



# Mikro Dünyanın Gizeminden Küresel İklim Değişimlerine

**Bu O<sub>2</sub> molekülünün yaptığı bir devrimdir. Artık tüm yaşamdan sorumlu “O” dur...**

**Sena AKÇER ÖN**

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

[akcer@mu.edu.tr](mailto:akcer@mu.edu.tr)

**M**ikro dünyanın etkileyici gizemini ilk defa, 1996 yılında, henüz jeoloji eğitimine başlamadan önce, “Microcosmos, Çayırın Sakinleri” isimli belgesel filmle keşfettim diyebilirim. Çiçeklerin, böceklerin davranışlarını, ağır ve yakın çekimle gözlemlenmiş en akılda kalan sahnelerinden biri, herhalde Bruno Coulais’in bu

film için özel olarak bestelediği L’Amour des Escargots (Salyangoz Aşkı) müziği eşliğinde, “salyangozların aşk dansı” yaptığı sahne olmalıdır (Şekil 1). O zamanlar, henüz benim için sadece yağmurun ardından çıkan sempatik duyurgaları ile izlemekten zevk aldığım bir canlıydı onlar. Sonradan, üzerinde yaşadığımız Gezegenimizin

tüm çayırlarında yaşayan sakinlerini düşündüm. Gözle göremediğimiz bu dünyada acaba kimler vardı?



**Şekil 1: Salyangozların Aşkı (1)**

Latince “mikros” kelimesinden dilimize geçmiş “mikro” ön eki, “küçük, milyonda bir birim” anlamındadır. Fosillerin dünyasında ise, genel olarak çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük canlıların kalıntıları için kullanılır. Bunların çoğu tek hücrelilere aittir. Bazıları bitkisel, örneğin diatomlar veya tekhücreli ökaryotik fitoplanktonlardır (alga). Bunlardan başka jeolojik zamanın mikro dünyasını spor ve polenler, foraminiferler, silisli yapıya sahip radiolarialar, konodont ve ostrakodlar gibi çok sayıda canlı grubu temsil eder.

### **Küresel İklim Değişimlerinin Kısa Tarihi ve Oksijenin Rolü**

Gezeganimiz var olduğundan beri küresel iklim değişimlerini yaşamış, bunlar bazen şiddetli olmuş, hatta Dünya kartopu haline bile gelmiştir. Daha canlılar çeşitlenmeye başlamazdan önce dahi bir kaç buzul dönemi de geçirmiştir.

Yaklaşık 4 milyar yıllık zaman (Arkeen-Proterozoyik) genelde bakterilerin egemen olduğu dönemdir. Yaşamın mikro ve makro düzeyde çok daha fazla çeşitlendiği, belirginleştiği 545 milyon yıldan günümüze kadarki zaman Fanerozooyik olarak bilinir.

Bu yazıda, oksijenden bahsedeceğiz. Gezeğin yaşamından, iklimlerin, ortamların Dünya’da hemen hemen her şeyin oluşumundan oksijen sorumludur diyebiliriz. Ama en önemlisi yaşamı etkileyen geçmiş iklimlerin belirlenmesinde kullanılan canlıların kabuklarında depolanan izotoplarından yola çıkarak birçok bilinmeyi anlatacağız ve güncel çalışmalarla bunun önemini örnekleyeceğiz.

Dünya, kabuk bağlamaya başladığının ilk evrelerinde moleküler ve kimyasal değişim içindedir. Bunu oluşturan sebeplerin başında volkanlar ile denizaltı volkanizmasının hidrotermal bacalarından çıkan gazlar yer alır. Sıcak gazlar, yüksek enerji altındaki suyla temas ettiğinde kimyasal tepkime sonucunda moleküler evrim başlar ve ilk prokaryot hücreler oluşur. Bundan sonra canlılığın temelini oluşturan fotosentetik bakteriler yani siyanobakterilerin güneş enerjisini kullanarak fotokimyasal yolla ürettiği oksijen; gezegenin yaşamında önemli bir rol üstlenir. Bu O<sub>2</sub> molekülünün yaptığı bir devrimdir. Artık tüm yaşamdan sorumlu “O”dur. Dünyanın kabuğu soğurken, su buharı gazdan sıvı hale geçerken yani su oluşurken bile oksijen olayın içindedir.

### **Eski iklimleri nasıl bilebiliriz? Okyanusları Delme Programları (ODP).**

Eski iklimlerin nasıl bilinebileceği konusunda en etkili yöntem, derin okyanus tabanlarını sondajla delip, alınan karotlardaki çökel dizilerinin çeşitli yöntemlerle incelenmesidir. Çok disiplinli çalışmalar gerektiren bu araştırmalarda, önce karottaki çökel dizilerinin renkleri, kimyasal ve fiziksel içerikleri tanımlanır. Süreçleri anlayabilmemiz için örnekler (kaya ya da fosil) radyometrik yöntemlerle tarihlendirilir. Böylece kronolojik bir çizelge elde edilmiş olur.

Geçmişin iklimlerini, okyanus sularının sıcaklıklarını anlayabilmek ve geleceğin iklimlerini modelleyebilmek için, dünya okyanuslarını delme programları başlatılmıştır. 1968’de birçok ülkenin katılımıyla araştırma gemisi Glomar Challenger ile başlayan çalışmalar özellikle küresel bir iklim kronolojisi oluşturulması amacıyla 1983’e kadar devam eder (Şekil 2). Dünyanın birçok okyanusu ve deniz tabanı sondajlanarak elde edilen denizel çökel kayıtları, laboratuvar

çalışmaları sonrasında; başta foraminiferler ve diğer fosil organizmalar olmak üzere özellikle kararlı  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  izotop oranları gibi vekil veriler (proxy) kullanılarak, eski-iklim kronolojisine katkı sağlayacak bilgiler veri bankasına eklenir.

