sağlamaktadır. Denizlerdeki hidrotermal çıkışlar, 1977 yılında Woods Halls Enstitüsü tarafından Pasifik Okyanusunda ALVIN denizaltısı ile yapılan çalışmalar sırasında keşfedilmiştir (1). Deniz kıyısında sığ deniz tabanında oluşan sıcak su çıkışları ise, fay/faylarla ilişkili olarak bu alanın aktif tektonizmasına bağlı olarak oluşmaktadır.

Denizlerdeki sıcak su çıkışlarının oluşum sistemi karadaki sistemlerin oluşumundan farklı değildir. Sıcak suyun kaynağı, yer kabuğunun 2-3 km altındaki magmaya doğru kabuk boyunca kırık ve çatlaklar sayesinde süzülen deniz suyudur. Deniz suyu magmaya yakın olan bu tabakalarda ısınarak yoğunluğunun azalması nedeni ile tekrar yüze çıkarak sıcak su/hidrotermal alanları oluşturmaktadır.



Şekil 1. Levha sınırları, volkanların konumları ve hidrotermal çıkış lokasyonları.

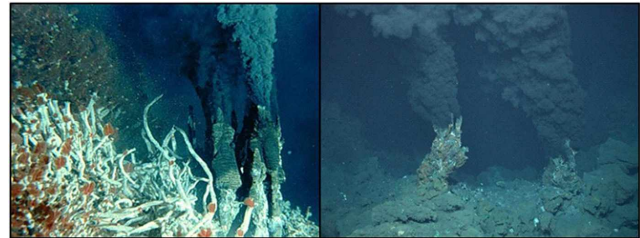
DERİN DENİZLERDEKİ HİDROTERMAL ÇIKIŞLAR

Derin denizlerdeki (okyanus tabanları) hidrotermal çıkışlar, levhaların hareketleri sonucunda okyanus

ortası ve çevresinde veya levha sınırlarında oluşmaktadır. Hidrotermal bacalardaki 100-350°C arasında değişen yüksek sıcaklığa sahip hidrotermal akışkan, 0-2°C sıcaklığa sahip soğuk deniz suyu ile karşılaştığı zaman akışkan içerisinde bulunan siyah metal ve sülfür parçacıkları soğuma ile birlikte çöker.

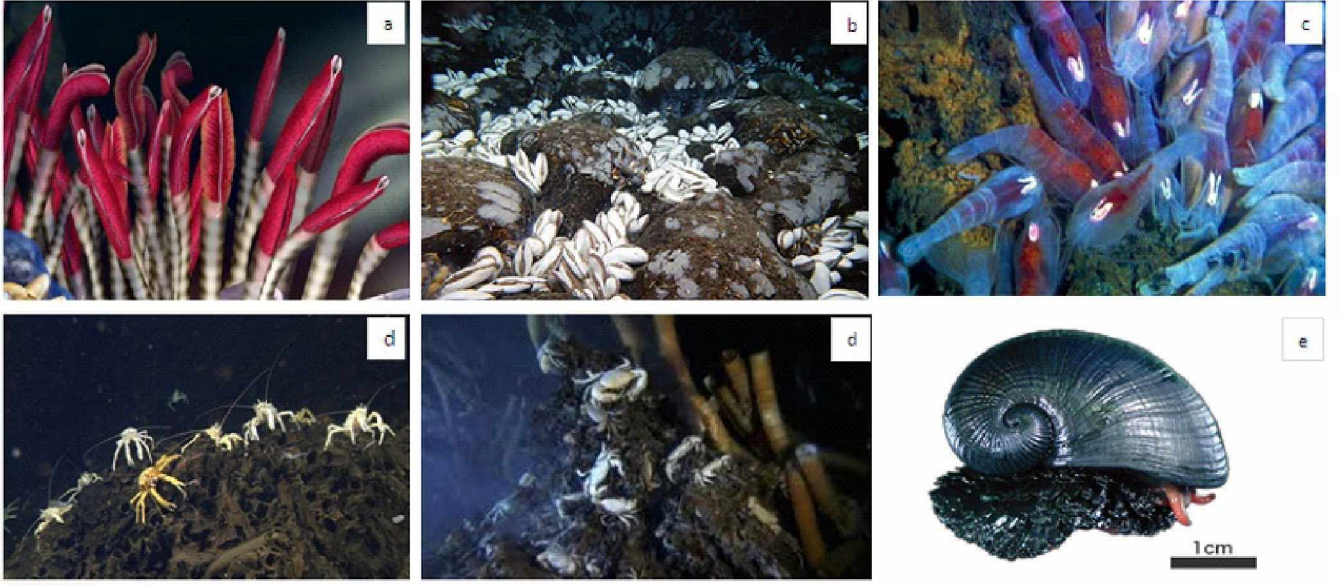
Ani soğuma ile birlikte deniz tabanındaki bu hidrotermal çıkışlar siyah duman şeklinde bir görünüme sahip olup, bu yapılar "kara-siyah duman bacaları" olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2).

