

Deniz ölleri Yeşeriyor Sahra Tozundan Alg Patlamalarına

6 Nisan 1994'de, Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde, Sahra tozlarının atmosferik taşıyım yollarıyla önceden tahmin edilebilir olduğunu ortaya koymaya yönelik, Enstitü'nün dalgakıranında yapılan uzun süreli bir toz alma programı sırasında, Sahra'dan kalkan sıradışı bir toz fırtınası gözlemlendi. Bu fırtına, örnek-leme programı başladığından beri belirtilen en yüksek toz yükünü taşıyordu ve bu bilgiler AVHRR'in (Advanced Very High Resolution Radiometer) görüntüleri ile de saptanmıştı. Bu olaydan bir hafta sonra, 14-15 Nisan 1994'de, Akdeniz'de görünür ışığın deniz yüzeyinden yüksek oranda yansıdığı belirlendi ki, buna da literatüre göre, denizde oluşan *Emiliana huxleyi* patlamaları neden oluyordu. Araştırmacılara göre, 6-7 Nisan'da, Karadeniz, Marmara Denizi ve Akdeniz'e, yağışla birlikte gündüz çökelen Sahra kökenli toz girişi, Kokkolitoforlarda patlamalara nedendi. Kokkolitoforların patlama sonrası evrelerinden biri olan ve 6-7 gün süren, kokkolitlerin birbirlerinden ayrılması döneminde yansıma %25 oranında artıyor ve bu durum AVHRR algılayıcıları tarafından belirlenebiliyordu. 14-15 Nisan 1994 tarihleri arasında, tesadüfen Marmara Denizi'nde bulunan Enstitü'nün araştırma gemisi R/V BİLİM, olağan dışı ve çok yoğun bir kırmızı alg patlaması (red -tide) olduğunu rapor etti. Bu patlama sırasında baskın organizmanın *Noctiluca scintellans* olduğu bildiriliyordu; *E. huxleyi*'nin varlığı ise, biyolojik örnek saklama yönteminde kullanılan formaldehitden kaynaklanan sorunlar nedeniyle belirlenememişti. 1995 yılında ise, Akdeniz'in yüksek yansıma olan bölgelerinden toplanan örneklerde, *Emiliana huxleyi*'nin varlığı gösterildi.



1994 YILINDA Sahra'dan toz taşıyımının, bu tozun denizlere etkilerini ve tozun diğer genel özelliklerini incelemeye başlayan Prof.Dr. Cemal Saydam, yaptığı araştırmalardan elde ettiği sonuçlara göre bir iklim teorisi ortaya koymakta ve bu teori doğrultusunda, alg patlamalarının önceden tesbit edilebilir olduğunu, toz kalkışı ve dağıldığı yerlerin de üç gün sonrasına kadar belirlenebilir olduğunu öne sürmektedir.

Cemal Saydam, bu konuda şu açıklamalarda bulunuyor: "Bilindiği gibi demirin canlı organizmada biyolojik olarak kullanışlı hali +2 değerlikte olduğu zamandır. Faust'a göre de, bulut damlacıklarındaki demir tipleri hızlı fotooksidasyon/reduksiyon reaksiyonları ile belirlenmekte, yani bu reaksiyonlar demir+2 ve demir+3'ün dengesini belirlemektedir. Sahra üzerindeki meteorolojik koşullar nedeniyle, belirli dönemler-

de atmosfere kalkan toz uzun süreli bir taşıyım girer ve bu tozların içinde +3 halde demir bulunmaktadır. Bu toz, gündüz bulutla buluşup (ki bu sırada +3 değerlikli demir fotooksidasyon/reduksiyon reaksiyonları sonucunda +2 değerlikli demire indirgenmekte ve hava hareketinin devamı süresince bulut içindeki bu demir geceleri tekrar +3 hale dönüşmektedir) yeryüzüne inmektedir. Tozun indiği alıcı ortam eğer deniz ise



Sahra'dan toz taşınımı ve bu tozun denizlerdeki etkisini incelemeye başlayan araştırmacılar, 14-15 Nisan 1994 tarihlerinde Marmara Denizi'nde çok yoğun bir alg patlaması olduğunu rapor ettiler. Bu tarihlerde Akdeniz'de görünür ışığın deniz yüzeyinden yüksek oranda yansdığı belirlenmişti ve tüm bunların nedeni Ehux patlamalarıydı; ancak, Ehux'un varlığı o sıralarda tesbit edilemedi. 1995 yılında ise, Akdeniz'in yüksek yansım bölgelerinden toplanan örneklerle Ehux'un varlığı saptandı.



ve gündüz yağışla birlikte o ortama inmişse, oralarda alg patlamalarına neden olur. Burada önemli olan husus, alg patlamalarının olabilmesi için, tozdaki demirin +2 değerlikli olması gerektiğidir. Bu olay, alg patlamaları içinde özellikle *Emiliania huxleyi*'nin aşırı çoğalmasına neden olur."

Prof.Saydam'ın açıklamalarına yazı akışı içinde tekrar döneceğiz; ama öncelikle, Kokkolitoforlar ve *Emiliania huxleyi*'i tanıtmada yarar var.