ODP, çalışmalarının sonucunda planlanan amaca ulaşılmış; Dünya Okyanus tabanında dolaşan sınırları, bugün dahi sebepleri çözülmemiş devasa volkanik platoların oluşumunu, gaz hidratların sınırlarını, okyanus kabuğunun derinliklerinde yaşayan mikrobiyal topluluklar ile iklim değişikliği döngülerini, iklim tarihini ve hızlı iklim değişimlerinin sebeplerinin neler olduğunu ve kanıtlarını okyanus tabanından yaklaşık 1,5 km uzunlukta alınan yüzlerce karotu çok disiplinli perspektifte incelenerek, veri tabanına eklenmiş ve bilim dünyasına sunulmuştur.

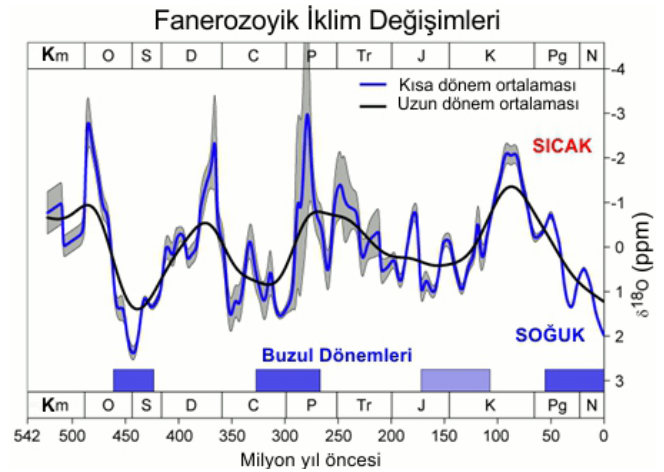
Bu çalışmalar devam ederken, derin deniz araştırmalarının en önemli keşiflerinden biri Akdeniz’de yapılır. 1971 yılında Glomar Challenger araştırma gemisinin yaptığı sondajlar sonucunda; Akdeniz’in 6 milyon yıl önce bir tuz düzlüğü (sabkha) haline geldiği ve yaklaşık 600.000 yıl bu sürecin etkileri altında kaldığı anlaşılmıştır. Bu dönem “Messiniyen krizi” olarak bilinir. Tuzların üstünde yer alan Zankliyen transgresyonunun Cebelitarık üzerinden Atlantik Okyanusu’ndan getirdiği zengin planktonik foraminiferli suların oluşturduğu çökeller ise, kriz sürecinin sona erdiğini belirtir.



**Şekil 2:** Glomar Challenger Araştırma Gemisi (2)

## Oksijenin Bilime Katkıları

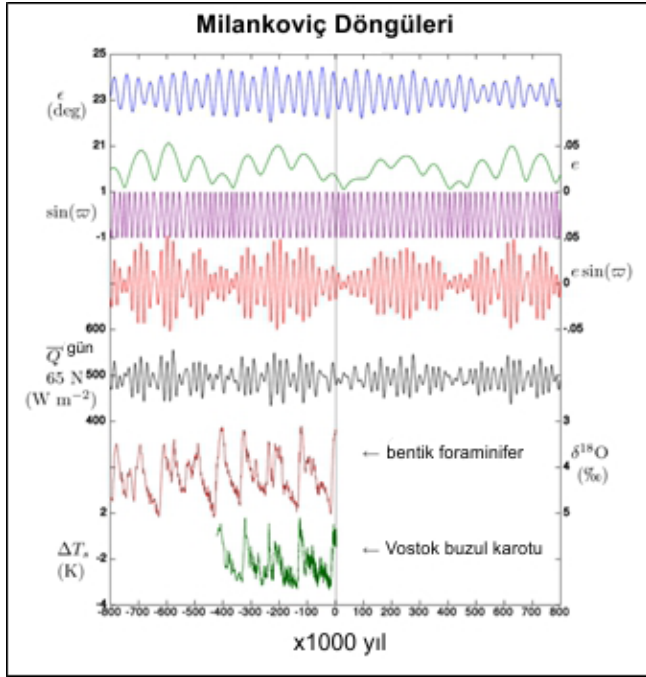
Gezeğenin oluşumunda ve yaşamasında önemli rolü olan oksijen birçok doğal maddenin bileşiminde izotoplarıyla yer alır. Oksijen, jeolojik zamanlarda yaşanmış eski-iklimlerin belirlenmesinde önemli rol oynamıştır (Şekil 3). Özellikle de son 2,5 milyon yıl önce Kuvaterner dönemindeki sıklıkla değişen iklim koşullarının anlaşılmasında ve geçmiş iklimleri deşifre etmenin en önemli anahtarlarından biri oksijen izotoplarıdır. Tüm elementler gibi, oksijen de proton ve nötron çekirdeklerinden oluşur. Oksijen atomlarının 8 protonu vardır, ancak çekirdek 8, 9 veya 10 nötron içerebilir. 8 proton ve 8 nötron içeren “Hafif” oksijen dediğimiz  $^{16}\text{O}$ , doğada bulunan en yaygın izotoptur. İkinci izotop ise 8 proton ve 10 nötronlu daha az yaygın olan ağır oksijen izotopu  $^{18}\text{O}$ ’dir.