Derin denizlerde yer kabuğu hareketleri sonucunda oluşan hidrotermal çıkışlar, tektonik konumlarına bakıldığında; okyanus ortası sırtlarında, yay-volkan ve yayardı volkanların (back-arc volcano spreading center) yayılım merkezlerinde bulunmaktadır. 1000-3000m arasında değişen derinliğe sahip bu alanlar genellikle güneş ışığının bile ulaşmadığı bölgelerdir. Ağzının içerisindeki yüksek sıcaklığa sahip hidrotermal akışkan yüksek hidrostatik basınç (3000 metre derinlikte deniz suyunun hidrostatik basıncı 300 atm'den fazladır) nedeniyle sıvı fazına veya süper-kritik faza geçememektedir (2,3). Aynı zamanda bu oldukça basit görünse de bir o kadar karmaşık ve muazzam bir ortamın varlığını da göstermektedir.



Şekil 2. Derin denizlerdeki hidrotermal ağzılar/kara-siyah duman bacaları.

Hidrotermal akışkan ile deniz suyunun kimyasal özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Akışkandaki, Alkali (baz) ve Amonyum (NH₄) metalleri, Li (Lityum), K (Potasyum), Rb (Rubidyum) ve Cs (Sezyum) (1), Be (Berilyum), Ca (Kalsiyum), As (Arsenik), Se (Selenyum), B (Bor) (4,5) ve Pb (Kurşun) elementleri ile Sr (Stronsiyum) ve Rd-226 (radyum-226) (6,7,8) radyoaktif maddeler bakımından zengindir. Ca ve Sr elementleri yüksek değerlere sahip olması, alandaki kaynağın bazaltik olduğunu göstermektedir (1). Hidrotermal akışkanlardaki belirli zenginleşmeleri ifade eden



Şekil 3. Hidrotermal ağızlarında yaşayan canlılara örnek; a) dev tüp solucanı, b) midye, c) karides, d) yengeçler e) salyangoz.

yerde gözlenemeyen nadir olarak bulunan iz elementlerden bazıları; Cu (Bakır), Mg (Magnezyum), Fe (Demir), Mn (Manganez), Zn (Çinko), Cd (Kadmiyum), Co (Kobalt) ve Ag (Gümüş) hidrotermal akışkanda görülmektedir. Co (Kobalt) ve Ag (Gümüş) elementler hidrotermal çıkışlardaki zenginleşme açısından en çok görülen diğer elementlerdendir (9). Hidrotermal çıkışlarda zenginleşme gösteren gazlara örnek olarak; CO₂, CH₄ ve H₂S, ³He, ⁴He ve H₂ (10,11,12,13,14) verilebilir.