Karasal bitkilerin okyanuslardaki eşdeğerleri olan bitkisel planktonlar, içinde buldukları ortamda besin zinciri-

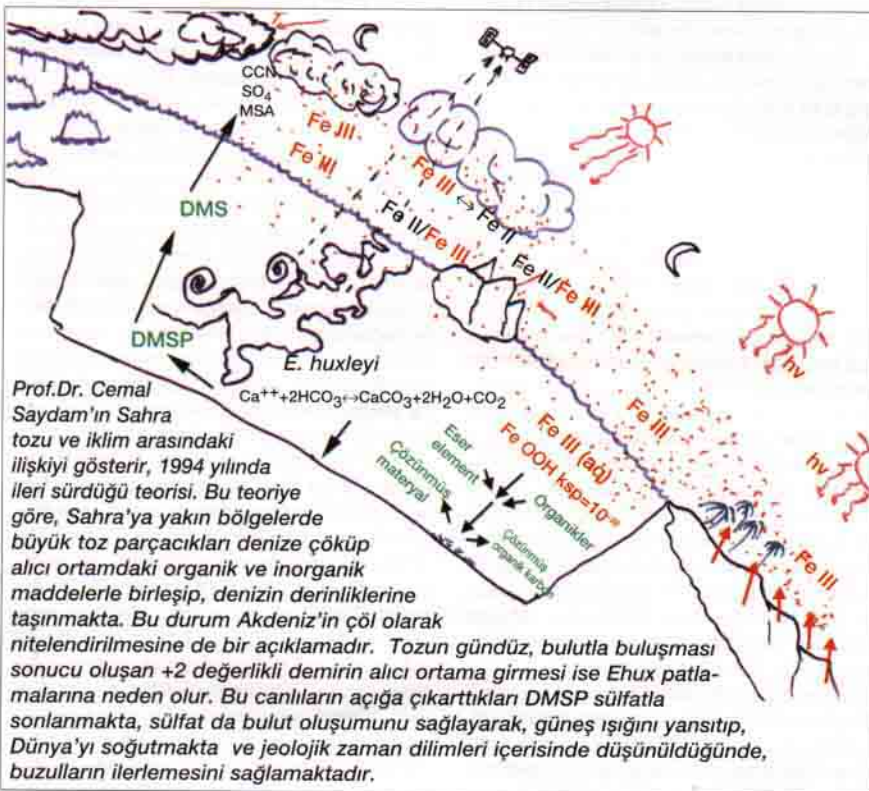
nin temelini oluşturuyorlar. Yani okyanuslardaki bitkisel planktonlar, dolaylı ya da dolaysız olarak bütün deniz canlılarının temel besin kaynağı. Bitkisel planktonlar, verimliliklerini belki de kalabalık bir topluluk halinde olmalarına borçlular; çünkü, balıktan balınaya ve hayvansal planktonlara kadar tüm deniz hayvanlarının toplamından daha büyük bir biyokütle sahipler. Bitkisel planktonlar, gezegenimizin iklimini düzenleyen temel etmenlerden de biri. Örneğin, bu yazının başrol oyuncusu olan *Emiliania huxleyi* (Ehux) 5000 bitkisel plankton türünden sadece bir tanesi ve

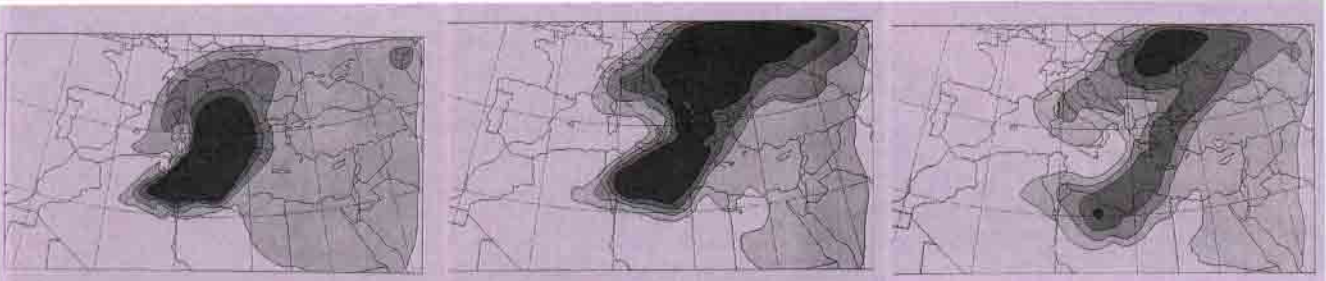
serbest hareket eden, fotosentez yapan ve okyanusların güneş gören üst tabakalarında yaşamını sürdüren bir canlı.

Ehux'u diğer bitkisel planktonlardan ayıran en belirgin özelliği, onu saran kokkolitleri. Bu kokkolitleri taşıyan türlere Kokkolitoforlar adı veriliyor. Darwin'in yakın arkadaşı, hatta onun ateşli bir savunucusu olan Huxley, deniz dibi çamurunu ilk inceleyen ve bu çamurun içinde kokkolitleri ilk bulan kişi. Kokkolit kelimesini de ilk kez Huxley kullanmış. Zaten Ehux da adını Huxley'den alıyor.

Kokkolitler, kokkolitogenez adı verilen yüksek derecede organize bir süreç sonucunda hücre içinde oluşuyorlar. Yapısı CaCO₃'den oluşan bu kokkolitler hücrenin dış yüzeyini koruyorlar. Ehux, kokkolitler sayesinde bulutsuz günlerde, şu anda yörüngede olan NOAA TIROS-N (Television Infrared Observation Satellite-N) serisi uydular (NOAA -9, 10, 12 ve 14) tarafından tesbit edilebiliyor.