**Şekil 3:** Eski iklimlerin Belirlenmesinde kararlı  $\text{O}_2$  izotoplarının rolü (3)

Oksijenin en bol izotopu  $^{16}\text{O}$ ’dır. Küçük bir yüzde  $^{18}\text{O}$  ve daha da küçük bir yüzde  $^{17}\text{O}$ ’dir. Kararlı oksijen izotop analizinde, yalnızca bir örnekte bulunan  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  oranı dikkate alınır. Örnekteki her bir kütle için hesaplanan oranı daha sonra numunenin oluşturulduğu sıcaklık hakkında bilgi verebilen bir standartla karşılaştırılır. Bu yöntemle eski su sıcaklığının bir grafiği, iklimin büyük döngüler ve harmonikler veya daha küçük döngülerle büyük döngülerin üzerine bindirilerek döngüsel bir grafik elde edilir. Bu teknik, özellikle Pleistosen’deki buzul maksimum ve minimumlarının belirlenmesi için kullanılmıştır.

Gezegeenin tarihindeki iklim değişimlerini, "O"nun dönme ekseninde meydana gelen değişiklikler ile de açıklayabiliriz. Dünya'nın kendi eksenini etrafında zannedildiği gibi muntazam bir dönüőü yoktur. Biraz yalpalayarak döner. Buna gezegeenin topaç hareketi de denir. Dünya yaklaşık olarak her 26.000 yılda tam bir dairesel devinim (presesyon-yalpalama) gerçekleştirerek kendi eksenini etrafında döner. Bu hareketler sonucunda Dünya'nın Güneş'e olan mesafesi değişir ve mevsimler oluşur. Sırp jeofizikçi ve gökbilimci Milutin Milankoviç (1879-1958) tarafından matematiksel olarak da ispatlanan bu görüşün aynı zamanda deniz sondajlarındaki oksijen izotoplarıyla da uyumluluk göstermesi iklim değişimleri hakkında değerli bilgiler sunması bakımından önemlidir (şekil 4).



şekil 4: Milankoviç Döngüleri(4)

Okyanus sularındaki bu iki oksijen izotop türünün oranı iklime göre değişiklik gösterir. Deniz çökellerinde, buzullarda veya fosillerdeki ağır ve hafif oksijen oranının küresel olarak kabul edilen bir standarttan ne kadar farklı olduğunu belirleyerek, jeolojik zamanlarda meydana gelmiş iklim değişiklikleri hakkında görüşler ileri sürülerek iklim modelleri yapılabilir. Paleo-klimatologlar, gezegende yaşanmış geçmiş sıcaklıkları ve yağışları ölçmek için; buzullarda hapsolmuş sudaki oksijen oranlarının yanı sıra deniz bitkilerinin ve

hayvanlarının kabuklarında sudan emilen oksijeni paleo-sıcaklık ve iklim için kullanırlar. Buz karotlardaki ölçümler nispeten basittir. Donmuş suda daha az ağır oksijenin (<sup>18</sup>O) varlığı sıcaklıkların daha düşük olduğu anlamına gelir. Ancak oksijen oranını kabuklarda ölçmek çok daha karmaşık işlemler gerektirir. Örneğin deniz iki kabukluları ve mercanlar kalsiyum karbonattan (CaCO<sub>3</sub>) yapılmıştır. Kabuklar oluşurken, sudaki oksijen oranına bakılmaksızın hafif oksijenden daha fazla ağır oksijen bulundurma eğilimindedir. Kabukların daha büyük oranlarda ağır oksijen içermesine neden olan biyolojik ve kimyasal süreçler, sıcaklık düőtüğçe daha da belirgin hale gelir, böylece soğuk sularda oluşan kabuklar, sıcak sularda oluşan kabuklardan daha büyük oksijen oranına sahiptir. Bu çalışmalar sonrasında özellikle planktonik foraminifer kabukları değerlendirilerek son 2,5 milyon yılın iklim döngüleri ortaya çıkartılmıştır.

### Okyanus sularındaki mikro dünya

Dünya okyanusları, denizleri ve göllerinde yaşayan birçok tek hücreli organizma jeolojik zamanlar dâhil ve hatta önemle Kuvaterner döneminde yapılan araőtırmalar için önemli rolleri vardır. Bu grup organizmalar iki bölümde bilinir. Hayvansal ve bitkisel tek hücreliler. Bitkisel olanlar hayvansal olanlara göre daha zengin gruplar oluşturur. Kabuklarının kimyasal içerikleri ve diğer özellikleri eski iklimler için önemli kanıtlardır. Bu organizmaları kısaca tanıyalım

### Bitkisel Kökenli tek hücreliler

Bu grup, hayvansal kökenli olanlara göre çok daha zengin gruplar içerir.

Fitoplanktonlar: Bu grup planktonik Siyanobakteriler, Diatomlar, Dinofilagellatlar ve Kocolitoforlar gibi mikro alglerle temsil edilmiştir. En önemli özellikleri fotosentez yapabilmeleridir. Güneş ışığından faydalanabilmeleri için, okyanusların, denizlerin ve göllerin fotik (güneş ışığının etkili olduğu derinlik) zonlarında yaşarlar.

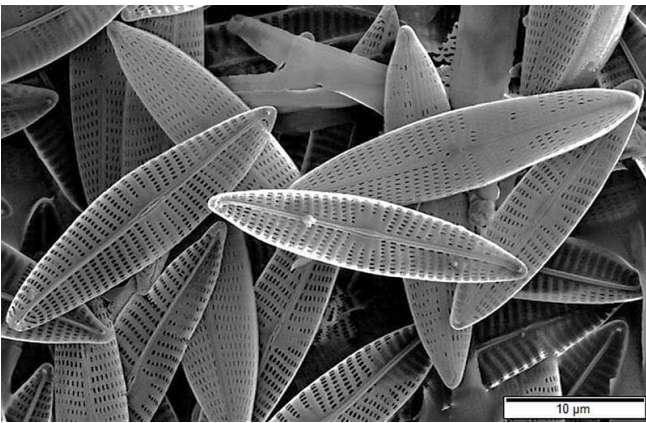
Siyanobakteriler: Serbest yaşayan prokaryot, fotosentetik bakterilerdir. Bunlara mavi-yeşil algler de denir. En önemli özellikleri; Dünya atmosferi oksijeninin bunlar tarafından kontrol edilme-

sidir. Aynı zamanda Gezegen'e büyük oksijen felaketini yaşatan bakteriler olarak da bilinir. Oksijenle ilişkileri nedeniyle eski iklimler için ortamsal biyo-ışaretçi olarak kullanılırlar. Fosilleri olan stromatolitler geçmiş iklimler hakkında önemli bilgiler içerir (Şekil 5).