Hidrotermal çıkışların oluşum sistemi okyanustan yerkabuğuna kütle ve ısı transferinde önemli rol oynarken, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı bu ağızlar olağandışı biyolojik canlılara ev sahipliği yapmaktadır. Burada yaşayan canlılar akışkanın özelliğinden dolayı zengin besin kaynağına sahiptirler. Derin denizlerde keşfedilen hidrotermal çıkış alanlarında genellikle, boru kurtçuğu, karides, yengeç, midye, anemon, denizyıldızı, örümcek, ahtapot, salyangoz, balık vb. canlılar bulunmaktadır. Bu canlılar ışığın olmadığı yerde (1000-3000m derinlik) kemosentez yapan bakteriler tarafından yaşamlarını sürdürürler. Kemosentez yaparak bu bölgede yaşayan canlılara besin kaynağı, bu zincirin temelini oluşturan kemosentetik bakteriler tarafından sağlanmaktadır.

Dev tüp solucanı (tubeworms); 28 gramlık dokusunda 285 milyar bakteri içermektedir (Şekil 3 a). Bu dev tüp solucanlarının kırmızı kısmında bulunan tüyleri ile deniz suyunu havalandırarak

içerisindeki oksijeni ve sülfürü süzmektedir. Yapısında hemoglobin bulunması nedeni ile kırmızı renklidir. En derindeki midyenin uzunluğu birkaç mm olmasına rağmen bu alandaki midyelerin uzunluğu 20 cm' i bulmaktadır (Şekil 3 b). Karidesler hidrotermal aktivitenin olduğu alanlarda radyasyona maruz kalması nedeni ile göz yerine, iki çift kaynaşmış göz pigmenti konsantrasyonuna sahiptir. Hidrotermal akışkanın hareketi ile meydana gelen ışığın, fotoreseptörleri ile görebildikleri ve böylece hidrotermal ağızları keşfettikleri düşünülmektedir. 1 m²'lik alanda yaklaşık 2000-2500 adet bulunmaktadır (Şekil 3 c). Bu alanda yaşayan diğer bir canlı olan salyangoz, deri dokusu için kalsiyum karbonat yerine sülfür kullanmaktadır (Şekil 3 e).

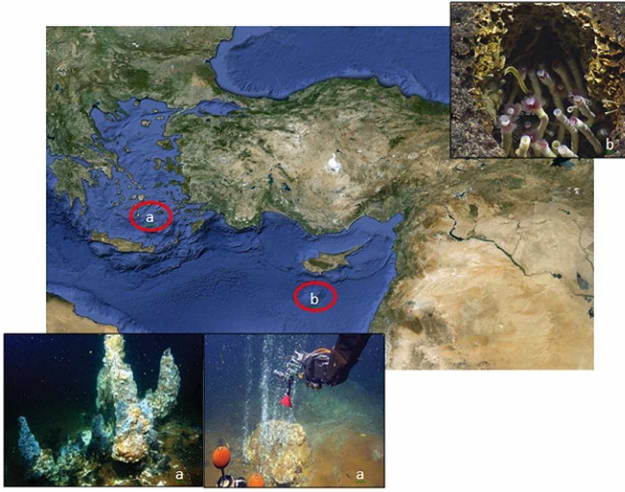
Derin denizlerde yapılan çalışmalar ışığında; bu alanlarda yaşayan ve ortama uyum sağlayan sıra dışı canlıların keşfedilmesi ile hidrotermal çıkışların bulunmasında yol gösterici olabileceği sonucuna varılmıştır.

SIĞ DENİZLERDEKİ SICAK SU ÇIKIŞLARI (EGE BÖLGESİ)

Siğ denizlerde belirli noktalarda fay veya faylara bağlı olarak çıkan sıcak veya ılık su kaynakları sahip oldukları kimyasal özellikler ve çevrelerinde oluşturdukları fitoplankton toplulukları nedeni ile farklı bir foraminifer topluluğunun oluşmasına neden olmaktadır (15). Bu gibi noktalarda, sıcak bölgedeki aynı cins ve türlerdeki canlılar



Derin denizlerde keşfedilen hidrotermal çıkış alanlarında genellikle, boru kurtçuğu, karides, yengeç, midye, anemon, denizyıldızı, örümcek, ahtapot, salyangoz, balık vb. canlılar bulunmaktadır. Derin denizlerde yapılan çalışmalar ışığında; bu alanlarda yaşayan ve ortama uyum sağlayan sıra dışı canlıların keşfedilmesi ile hidrotermal çıkışların bulunmasında yol gösterici olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. Santorini volkanik grubu ve alan görüntüleri (20) ve b) Eratosthenes dağı ve hidrotermal çıkışlarla ilişkili solucanlar (20).