Kokkolitoforlar da diğer bitkisel planktonlarda olduğu gibi, üredikten sonra dimetilsülfidpropiyonikasit (DMSP) üretiyorlar. Hatta Ehux'un DMSP üretimi diğer bitkisel planktonlara göre çok daha fazla. Bu da Ehux'un diğer bir ayırıcı özelliği. DMSP, atmosfere dimetilsülfid (DMS) gazı olarak çıkıyor. DMS atmosferde oksitlendiğinde, metilsülfonikasit (MSA) ara basamağından sonra sülfat partikülleri oluşturuyor. Bu sülfat partikülleri oluşmalarında önemli rol oynadıkları bulutlar aracılığıyla Dünya yüzeyini Güneş'in radyasyonundan kalkan gibi koruyor. Bir başka





Sahradan kalkan tozların 22, 23 ve 24 Nisan 1997 tarihlerinde Türkiye üzerindeki dağılımı ve etkilediği alanlar (km²/ton). Bu toz, Prof.Dr. Cemal Saydam tarafından, özellikle Kurban bayramı süresince yurdumuzda gözlenen çamurlu yağmurların da nedeni olarak gösteriliyor.

deyişle, Dünya'nın soğumasına neden oluyor. Bu konuda East Anglia Üniversitesi'nden Suzanne Turner, IronEx deneyi sırasında atmosferdeki DMS konsantrasyonunun arttığını da belirlemiştir. Buzul döneminde Güney ve Kuzey yarıkürede havadaki toz, sülfat ve MSA düzeyleri bugünkünden daha yüksek olduğu bilgisi ve konuyla ilgili bazı araştırmalar da, Kokkolitoforların Dünya'nın soğumasına katkıda bulunduğunu ve küresel ısınmayla ilgili olduğunu ortaya koyuyor.

Kokkolitoforların iklim değişiklikleri süresince deniz dibi çamurlarında fazla birikim gösterdiği de bilindiği için, okyanuslarda çökeltmelerini inceleyen araştırmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmaların amacı, denizlere çökel (sediman) tutucular yerleştirip, deniz yüzeyinden dibe doğru çöken bu canlıların kalıntılarını yakalamaktır. Bilim adamları, eğer bu cins çökellerin arttığını bulurlarsa, küresel iklim değişikliğine doğru bir gidişin olabileceğini iddia ediyorlar.

Buraya kadar anlatılanlar bu konuda çalışan bütün bilim adamlarının ortak görüşü; ama ne oluyor da Ehux patlıyor, yani aşırı miktarda çoğalıyor? Aynı oşinografik özellikleri gösteren sularda; örneğin Akdeniz'de ya da Atlantik'te, aynı su içinde, bir yerde patlama var, bir yerde sanki bıçakla kesilmiş gibi, patlama yok. Bunun nedeni ne?

Bu konuda Cemal Saydam'ın düşüncesi şöyle: "Bu patlamaların, Sahra'nın tozlarının, bulutla birleşip, gündüz vakti, yağışla çöklediği yerlerde olduğunu tesbit ettik. Bu da, özellikle Nisan ayından itibaren, bizim ülkemizin de bulunduğu enlemlerde oluyor. Mayıs, haziran aylarından itibaren de Atlantik tarafında patlamalar oluyor. Yine bizim ülkemiz koşullarını düşünersek, Nisan yağmurlarının özelliği sağanak halinde yağmasıdır. Yani, bir bakarsanız Ankara'nın Bahçelievler semtinde yağmur yağar, aynı sıralarda Kavaklıdere'de hava günlük güneşliktir. İşte bunu daha büyük ölçeklerde, denizler için düşünersek, bir yerde Ehux patlaması olur-

Avrupa ya da Atlantik'e doğru taşınır; dolayısıyla, toz, güneş ışığı ve bulutun oluşma ihtimali artar. Oluşan alg patlamaları sonucunda ortaya çıkan sülfat partikülleri kuzey enlemlerinden başlayarak (meteorolojik koşullara göre) dağılırlar. Bu durumda sülfatın atmosferik nemle buluşma ve bulut oluşturma olasılığı çok daha yüksektir.

Sahra'dan Kalkan Tozlar

Cemal Saydam

Prof. Dr., ODTÜ Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü

Sahra'nın orta kısmı her zaman çöl; ama iki yanında, güneyde ve kuzeyde, özellikle güney tarafında sub-sahel dediğimiz yöreler bulunuyor ve doğa, bu bölgedeki kuraklığı artırma eğiliminde. 1979'dan bu yana, bu bölgede yapılan ölçümlerde, yağışın ortalamasının altına kaydığı görülüyor. Yani, her geçen yıl, normal yağıştan giderek daha az yağış alıyor burası; dolayısıyla, bugünkü meteorolojik şartlarda atmosfere kalkan toz miktarı artıyor.