**Şekil 5: Mavi-Yeşil Alg (Siyanobakteri) (5)**

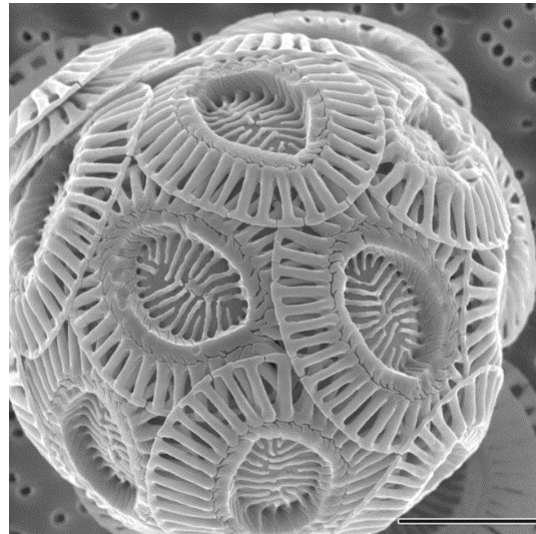
Diatomlar: Tek hücreli mikro esmer alglerdir. Hücre duvarları silisten yapılmıştır. Okyanuslarda denizlerde, göllerde ve hatta toprakta dahi yaşayan formları vardır. Sıcaklık değişimlerine karşı son derece duyarlı olan bu mikro algler, jeolojik tarihi içindeki yok oluşlardan kolayca etkilenmişler, özellikle Senozoyik dönemdeki diatom çeşitliliği; küresel sıcaklığa son derece duyarlı olmuş, önemli soy tükenişleri yaşamıştır. Soğuk kutup bölgelerinde çok daha çeşitlenen bu mikro organizmalar, kutup bölgeleri ısındığında bu özelliklerini kaybederek yok olma sürecine girebilirler (Şekil 6).



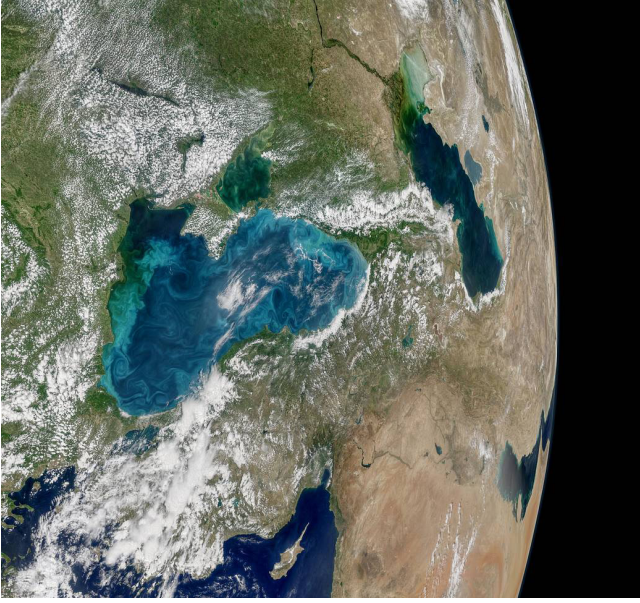
**Şekil 6: Diatomlar (6)**

Dinoflagellatlar: Tek hücreli ökaryot alglerdir. Genelde tüm sucul ortamlarda bulunurlar. Ayrıca kar ve buzda ve de bentik ortamlarda gelişirler. Deniz yüzeyi sıcaklığına, tuzluluğa veya derinliğine bağlı olarak dağılım gösterirler. Bu özellikler değiştiğinde kolayca etkilenirler.

Kokolitoforlar: Ökaryotik tek hücreli bu fitoplankton grubunun en yaygın türü *Emiliania huxleyi*'dir (Şekil 7). Ilıman, subtropikal ve tropikal okyanuslarda bulunur. Geçmiş deniz yüzeyi sıcaklıklarını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan alkenonlar olarak bilinen moleküller ürettiklerinden jeolojik zaman okyanuslarının sıcaklık değerlerinin bilinmesinde ve küresel iklim değişikliklerinin anlaşılmasındaki rolleri büyüktür. Kokolitoforlar fotosentetik organizmalar olduğundan, kalsifikasyon reaksiyonunda açığa çıkan CO<sub>2</sub>'nin bir kısmını fotosentez için kullanırlar. Bununla birlikte, kalsiyum karbonat üretimi okyanus sularında yüzey alkalinitesini düşürür ve CO<sub>2</sub> bunun yerine atmosfere geri salınır. Bunun bir sonucu olarak, araştırmacılar büyük kokolitofor patlamalarının kısa vadede küresel ısınmaya neden olabileceğini ileri sürmüşlerdir (Şekil 8). CaCO<sub>3</sub> yapıya sahip kokolitler ortam koşullarından etkilendiklerinde okyanus dibine çöker ve diğer çökeltilerle karışarak tortulun bir parçası haline gelir. Bu olayın gezegene etkisi büyük olacaktır. Kokolit kapsülleri, sera gazı salınımlarının etkilerine aracılık ederek, salınan karbon için bir kaynak görevi görecek ve gezegen daha da ısınacaktır.