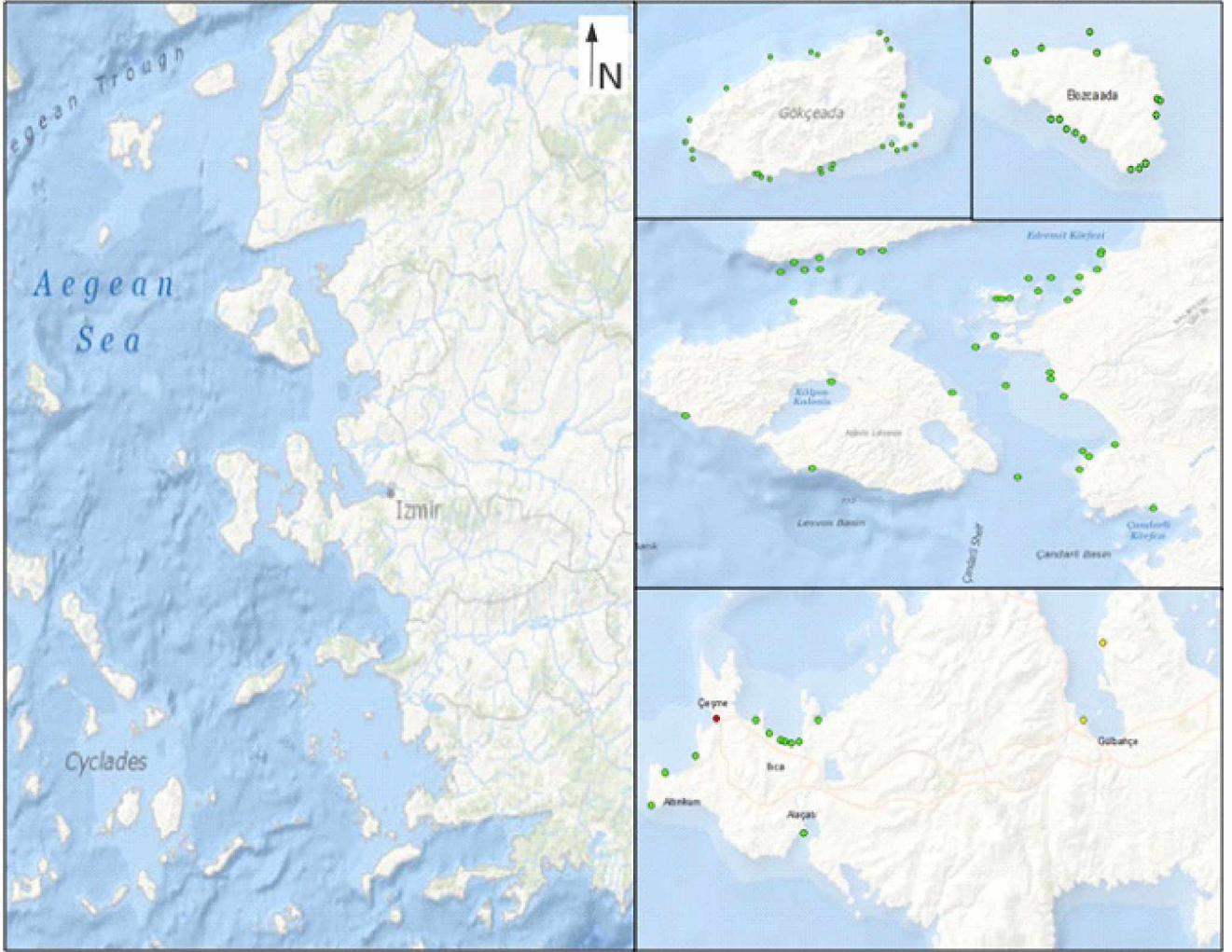
çoğalmaktadır (15,16,17,18,19).