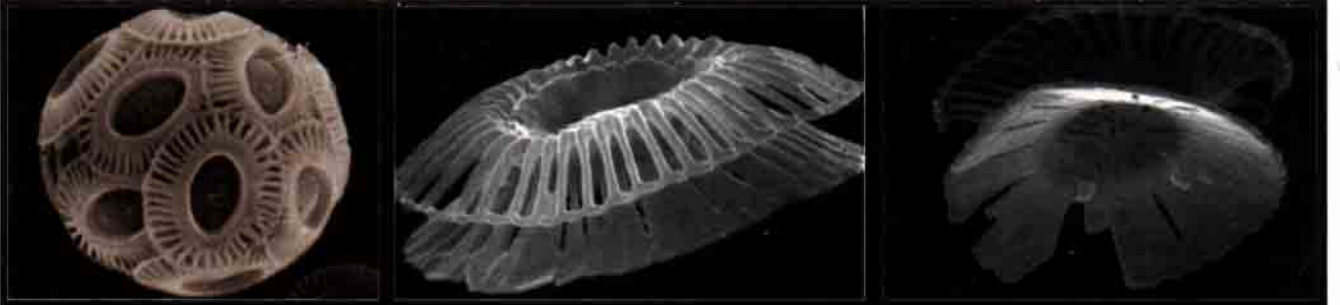
Sahra deyince, herkes kum, çakıl yığınının bulunduğu bir bölgeyi gözünde canlandırır. Oysa Sahra, Buzul dönemlerinin sonunda gayet verimli bir yer; göllerin bulunduğu, yeşilliklerle kaplı bir dönem geçirmiş. İşte o dönemlerdeki, göllerin dibinde biriken humuslu topraklar, yani Sahra'nın verimli kısmı taşıyor, tozla. Sahra'nın sub-sahel bölgelerinde kuraklık artıyor ve dolayısıyla Sahra'dan kalkan tozda da bir artış gözleniyor. Doğanın yapmaya çalıştığı işte bu. Toz miktarını artıracak ki, kuzeye doğru taşınma sağlansın ve toz, bulut ve Nisan ayından sonraki güneş enerjisiyle birleşip, gündüz vakitlerinde, denize çöktüğü yerlerde, Ehux patlamalarına neden olsun.

Ehux'un önemli bir özelliği, DMSP'den sülfata kadar varan kimyasal maddeleri yaymasıdır. Sülfat aerosolünün bulut oluşturma özelliğini ve güneş ışınlarını yansıtması nedeniyle dünyanın üzerinde soğutma etkisi yaptığını da biliyoruz. Sahra'dan kalkan toz, meteorolojik olaylarla, genelde kuzeye,

şimdi bu olayı jeolojik zaman dilimleri için düşünelim. Bu varsayım, Buzul döneminde çok daha fazla bulut oluştuğunu ve buzulların ilerlemeye başladığını düşünersek şöyle bir soruya öncelikle yanıt bulmak gerekecektir. "Buzul dönemi başladı ve o dönemde dünyanın çok daha fazla buzulla kaplandığını biliyoruz. Peki neden buzullar, bu dönemde bütün yerküreyi kaplamadı?" Bana göre, doğanın bir korunma mekanizması var. Bildiğimiz en yakın Buzul döneminde, Kuzey Amerika'nın ortalarına kadar veya Fransa'nın ortalarına kadar buzullar inmiş; daha fazla ilerlemediklerini biliyoruz. Çünkü, bugünkü yağmur kuşağı İskandinavya ülkelerinden Akdenize kadar uzanmakta. Buzulların şimdiki Kutup bölgesinden Fransa'nın ortalarına kadar ilerlemesi, doğal olarak yağmur kuşağının da güneye itilmesini sağlamış. Yani toz üreten bölgelerin, giderek daha fazla yağış alması söz konusu, böylece tozun büyük oranda atmosfere çıkışı engelleniyor. Bu durumda toz-bulut-güneş ışığı birleşmesi zamanla azalma göstermiş; dolayısıyla, alg patlamaları olasılığı da azalmış. Bu da buzulların oluşmasını, dünyanın soğumasına neden olan bulutların oluşmasını sağlayan sülfat aerosollerinin oranını azaltmış. Bu durum buzulların ilerlemesi; yağmur kuşağının güneye itilmesi ve tozun durmasına neden olmuş. Özetle doğa, tozu ısınmaya karşı kullanabildiği gibi, toz üreten alanları yağmurla kapatarak yerkürenin daha fazla soğumasını önleyebilmiş.

Alg patlamalarının öne sürdüğümüz varsayımından meydana geldiğini iddia ediyorsak, bu noktada bu mekanizmanın çalıştığını da kanıtlayamaz gerekir ve ancak o zaman teori anlam kazanır. 1994'den bu yana gözlediğimiz olaylar, uydu alıcıları ile varlığını tesbit ettiğimiz tüm Ehux patlamalarının, patlamadan bir hafta önce, Sahra'dan kalkıp o yöreye yağmurla, gündüzleri çökelen tozlardan dolayı olduğunu gösteriyor. Bu teoriyi, 1991 yılında İzlanda'nın güneyinde, 18 Haziran tarihinde gözlenen ve halen nedeni kesin olarak açıklanmamış Ehux patlaması için de test ettik. Teorimize göre, bu patlamalardan bir hafta önce bu bölgeye Sahra kökenli toz gelmeliydi. Fransız bilim adamlarıyla yaptığımız ortak çalışmalar sonucunda o bölgede 11-12 Haziran 1991 yılında, bu tozun yağışla beraber çöktüğünü, Meteosat uydu verileri ile kesin bir şekilde gösterdik. Zaten öne sürdüğümüz teorisinin sağlanması uydudan alınan verilerle yapılmakta. Halen NATO projesi çerçevesinde yürüttüğümüz bir çalışmamızla, yaptığımız uygulama modelleri yardımıyla önceden tozun kalkışını ve dağıldığı yerleri üç gün sonrasında kadar tespit edebiliyoruz.