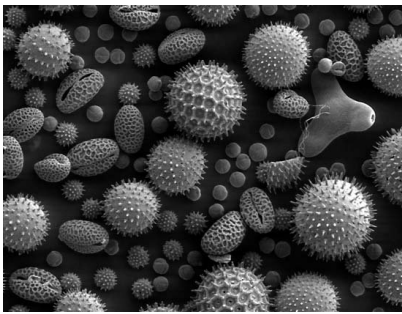
**Şekil 7: Emiliania huxleyi (7)**



**Şekil 8: Emiliana huxleyi Patlamaları(8)**

Kokolit fosillerinin eski okyanus sıcaklık değişimlerinin anlaşılmasındaki rolü de büyüktür. Örneğin, 55 milyon yıl önce Paleosen-Eosen Termal Maksimum zamanını temsil eden taksonlar zamanın okyanuslarındaki CO<sub>2</sub> seviyelerinin bilinmesindeki rolleri araştırmalarla açıklanmıştır.

Palinomorflar: Polenler, sporlar, dinosist, akritark ve kitinozoanlar'dan oluşan büyük bir gruptur. Bu mikrofosiller organik yapı (kitin, pseudokitin ve sporopolen) hücre duvarına sahiptir. Jeolojik zamanların Prekambriyen döneminden zamanımıza kadar yayılımları vardır. Özellikle Kuvaterner iklim araştırmalarında çökel dizileri içinde yoğun olarak bulunurlar. Ayrıca, botanik, paleontoloji, arkeoloji, podoloji (toprak bilimi) bilimlerinde sıkça kullanılan ve önemli süreçleri belirleyen özellikleri olması nedeniyle yer bilimlerinde araştırmalarında özel bir yere sahiptirler. Örneğin, iklim değişimleri, bitki coğrafyası, eski-iklimler ve göl araştırmaları gibi (Şekil 9).



**Şekil 9: Palinomorf (Polen taneleri) (9)**

## Hayvansal tek hücreliler

İki önemli grup ile temsil edilmiştir.

Foraminifera: Eski iklimleri ve özellikle de Kuvaterner iklimleri konusunda önemli denizel tek hücrelilerden olan foraminifera yaşam biçimlerine göre bentik ve planktonik olmak üzere iki önemli gruba ayrılır. Bentik olanlar da üç gruba ayrılır. Zeminin hemen altında yaşayan infaunal taksonlar, bir yere özellikle su yosunlarına yapışarak simbiyotik yaşayan epifitik gruplar ya da epifaunal-sesil yaşayanlar. Planktonikler ki bunlar bentiklere göre çok daha önemli bir gruptur. Çünkü geniş coğrafyalara okyanus akıntıları, rüzgârlara bağlı olarak yer değiştirebilen organizmalardır. Bu grup, okyanusların sıcaklık farklılıklarına karşı son derece duyarlı olduğundan jeolojik zamanların iklim değişikliklerinin anlaşılmasında da önemli rolleri vardır.

Foraminifera, yerin yaşam tarihi Fanerozoik boyunca tüm deniz ve okyanuslara egemen olmuş protozoonlardır. Basit tek bir hücreden oluşan vücutları, yersel ortamsal koşulları ve coğrafik boyutlardaki küresel iklim değişikliklerinin okyanus sularına yansıyan kayıtların farklılıklarına göre salgıladıkları CaCO<sub>3</sub>'ten oluşan ve birbirinden farklı kabuk şekilleri ile tanınırlar. Kabuk şekillerini oluşturan kayıtların kantitatif değerleri küresel olayların açıklanmasında ve modellenmesinde önemli rol oynar. Günümüzde tanımlanmış yaklaşık 4000 türü bulunmaktadır. Bunlardan 60 kadarı planktoniktir. Foraminiferler tüm deniz ortamlarda gel-git düzlüğü bölgesinden en derin okyanus hendeklerine, kutuplardan tropiklere, acı su ortamlı haliçlerden tuzlu bataklıklara kadar olan bölgelerde yaşar. Bentik ve planktik iki büyük grubun cins ve türleri yerin tarihinde önemli görevler üstlenmiştir. Bazı grupların jeoloji tarihi içindeki yaşamları sınırlı kalmış, yok olmuş ya da yenileri evrimsel çizgi içinde ortaya çıkmıştır. Bu özellik biyostratigrafi ve biyokronolojide bu grubun ne denli önemli olduğunu belirtmektedir. Ayrıca her iki grubun bentik tipler eski ortamların ve planktik tipler de eski iklimlerin bilinmesinde ve tanımlanmasındaki rolleri büyüktür. Kabuk kimyası ve radyometrik oksijen izotop değerleri su kimyasını, suyun sıcaklığını ve diğer ekolojik kayıtların belirlenmesinde önemlidir. Özellikle deniz araştırmalarından elde edilen çökel dizilerinin bu yolla değerlendirilmesi geçmiş ve gelecek iklimler