Ülkemize komşu olan bölgelerden Santorini volkanik grubu ve Eratosthenes dağında (Şekil 4) (20), aynı zamanda, Ege denizinde bulunan Yunanistan adalarının çevresinde (21,22) deniz içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda sıcak su çıkışlarının varlığı belirlenmiştir. Milos Adası güneyinde (21), Helenik Yayı üzerinde Methana yarımadasındaki birçok körfezde, Sisam Adası ve

Yali Adası açıklarında (22) önemli genç hidrotermal kaynaklar araştırılmıştır.

Türkiye'nin Ege Denizi kıyılarının farklı lokasyonlarında deniz içinde ve kıyıya yakın kesimlerde birçok sıcak ve soğuk su çıkışları bulunmaktadır (23,24). 1986 yılından bu yana, yapılan çalışmalar sonucunda özellikle, Ege Denizi Türkiye kıyılarından Biga Yarımadası'nın güney kesimlerinden itibaren Marmaris Körfezi'ne kadar ulaşan kıyı şeridi boyunca çok sayıda termal mineralli su kaynakları belirlenmiştir.

Çalışma alanları kuzeyden güneye doğru; Gökçeada, Bozcaada, Edremit Körfezi, Midilli, Alibey Adası (Ayvalık), Dikili, Çandarlı, Gülbahçe Körfezi, Çeşme-Şifne-Yıldızburnu-Ilıca-Çiflikköy-Pırlanta-Altinkum, Kuşadası, Marmaris, Datça, Güllük Körfezi ve Gökova Körfezleri olup bu alanlarda termal çıkışlarla ilişkili olabilecek canlılar araştırılmıştır (15). Gökçeada (25), Bozcaada (26), Edremit Körfezi'nin kuzeybatısı (18), Alibey Adası çevresi (15), Midilli Adası'nın doğusu (17), Dikili kıyıya yakın alanlarda (27) ve Dikili-Çandarlı sahil yolu üzerinde Bademli mevki ile Aliğa Ilıcaburun'da karada ve denizde (28, 29), Gülbahçe Körfezinde (30), Çeşme-Şifne



Şekil 5. Ege Denizi kıyılarında yapılan çalışmalar sırasındaki örnekleme noktaları (yeşil nokta) (15), Gülbahçe (Izmir) Körfezi'nde belirlenen sıcak su çıkış alanları (sarı nokta) (30).

Yarımadası'ndaki İlica Koyu ile kuzeydoğusunda (31, 32), İlica'nın kuzey batısındaki Yıldız burnu dalgakıranının güneyinde (32) ve Aydın iline bağlı Kuşadası'nın KB'sında, Pamucak Koyu'nda (15) deniz içerisinde mineralli su kaynakları belirlenmiştir.

Örnek olarak, Ege Denizi kıyılarında yapılan tüm çalışmalara bakıldığında sıcak su çıkışlarının bulunduğu alanlarda kümelenen ve aynı zamanda, sıcak ve mineralli sular sayesinde hızla çoğalan canlı faunalarının varlığı bu alanlarda sıcak suların tespiti için yol gösterici bir unsur olmuştur.

SONUÇLAR

Derin ve sığ denizlerde levha hareketleri, fay veya faylara bağlı olarak çıkan sıcak veya ılık su kaynakları, sahip oldukları kimyasal özellikleri nedeni ile çevrelerinde canlı topluluğunun oluşmasına ve kümelenmelerine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalara bakıldığında derin veya sığ