Kısacası, doğanın olasılıklarla yapabildiği şeyi, bizlerin bilimsel olarak yapma olasılığımız var. Tanker uçaklarla yakıt taşıyacağına; o yakıtı yakıp Sahra'nın tozunu taşıyacağına. Örneğin, yazın Türkiye'nin üstü bulutlanıyor, ama Sahra'dan toz gelmiyorsa; güneş ışığı var, bulut var, toz yok. Bu durumda, Sahra'dan alırsınız tozu, istediğiniz yerde ekersiniz. Dolayısıyla güneş ışığının, tozla, bulutla buluşmasını sağlar, demiri biyolojik yararlı demir haline sokar ve istenilen yere indirirsiniz. İşte dünyanın açlığına çare buldunuz. Denizin üstüne indirirseniz bitkisel planktonu patlatıyorsunuz; bitkisel planktonu patlatmak demek, balığı artırmak de-



Emiliana huxleyi'i diğer bitkisel planktonlardan ayıran en belirgin özelliği onu saran kokkolitleridir. Bu kokkolitleri taşıyan türlere de Kokkolitoforlar adı verilir. Her üç resim, *Emiliana huxleyi* kokkolitlerinin elektron mikroskopuyla elde edilen görüntüleri.

ken, bir yerde olmayacak anlamına gelir. Bunun açıklaması da, bir hafta önce Sahra üzerinde etken olan meteorolojik olaylar sonucunda yerden kalkıp ülkemize gelen ve içerisinde +2 değerlikli demir bulunduran tozun deniz ortamına yağışla çökmesi demektir. Burada bir haftanın da önemini açıklayalım: Ehux'un yaşam süresi 2 hafta sürüyor. 1 haftadan sonra Kokkolitoforlar parçalanmaya başlayıp, kokkolitlerini atıyorlar. İşte Kokkolitoforların kokkolitleri attığı bu dönemde NOAA/AVHRR uydusu oradan geçiyorsa, gündüz vakti ise ve bulut yoksa, güneş ışığını yansıtmasından dolayı, Ehux patlamaları bu uydudan tarafından tespit ediliyor.

Ehux'un, nerede, ne zaman görülebileceğini de, böylece önceden belirleyebiliyoruz. Bu patlamaları 1978-1986 arasında yörüngede bulunan Coastal Zone Color Scanner (CZCS) uydusu ile renk özelliğine dayanarak tespit edebiliyorduk. 1997 Temmuz ayında yörüngeye oturtulması planlanan SeaWiFS uydusu ile yeniden okyanusların renkli görüntüsünü almak ve Ehux patlamalarını gün gün belirlemek olası olacaktır.

Ehux patlamalarının NOAA uydusu tarafından bir hafta sonra belirlenebilir olması, bu bir haftalık sürede, o bölgede etkin olan akıntılarının Ehux'ları yayması ve dağıtması, bugüne kadar bilim dünyasını yanıltan önemli bir etmen olmuş-

tur. Oşinograflar patlamanın olduğu sularda ve yakın çevresinde yaptıkları incelemelerde patlama olan ve olmayan sulardaki fiziksel ve kimyasal parametrelerde hiçbir fark görememekte ve bugün dahi Ehux patlamalarının nedeni bilinmemektedir; ancak kesin kanı bu patlamaların oşinografik parametrelerle ilgili olduğu yönündedir."

Uydudan görüntüleme teknikleriyle tespit edilebilen bu patlamaları, patlamadan sonra, gözümüzle de görebilmemiz olası; çünkü onların varlığı suya süt beyaz ya da turkuaz bir görüntü veriyor. Aslında bu durumu zaman zaman hepimiz yaşamışızdır. Deniz kenarında kimi zaman masmavi olan rengin aniden tur-

mek; karaya da ekebiliriz tozu. Örnek vereyim: Geçen sene, tahıldardan 1,5 milyon ton fazla ürün aldık. 1,5 milyon tonluk fazla alan ekmedik. Çünkü ekili alanlar sınıra ulaştı. Bu ürünü artırmak için fazla gübre de kullanılmadı. Peki ne oldu da üretim arttı? Çünkü, geçen sene Nisan ayında, Sahra'dan gündüz vaktine denk gelen yağışların bol miktarda aldık.

Bu noktada tekrar Sahra'ya dönelim ve bu bölgeden yayılan toz hakkında bilgi verelim. Sahra, 8-10 milyon km²'lik alana yayılan geniş çöl bölgesi. Sahra'nın bize doğru attığı toz ise senede 20 milyon ton. Literatür de böyle gösteriyor; bizim araştırmalarımızda da 19 milyon ton bulduk. Ama Sahra'nın Amazonlar'a attığı toz yılda 80 milyon ton. Büyük bir toz yükü var. Yani, Amazonların büyüme döngüsünü Sahra tozu sağlıyor. Sahra, bütün Kuzey yarı küreyi etkileyen büyük bir olay. Peki dünyanın öteki yerlerinde ne oluyor? Tabi ki, her yeri etkileyecek çöl kaynağı var. Japon Denizi'ni etkileyen Gobi Çölü, Avusturalya'nın iç kısımlarındaki çölleri, Güney Amerika'ya geldiğinizde Arjantin'deki çölleri, Güney Afrika'da Kalahari Çölü ve Kuzey Amerika'nın ortasında da çöl var. Çölün olmadığı yer ise Pasifik.

Öğretmenler öğrencilerine derler ki: Nitrat, fosfat, silikat, güneş ışığı birleşince klorofil yapar. Ama Pasifikte bunların hepsi var, klorofil yok. Neden? John Martin'e göre, buraya demir ekirse bu olur diyor. Şimdi İngilizlerin yaptığı da bu. Peter Liss'in yaptığı da bu. Pasifik Okyanusu'na demir sülfat eklemek bu sorunun çözümlenebileceğine inanıyorlar.