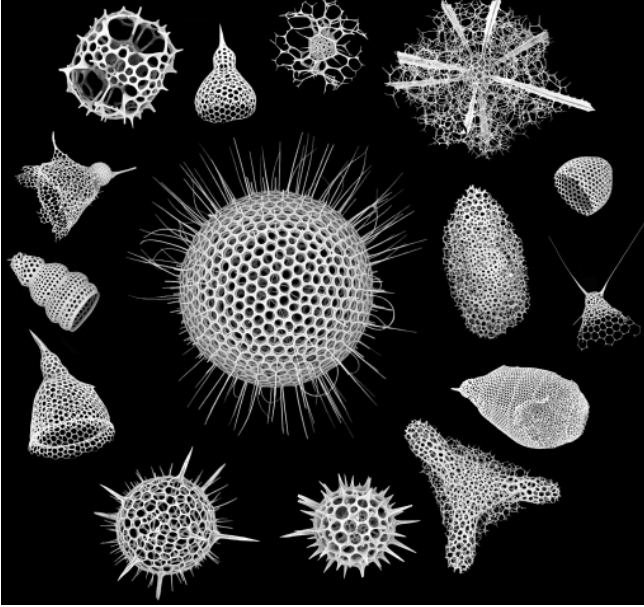
hakkında bize önemli bilgiler verebilmektedir. Foraminiferler aynı zamanda deniz ve okyanusların önemli besin kaynaklarıdır ve bu zincirin önemli halkasıdır. Familya, cins ve tür çeşitliliği zengindir. Ortamın kimyasal ve fiziksel koşullar yaşamlarına ve morfolojilerine etki edebilir. Örneğin derinlik arttıkça kabuklar hyalin olabilir. Daha sığ ortamlarda porselen tipler yaygındır. Suyun soğuduğu bölgelerde aglutinant kabukların geliştiği görülür. Su kimyasındaki değişiklikler kolaylıkla kabuk morfolojisine yansiyabilir. Enerjinin arttığı ortamlarda biraz daha kaba kabuklar gelişebilir. Sakin ortamlar daha süslü ve ince-narin kabukların oluşumuna neden olur. Zeminde su yosunlarının bulunuşu simbiyotik yaşamı da beraberinde getirir. Özellikle deniz çayırlarını oluşturan alglere yapışmak için kabuklarının bir tarafı bir nesneye tutunabilecek şekilde gelişmiş tipler bu ortamları tercih eder. Örneğin: *Cibicididae*, *Planorbulinidae*, *Acervulinidae* gibi. Planktonik foraminiferler, dalga, akıntı ve rüzgâr ile geniş coğrafik alanlara yayılır. Bentiklere göre oldukça daha az sayıda familyaları vardır. Topluluktaki birey sayısı bentiklere kıyaslandığında çok daha fazladır. Özellikle iklim kuşaklarının farklılaşmalarına duyarlı olduklarından kabuk sarımlarında belirgin farklılıklar gözlenir. Trokoid sarımlı tiplerde topacın sarım yönü, soğuk ve tropikal kuşaklarda yaşayanlarda farklılıklar gösterir. Bu da jeolojik dönemlerdeki iklim değişikliklerinin tanınmasında önemli bir özelliktir. Bu grup foraminiferlerin diğer önemli bir niteliği de kabuklarındaki  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  oranlarına bakılarak, okyanus sularındaki su sıcaklığını yansıtma potansiyelidir. Bu nedenle küresel problemlerin çözümünde sağladığı kolaylık, bentiklere göre çok daha fazladır. Planktonik foraminiferlerin kabuk morfolojileri iklim değişikliklerine duyarlı oluşumlardır. Bu morfolojinin başlıca unsurları karen, yardımcı ağızlar, localar, yüzey süsleri, kabuğun yapısı, ontogenetik gelişim ve spiral sarılmanın şeklidir. Karenli türlerin dağılımı yerin tarihi boyunca ekvator merkezli dar bir kuşağın varlığını belirtir. Bu özelliğe sahip fosil türlerin belirttikleri bu kuşağın daralması ve genişlemesi paleoklimatik belirleyici olarak kullanılmıştır. Bu  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  eski-sıcaklık tanımına göre de doğrulanmıştır. Karenli türlerin dağılımları fitoplankton *Emilliani huxleyi*'nin sıcaklık eğrisi ile karşılaştırıldığında,

deniz suyunun sıcaklığı arttığında karenli tiplerin geliştiği, buna karşılık sıcaklık azaldığında bu tiplerin yok olduğu görülmektedir. Planktonik foraminiferlerde yardımcı ağız oluşumları günümüz okyanuslarında tropikal kuşaklardaki tiplerde görülen morfolojik oluşumlardır. Yer tarihi boyunca da bu özellikleri ile tropikal kuşakların belirlenmesinde önemli rol oynamışlardır. *Emilliani*'nin sıcaklık eğrisi ile bu tip yardımcı ağız içeren cinsler karşılaştırıldığında bunların birbirleriyle uyum gösterdikleri görülmüştür. Kuvaterner'de ise bu çok daha belirgindir. Buzul arası ve buzul devirlerinde bu özelliğe sahip tiplerin yok oluşları ve ortaya çıkışları bu iklim değişiklikleri ile uyum gösterir. Çomak şekilli localara sahip türlerin yok oluşları yerin tarihi içinde devamlı olarak soğuk dönemlere karşılık gelmektedir. Günümüz okyanuslarında çomak şekilli localara sahip olan formlar *Globigerinella adamsi* ve *Globigerina digitata* ile temsil edilmiştir. Bu tiplerin tarihsel geçişleri erken Kretase dönemine kadar gider. Bu çeşit foraminiferlerin periyodik gelişme gösteren diğer iki karakteristiği ağ şekilli duvar yapısı ve kabuğun ontogenetik gelişimi ile ilgilidir. Bu yapıya sahip olanlar günümüz okyanuslarında ılık ve tropikal kuşaklarda geniş coğrafyalara yayılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10: Planktonik Foraminifera (*Globigerinella siphonifera*) (10)