denizlerde sıcak su çıkışlarının bulunduğu bütün alanlarda farklı canlı toplulukları tespit edilmiştir. Böylece, deniz tabanında meydana gelen sıcak su çıkış alanlarında yaşayan canlıların bu alanların belirlenmesi için büyük önem taşıdığı ve aynı zamanda, bu canlıların incelenmesi veya takibi ile bu alanların tespitinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- (1) Damm Von, K.L., 1990. Seafloor Hydrothermal Activity: Black Smoker Chemistry and Chimneys. Annual Review Earth Planet, SCI, 18: 173-204.
- (2) Haase, K.M. et al., 2007. Young volcanism and related hydrothermal activity at 5°S on the slow-spreading southern Mid-Atlantic Ridge. Geochemistry Geophysics Geosystems.
- (3) Haase, K.M., et al. 2009. Fluid compositions and mineralogy of precipitates from Mid Atlantic Ridge hydrothermal vents at 4°48'S. PANGAEA.
- (4) Spivack, A.J., Edmond, J.M., 1987. Boron isotope

- between sea water and the oceanic crust. *Geochimistry Cosmochimney Acta*. 51: 1933-1943.
- (5) Spivack, A.J., Palmer, M.R., Edmond, J.M., 1987. The sedimentary cycle of the boron isotopes. *Geochimistry Cosmochimney Acta*. 51: 1939-1949.
- (6) Krishnaswami, S., Turekian, K.K., 1982. ^{238}U , ^{226}Ra and ^{210}Pb in some vent waters of the Galapagos spreading center. *Geophys. Res. Lett.* 9: 827-830.
- (7) Dymond, J., Cobler, R., Gordon L., Biscayer, P., Mathieu, G., 1983. ^{226}Ra and ^{222}Rn contents of Galapagos Rift hydrothermal waters-the importance of low temperature interactions with crustal rocks. *Earth Planet ScienceLett.* 64: 417-29.
- (8) Kadko, D., 1988. Radiochemistry of vent fluids from Axial volcano and the southern Cleft segment of the Juan de Fuca Ridge. *Eos, Trans. Am. Geophys. Union* 69: 1497.
- (9) Chen, J.H., Wasserburg, G.J., VonDamm K.L., Edmond, J.M., 1986. The U-Th-Pb Systematic in hot springs on the East Pacific Rise at 21°N and Guaymass Basin. *Geochemistry Cosmochimney Acta* 50: 2467-2479.
- (10) Craig, H., Welhan, J.A., Kim, K., Poreda, R., Lupton, J.E. 1980. Geochemical studies of the 21° N EPR hydrothermal fluids. *Eos. Trans. Am. Geophysics Union* 61: 992 (Abstract).
- (11) Welhan, J.A. 1981. Carbon and hydrogen gases in hydrothermal systems: the search for a mantle source. PhD thesis. Univ. California, San Diego. Pp 194.
- (12) Merlivat, L., Pineau, F., Javoy, M., 1987. Hydrothermal vents waters at 13°N on the East Pacific Rise: isotopic composition and gas concentration. *Earth Planet. Sci. Lett.* 84: 100-108.
- (13) Evans, W.C., White, L.D., Rapp, J.B., 1988. Geochemistry of some gases in hydrothermal fluids from the southern Jaun de Fuca Ridge. *Journal Geophysics Res.* 93:15, 305-313.
- (14) Keneddy, B.M. 1988. Noble gases in vent water from the Juan de Fuca Ridge. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 52: 1929-1935.
- (15) Meriç, E., Avşar, N., Barut, F., Yokeş, M.B., Taş, S., Eryılmaz, M., Dinçer, F., ve Bircan, C., 2009. Opinions of the benthic foraminiferal assemblages observed around the mineral submarine springs in Kuşadası (Aydın). *Earth System Evolution and the Mediterranean Area From 23 MA To The Present*, Abstract Book, pp. 222-223, Vol 45 n. 1/4, International Union of Geological Sciences Subcommittee on Neogene Stratigraphy, Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy (RCMNS) 13th Congress RCMNS- (2nd-6th September 2009), Naples, Italy.