IronEx2'de de bu araştırıldı. IronEx3'de de bunu Güney Pasifik'te yapmayı düşünüyorlar. Yani, Antarktika'ya yakın olan yerde de bu deney yapıla-

cak. Çünkü Antarktika'nın üretime çok yatkın olduğu, sularındaki besin tuzlarının çok olduğu biliniyor, yazın üretimin olduğu da biliniyor. Eğer bu ortama demir de eklirse, dünyanın açlık sorununa çözüm getirileceği düşünülüyor. Ancak, bana göre yine yanlış yapıyorlar. Çünkü önemli olan biyolojik olarak yararlı demiri kullanabilmek. Bunun için demiri, bulutun içine eklemek gerekiyor.

Öne sürdüğümüz gibi, göldeki ve denizdeki uyarı aynı mekanizmayla gidiyorsa, o zaman çalışmayı kendiliğinden bir ileri safhaya götürebiliyorsunuz. Madem +2 değerlikli demir gündüz deniz üzerinde alg patlaması yapıyor, bulut içindeki de su; Sahra'dan gelen matris bulutla birleşiyor, güneş ışığı da var. Peki niçin bulutun içinde alg patlaması olmasın?

Türkiye gibi etrafında, çok değişik oşinografik parametrelere sahip denizleri olan bir başka ülke yok. Dolayısıyla bu şans Türkiye'de. Akdeniz, Karadeniz, Marmara gibi üç tarafı denizle çevrili bir ülkemiz. Karadeniz gibi ekolojik bir değişim göstermiş, Tuna suyuyla beslenen bir su, Marmara gibi endüstriyel kirliliğin yoğun olduğu bir su, Ege Denizi gibi bir geçiş denizi ve Akdeniz gibi denizin çölü.

Akdeniz denizin çölü; gerçekten hiçbir şey yok. Suyun içinde partikül bile yok denecek kadar az. Akdeniz'in, uluslararası denizde çalışan oşinograflar tarafından da hayretle karşılanan ışık geçergeliğine bakılmış. 110-120 m ışık geçirdiği görülmüş. Dünyada böyle bir deniz yok. Işığı engelleyecek tek şey suyun içindeki partiküller, partikül de olmadığı için, ışık 110-120 metreye kadar iniyor. Halbuki bu Marmara'da 25 m, Karadeniz'de 30-40 m'lik bir derinliği buluyor.

Akdeniz'in çöl olmasının nedeni de Sahra'dan gelen demir. Akdeniz'in üzerinde genellikle daha

kuru çökme olduğu için demir+3 halde, suya da düşüğünde +3 halde ve eğer yüzeyde fosfat varsa onunla da birleşip fosfatı çözünmez bir bileşik yapıyor ve deniz dibine taşıyor. İşte Akdeniz'in çöllük özelliğinin nedeni bu. Zaten fosfatı, nitratı yok. Olanı da bu kuru çökme götürüyor. Ama Karadeniz'e, Marmara'ya geldiğiniz zaman, alıcı ortamın yüküne göre bu demir red-tide dediğimiz, kırmızı alg patlamasına da dönebiliyor. Bunların zehirli olan kısmı var; ya da çok yoğun olanı var. Kırmızı alg patlaması çok yoğunsa, balıkların solungaçlarını tikiyor, hayvanı nefes alamaz hale getiriyor.

Norveç, İsveç kıyılarında kırmızı alg patlaması çok görülüyor. Bu ülkelerde, balık çiftliklerinde balık yetiştiriciliği çok önemli olduğu için, alg patlamalarının ne zaman, nerede olacağını bilmek de çok önemli. Bu zamanlamaya göre balıklarını açığa çıkarıyorlar ki, bunun zararlı etkisini bertaraf edebilsinler. Bu nedenle büyük paralar harcanıyor, alg patlamalarını önceden tespit edebilmek için. Bizim yaklaşımımızla da bu alg patlamalarının zamanını biliyoruz. Daha da önemlisi, alg patlamalarını istediğimiz bölgelerde oluşturabiliriz de.

Tüm bu anlatılanlar, gerçekten de doğanın bilinmeyen sınırlarından biri ve bizler konu üzerinde detaylı bir şekilde çalışıyoruz; örneğin, Sahra'dan kalkıp Türkiye üzerine gelen tozları NATO projesi çerçevesinde ODTÜ ve TÜBİTAK BİLTEN ortaklığı ile gün gün takip ediyoruz. TÜBİTAK olarak, konu ile ilgili bilim adamlarına ulaşım, Sahra tozunun çok çeşitli (sağlık, mikrobiyoloji, tarım, hayvancılık, mühendislik) boyutlarıyla incelenmesi için çalışmalar da önümüzdeki günlerde gündeme gelecek. Bir bütünün parçaları halinde olacak bu geniş kapsamlı uğraşa TÜBİTAK ve MAM'ın hemen bütün Araştırma Grupları ve BİLTEN katılacak.

kuaz rengine döndüğünü görürüz ve o günlerde hava güneşli ise yansıma nede-niyle denize bakamayız bile.

Kutupların alt bölümlerine denk gelen enlemlerde; özellikle Kuzey Atlantik, Kuzey Pasifik ve Arjantin'de yüzey sularında Ehux patlamaları belirlenmiş. Patlamalar yıllık toplam $1,4 \times 10^6$ km²lik bir alanı kaplıyor ve bu olayların % 71'lik kısmı biraz önce sözünü ettiğimiz bölgelerde gerçekleşiyor.