Radiolaria: Silisten yapılmış ilginç görünümü- lü bir iç iskelete sahiptir. Hayvansal kökenli tek hücrelidir. Özellikle okyanuslardaki sıcaklık de- ğişiklerinden etkilenen bir gruptur. Sudaki termal tabakalaşmaya (sıcak ve soğuk) göre uyum sağ- layabilirler. Bu özellikleri nedeniyle türleri dün- ya okyanusları boyunca birden çok enlemde ve derinliklerde habitatları işgal eder. Bu nedenle türler de bu termal tabakalaşmaya uyum sağla- yarak farklı türlerden oluşan fauna toplulukları oluştururlar. Kabukların kimyasal yapısı, kabuk oluşumu sırasındaki su kimyasını yansıtır. Kabuk- ta bulunan kararlı oksijen izotop oranları, geçmiş su sıcaklıklarını anlamak için kullanılabilir. Bu ok- sijen izotopları hem atmosferde doğal olarak bu- lunur hem de suda çözülür. Daha sıcak su, daha hafif izotoplardan buharlaşma eğilimindedir, bu nedenle daha sıcak sularda gelişen kabuklar daha ağır izotoplarla zenginleşecektir (Şekil 11).



Şekil 11: Radiolaria topluluğu (11)

### Güncel Çalışmalar

Birçok mikroskobik tek hücreli bitkisel veya hayvansal canlı özellikle Kuvaterner'deki iklim ve ortam değişimleri hakkında önemli bilgilerle donatılmıştır. Bu bilgileri çeşitli teknolojilerle ortaya çıkartıp bu değişimlerin sebeplerini anlayabilir, süreçleri öğrenebilir ve gelecek için modelleme- ler yapıp önlemler alabiliriz.

### Marmara ve Karadeniz Örneği

1999 Gölcük Depremi Marmara Denizi'nde deniz araştırmaları için bir milat oldu. Deprem

sonrasında deniz tabanından geçen Kuzey Ana- dolu Fayı'nı incelemek için birçok yabancı araş- tırma gemisi İstanbul'a geldi. Bu çalışmalarda amaç fayın özelliklerini incelemektir ama bunun yanında birçok çalışma daha yapıldı. Örneğin Marmara Denizi'nin Kuvaterner döneminde ge- çirdiği süreçlerde buzul-buzularası dönemlerinin organizmalara bıraktığı  $O^{18}/O^{16}$  izotop izlerinin değerlendirilmesiyle; eski iklimlerin ve daha bir- çok olayın, örneğin deniz suyu seviyesi değişimle- rinin kronolojisine açıklık getirildi. Bu konularda her zaman sorulan bir soru vardır: Akdeniz suları boğazdan ne zaman geçip de Karadeniz'e ulaş- mıştır? Karotların çökel dizilerinde yapılan araş- tırmalarda, özellikle bivalv toplulukları ve hatta bir fitoplankton *Emilliani huxleyi* bu sorunun ce- vabı olabilir. Bivalv kabukları Marmara'nın göl ortamından deniz ortamına ulaştığını en güzel anlatan biyo-kanıtlardır. Şöyle ki; karotlardaki çökel dizilerinde göl ortamını, laküstrün koşulla- rını temsil eden *Dreisseina polymorpha* ile bunun üstünde yer alan ve denizel tuzlu ortamları temsil eden *Mytilus edulis*'ler ve kabuklarından yapılan izotop yaş tayinleri Marmara Denizi'nin Pleyis- tosen sonlarında, yani son buzuldan buzularası döneme geçişteki süreçleri tarihlendirerek bize sunar (12). Karadeniz, son buzul çağında bir iç göldür. Karotlardaki çökel dizileri Avrasya iklim değişikliğine ilişkin mükemmel bir potansiyel bil- gi kaynağıdır. Bin yıllık iklim olayları arasındaki bağlantıları gösterir. Havzadaki değişken girdi kaynaklarını ve hidrolojik koşulları kaydeden kar- bonat bivalv kabuklarında ve mikro kabuklarda izotopik (stronsiyum ve oksijen) ve iz element (Sr/ Ca) oranlarını kullanarak anoksik bir marjinal denize geçiş yoluyla son buzul maksimumundan (LGM) değişiklikleri detaylandırabiliriz. Böyle- ce Karadeniz'in son buzuldan günümüze kadar geçirmiş olduğu evrimsel süreçleri bu kabukları tarihlendirerek anlamak mümkün olur ki, bu da gözle göremediğimiz mikro dünyanın makro de- ğişimlere nasıl etki ettiğinin güzel bir örneğidir.

### Bafa Gölü'nün Tarihsel Gelişimi.

Akçer-Ön ve diğerleri'nin (13) 2020 yılında yaptığı çalışmasında mikron boyutlu canlıla- rın Bafa Gölü'nün ortamsal değişimlerinin nasıl belirlediğinden bahsedelim. Bilindiği gibi "Bafa Gölü" Antik dönemde eski "Latmos Körfezi'nin"