- (16) Meriç, E., 1986, Deniz dibi termal kaynakların canlı yaşamına etkisi hakkında güncel bir örnek (Ilica-Çeşme, İzmir). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 29 (2), 17-21, Ankara.
- (17) Meriç, E., Avşar, N. Bergin F., 2002. Midilli Adası (Yunanistan-Kuzeydoğu Ege Denizi) bentik foraminifer faunası ve bu toplulukta gözlenen yerel değişimler. *Ç.Ü. Yerbilimleri (Geosound)*, 40-41; 177-193, Ankara.
- (18) Meriç E., Avşar N., Bergin, F., Barut, İ.F., 2003. Edremit Körfezinin (Kuzey Ege Denizi, Türkiye) bentik foraminifer topluluğu ile ekolojik koşulların incelenmesi. *Ç.Ü. Yerbilimleri (Geosound)*, 43; 196-182, Ankara.
- (19) Meriç, E., Avşar N., Yokeş, B., 2008. Some alien foraminifers the Aegean and southwestern coasts of Turkey. *Micropaleontology*, in: *Recent benthic foraminifera along the southwest coasts of Antalya (SW Turkey) and the impact of alien species on autochthonous fauna* (eds. E. Meriç and M.B. Yokeş), 54 (3-4), 307-349.
- (20) Katherine, L.C., Brennan, M.L., 2012. *New Frontiers in Ocean Exploration The E/V Nautilus 2012, Field Season and Summary of Mediterranean Exploration.*
- (21) Thierman, F., Akoumianaki, L., Hughes, J.A., Giere, O., 1947. Benthic fauna of a shallow-water gaseohydrothermal vent area in the Aegean Sea (Milos, Greece). *Marine Biology*, 128 (1), 149-159.
- (22) Varvanas, S.P., Halbach, P., Halpack, M., Panagiotaras, D., Rahders, E., Hubner, A., 1999. Characterization of hydrothermal fields and hydrothermal evolution in the Hellenic Volcanic Arc. *International Conference Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. 23 to 26 February 1999, Athens, Greece, Abstracts*, 343.
- (23) Çağlar, K.Ö., 1946. Türkiye Maden suları ve kaplıcaları. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Seri B, No.11, 791s., Ankara.
- (24) Başkan, E., Canik, B., 1983. Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası Ege Bölgesi. MTA Enstitüsü Yayınları, 189, 80s., Ankara.
- (25) Meriç, E., Avşar, N., 2001. Benthic foraminiferal fauna of Gökçeada Island (Northern Aegean Sea) and its local variations. *Acta Adriatica*, 42 (1), 125-150.
- (26) Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., 2002. Bozcaada (Kuzey Ege Denizi) bentik ferominifer ve ostrakod faunası ile bu toplulukta gözlenen yerel değişimler. *Ç.Ü. Yerbilimleri (Geosound)*, 40-41; 97-119, Adana.
- (27) Meriç, E., Avşar, N., Bergin, F., Barut, İ.F., 2003. Dikili Körfezi'nde (Kuzey-Doğu Ege Denizi) bulunan üç anormal bentik foraminifer örneği: *Peneroplis planatus* (Fichtel ve Moll), *Rosalina* sp. ve *Elphidium crispum* (Linne) hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 127, 67-81, Ankara.
- (28) Türkiye Maden Suları (3), Ege Bölgesi, 1974, İ.Ü. Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü 335s., İstanbul.
- (29) Türkiye Mineralli su Kaynakları (Ege Bölgesi), 1999. İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji Anabilim dalı, İ.Ü. Araştırma Fonu Projesi Sonuç Raporu (yayınlanmamış), 874/090896, 119s. İstanbul.
- (30) Pekçetinöz, B., 2010. İzmir ve Civar Körfezlerindeki Jeotermal Alanların Araştırılması (Gülbahçe Körfezi Örneğinde), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- (31) Çağlar, K.Ö., 1947. Türkiye Maden suları ve kaplıcaları. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Seri B, No.11, 94s., Ankara.
- (32) Avşar, N., Meriç, E., 2001. Çeşme-Ilica Koyu (İzmir) bölgesi güncel bentik foraminiferlerinin sistematik dağılımı. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri*, 24, 13-22, Ankara.