Patlamalar kutupların aşağı kısımlarındaki bölgelerde, yaz başından sonbaharın ilk aylarına kadar en yüksek düzeye ulaşıyor. Düşük enlemlerdeki patlamalar ise kış ortasından ilkbaharın başına kadar sürüyor.

Dünya'daki global iklim değişikliklerinin nedenleri konusunda çeşitli teoriler olmakla birlikte, Prof. Dr. Cemal Saydam, bu konuyla ilgili olarak, Ehux patlamalarının, Van Gölü'nde yükselmelere ya da mevsim normalleri dışında yağın yağışlara neden olduğunu ileri sürüyor: "İsrailli bilim adamlarının yaptıkları çalışmalara göre, eğer Sahra'dan gelen toz sülfatla kaplıysa, normalde bırakacağı yağıştan en az 4-5 kat daha fazla yağış gerçekleşiyor. Dolayısıyla, nisan ayında ne oluyor da sanki kış mevsimini yaşıyoruz, ya da bu yıl Uludağ'da neden çok fazla miktarda kar birikimi oldu? Bunların hepsi doğal; çünkü gelen toz sülfatla kaplıydı ve daha çok yağış bıraktı. Ve bunun ilk etkisini, Güneydoğu Anadolu'da 2000-3000 m yüksekliğindeki dağlarda gördük. 1989 yılından sonra, 2000 m'nin üzerindeki dağlarda, özellikle mart sonu ve nisan aylarında yağış miktarı % 80'e varan oranlarda artış gösterdi. 'Kar ne zaman yağar'

sorusunun yanıtının doğal olarak kış mevsimi olduğu belli; ama asıl önemli olan karın ne zaman biriktiği sorusunun yanıtı. Bu sorunun yanıtı bu anlattıklarımızla ilintili. Bununla ilgili kesin yanıtı 1998 yılında alabileceğiz. Doğu Anadolu Yukarı Fırat havzasına yerleştirilecek ölçüm cihazları ile yağın kar miktarını anlık olarak tesbit edebilecek ve uydu aracılığıyla bu bilgileri merkeze getireceğiz. Bu da bize, ileri sürdüğümüz teori ile kar birikimi arasındaki ilişkinin gerçekten var olup olmadığını gösterecek."

Patlamaların Çok Yönlü Etkileri

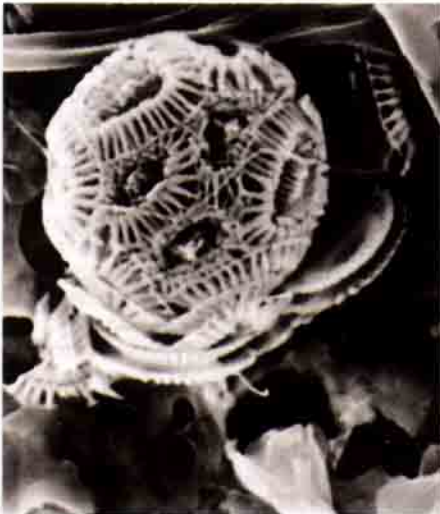
Araştırmacılar da, Ehux patlamalarının gezegen sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisinin olabileceğini düşünüyor. Patlama sonucunda meydana gelen alg kolonisinde astronomik sayılarda birey bulunabiliyor. Ehux hücreleri, virüsler, bakteriler ve hayvansal planktonlar gibi canlıların ya da parçalayıcıların yardımıyla besin zincirine katılıyor. Patlamadan arta kalan bazı kalıntılar, su külesinden kimyasal maddeleri alarak okyanus tabanına çökeltiyorlar. Yani, bitkisel plankton hücreleri yaşarken de, ölümlerinde suya kimyasal maddeler bırakıyorlar. Patlamış bir alg kolonisi, çok büyük bir kimya fabrikasına benzetilebilir. Bu sırada çözünmüş CO₂, nitrat ve fosfat sudan ayrılırken, oksijen, amonyak, dime-tilsülfat ve diğer çözünmüş organik bileşikler suya geri veriliyor. Bu kimya fabrikası, aynı zamanda çok büyük hacimlerde organik maddeyi ve kalsiyum karbonatı derin denizlere, okyanus tabanı-

na bırakıyor. Bu CaCO₃'ün bir kısmı te-beşir ya da kireçtaşı olarak denizdeki tortul kayaları oluşturuyor. Hatta belki de yerkürenin döngüsüne yeniden girip, milyonlarca yıl sonra dağ, tepe şeklinde yeniden ortaya çıkabiliyor. Örneğin, İngiltere'nin güneyindeki kıyı şeridinde ki beyaz tepeler (Dover) buna örnek olarak gösterilebilir.

Kokkolitoforlar bölgesel ve küresel sıcaklığı ise birkaç biçimde etkiliyorlar.

Denizin Albedosu: Ehux dünyanın birçok yerine yayılmış durumda; ona sadece kutup denizlerinde rastlanılmamış. Su içinde uygun koşullar oluştuğunda büyük patlamalar yapan bu bitkisel planktonlar o sırada bulunduğu yerdeki suyun rengini süt beyazına dönüştürüyor. Denizlerdeki suyun beyaz renk almasının nedeni uzun bir süre anlaşılammıştı. Ancak, bugün bu beyazlığa kokkolitlerin yol açtığını biliyoruz. Kokkolitlerin her biri suda asılı halde bulunuyor ve toplu iğne başından daha küçük boyutlarıyla reflektör gibi çalışarak suya gelen güneş ışınlarının yüksek oranda yansımaya neden oluyorlar. Bu yansıma ile daha çok ışık ve enerji uza-ya geri dönüyor. Bu durum, içerdikleri kalsitin optik özellikleriyle ilgili olup, tipik bir patlama, okyanusun albedosunu % 7,2'den %9,3'e kadar artırıyor.