Bilime dönersek; Salda Gölü'nde yapılan çalışmalar sonucunda, magnezyum miktarının kalıyuma oranla çok daha fazla olmasından dolayı, hidromanyezit ( $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ) olan beyaz çakıl-kaba kumların gölde yaşayan siyanobakteriler tarafından çökeltildiği ve kıyılarda biriktiği anlaşılmıştır. Maldivler'i anımsatan beyaz kumun sırrı işte burada yatmaktadır (16). Balcı ve diğerleri'nin (16) Salda Gölü'nde yaptığı biyojeokimyasal çalışmalar, gölün Mars'ta bakteriyel yaşamın olabileceğine bir örnek teşkil etmesi bakımından önemlidir. Salda Gölü model alınarak Mars'ta geçmişte var olduğu düşünülen yaşamın muhtemel biyolojik izleri halen araştırılmaktadır. Mars'ta keşfedilen Jezero Krateri'ndeki 3,8 milyar yaşında olduğu tahmin edilen bir gölün kalıntılarında bulunan yapıların Salda Gölü ile benzer olduğu düşünülmektedir (17). NASA'nın Temmuz 2020'de keşfe gönderdiği Mars 2020 aracının Mart 2021'de Jezero Bölgesi'ne inmiş olup buradan toplayacağı örnekleri 2030'da Dünya'ya getirmesi planlanmaktadır. Eğer Mars 2020 aracı görevini başarı ile tamamlayabilirse önümüzdeki on yıl içinde Mars'ta yaşam olup olmadığı anlaşılacaktır. Salda Gölü Siyanobakterileri'nin marifeti burada bitmiyor, Mars'taki olası yaşam kadar ilgi çekici bilgiler veriyor olmasa da Salda Gölü çökellerinde yapılan element dağılımı ve  $\delta^{18}O - \delta^{13}C$  çalışmaları sonuçları Güneşteki patlamaların azalması ile Yerkürede soğumaların olabileceği fikrini destekleyici veriler ortaya koyuyor (18). Ostrakod kabuklarından yapılan kararlı oksijen ve karbon izotop değişimleri ve yüksek çözünürlüklü element taramaları birlikte değerlendirilerek elde edilen sonuçların; son 1400 yıl içinde iklim değişimlerinin Güneş'teki patlama sayıları ile ilişkide olduğunu belirtmesi bakımından araştırmada kullanılan bu mikroskopik canlıların ne denli önemli olduğunu bir kez daha ortaya koyuyor.

## Sonsöz

Okyanuslardaki mikrokozmos sakinlerinin ve bilinmeyenlerinin bilime sağladığı faydalardan yola çıkarak, gezegeni yok etmeye çalışan insana aklını başına getirmesi için verdiği öğütler olarak da düşünebiliriz. İklim değişimleri artık gezegenin kontrolü altında değildir. Onu kontrol eden in-

sandır. Bunu onun elinden almak oldukça zordur. Çünkü ne yazık ki her doğru şeyde insan insana karşıdır. Gezegenin doğasını onun kontrolünden alıp, yeniden doğaya verilmesi ancak yine kendisinin çabasıyla olabilecektir.

## Teşekkür

Prof.Dr.Mehmet Sakınç'a değerli katkıları için çok teşekkür ederim.

## Değınilen Belgeler

- (1) <https://twitter.com/singhyogesh9892/status/1068735997729562624/photo/1> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (2) [https://en.wikipedia.org/wiki/Glomar\\_Challenger](https://en.wikipedia.org/wiki/Glomar_Challenger) (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (3) [https://www.wikiwand.com/en/Oxygen\\_isotope\\_ratio\\_cycle](https://www.wikiwand.com/en/Oxygen_isotope_ratio_cycle) (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (4) <https://www.wikiwand.com/tr/Milankovic> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (5) <https://alchetron.com/Cyanobacteria> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (6) <https://biologydictionary.net/diatom> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (7) [https://en.wikipedia.org/wiki/Emiliana\\_huxleyi#/media/File:Emiliana\\_huxleyi\\_coccolithophore\\_\(PLoS\).png](https://en.wikipedia.org/wiki/Emiliana_huxleyi#/media/File:Emiliana_huxleyi_coccolithophore_(PLoS).png) (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (8) <https://www.nasa.gov/image-feature/turquoise-swirls-in-the-black-sea> (son erişim tarihi: 15.04.2021)
- (9) <https://www.britannica.com/science/palynology> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (10) <http://www.foraminifera.eu/single.php?no=1004622&aktion=suche> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (11) [https://www.protocols.io/view/scanning-electron-microscopy-imaging-for-opalines\\_ug9etz6](https://www.protocols.io/view/scanning-electron-microscopy-imaging-for-opalines_ug9etz6) (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (12) Çağatay, M. N., Görür, N., Algan, O., Eastoe, C., Tchapylyga, A., Ongan, D., & Kuşcu, I. 2000. Late Glacial–Holocene palaeoceanography of the Sea of Marmara: timing of connections with the Mediterranean and the Black Seas. *Marine Geology*, 167(3-4), 191-206.
- (13) Akçer, Ö., Greaves, A. M., Manning, S. W., Ön, Z. B., Çağatay, M. N., Sakınç, M., Oflaz, A., Tunoğlu, C. & Salihoğlu, R. 2020. Redating the formation of Lake Bafa, western Turkey: Integrative geoarchaeological methods and new environmental and dating evidence. *Geoarchaeology*, 35(5), 659-677.
- (14) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/geo.21791> (son erişim tarihi: 31.01.2021)
- (15) Russell, M. J., Ingham, J. K., Zedef, V., Maktav, D., Sunar, F., Hall, A. J., & Fallick, A. E. 1999. Search for signs of ancient life on Mars: expectations from

- hydromagnesite microbialites, Salda Lake, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 156(5), 869-888.
- (16). Balci, N., Gunes, Y., Kaiser, J., On, S. A., Eris, K., Garczynski, B., & Horgan, B.H. 2020. Biotic and Abiotic Imprints on Mg-Rich Stromatolites: Lessons from Lake Salda, SW Turkey. *Geomicrobiology Journal*, 37 (5), 401-425.
- (17). Garczynski, B. J., Horgan, B., Kah, L. C., Balci, N., Gunes, Y., Williford, K. H., & Cloutis, E. A. 2020. Investigating the Origin of Carbonate Deposits in Jezero Crater: Mineralogy of a Fluvialacustrine Analog at Lake Salda, Turkey. In *Lunar and Planetary Science Conference* (No. 2326, p. 2128).
- (18). Danladi, I. B., & Akçer-Ön, S. 2018. Solar forcing and climate variability during the past millennium as recorded in a high altitude lake: Lake Salda (SW Anatolia). *Quaternary International*, 486, 185-198.