Deniz Isısının Tutulması: Kokkolitlerin neden olduğu yansıma, her durumda atmosfere normalden daha çok ısı ve ışığın geri verilmesine yol açıyor. Aynı zamanda kalan ısının deniz yüzeyinde tutulmasına da neden oluyor ve toplam ısının yalnızca daha küçük bir kısmının suyun derinliklerine geçmesine izin veriyor. Çünkü, ısının atmosferle değiş-



Emiliana huxleyi hücresi ve Karadeniz'in dip çamurunda birikmiş, binlerce yıllık *Emiliana huxleyi* kokkolitleri.



12 Haziran 1993'te Norveç'te Ylvesoy fiyordunda oluşan *E. huxleyi* patlamaları sonucunda suyun rengi burada da turkuza dönüşmüştü (solda). Sağ resimde ise, Namibya açıklarında gerçekleşmiş *E.huxleyi* patlamasının uydudan çekilmiş fotoğrafı görülüyor. Fotoğrafta, alg patlamasının olduğu yer turkuaz renkte ve açıkça görülmekte.

mini yüzeye yakın olan su gerçekleştiriyor ve kokkolitifer patlamaları, başlangıçta deniz yüzeyinin birkaç metre ısınması olayı ile maskelenmesine rağmen, uzun vadede suyun daha soğuk olmasına yol açıyor. Bu konuyu araştırmaya yönelik çalışmalar hâlâ sürüyor.

Bulut Albedosu: Bitkisel planktonların DMS adı verilen bir kükürt bileşiği ürettiklerinden daha önce bahsetmiştik. Hücreler öldükten, okyanusta ve atmosferde çeşitli biyolojik ve kimyasal değişimler olduktan sonra, DMS'nin bir kısmı atmosferde bulut yoğunlaşmasını başlatan çekirdekleri (CCN-Cloud Condensation Nuclei) oluşturuyor. Böylece, Kokkolitifer verimliliği daha çok bulut oluşumuna izin vererek, gezegenin yansıtıcılığını artırmaya yardım ediyor. Bitkisel planktonlarda DMS'in bulut yoğunlaştırma çekirdeğine dönüşme süreci oldukça karmaşık olduğundan, bunun zorlayıcı etkilerinin ne derecede önem taşıdığı henüz bilim adamlarınca tam olarak aydınlatılmamış. Ancak, en son hesaplamalar bunun 10-12 gün mertebesinde olduğunu da belirtmekte.

Karbon dioksit-Sera Etkisi: Bitkisel planktonların tümünde çoğalma CO_2 'in organik maddeye çevrilmesine ve atmosferdeki CO_2 miktarının düşmesine sağlar. Ancak, Kokkolitiferler aynı zamanda bikarbonatı (HCO_3^-) da alarak, bunu kokkolitlerin kalsiyum karbonatını oluşturmak için kullanırlar. ($Ca+2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3+H_2O+CO_2$)

Toplam çözülmüş karbon miktarı, bikarbonat iyonlarının (yani çözülmüş karbonun) katı $CaCO_3$ 'ün içine alınmasıyla düşürülebilmesine rağmen, toplam etkisi buna ters olarak suda daha çok CO_2 üretilmesi biçiminde oluyor. Bu yolla Kokkolitifer patlamaları, atmosferdeki CO_2 'i artırarak, küresel ısınmayı azaltacağına, artırma eğilimi içinde.

Fazladan Demir Mavi Çölleri Yeşertiyor

Ehux'un neden bazı yerlerde patlayıp, bazı yerlerde patlamadığının nedenleri bilinmiyor ve hâlâ bu konu üzerinde üzerinde araştırmacılar uğraşıyorlar. Bunun nedeni, ya bölgelerin sıcaklık farklarından ya da tabakalaşma farklılıklarından. Belki de yalnızca parlak sular da ya da suyun yalnızca besin bakımından zengin kısımlarında patlama oluyor tezlerini öne sürüyorlar. Cemal Saydam ise bu konuda net bir görüş öne sürüyor: "Ehux patlamalarının enlem ve boylamlara göre mevsimsel değişiklikler gösterdiğini biliyoruz; örneğin İngiltere'nin kuzeyinde veya Kuzey Atlantik'te mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında Ehux patlamaları olurken ülkemizde bu patlamalar nisan ayından itibaren oluyor. Ancak, farklı mevsimlerde toz bu bölgelere gitmiş olsa da Ehux patlamalarını yapmıyor; çünkü atmosferde +2 değerlikli demire dönüşümü sağlaya-

cak yeterli güneş enerjisi yok". Prof. Saydam patlamaların nedeni konusunda ise şu sözleri söylüyor:

"Barbara Sulzberger adındaki İsviçreli bir bilim adamı yaptığı bir çalışmayla, aslında farkında olmadan Sahra tozunun bir özelliğini daha ortaya koydu: Sahra tozunun mineralojik yapısının farklılığı.

Demir minerali bilindiği gibi yerka- buğunun % 5'ini oluşturuyor. Bu % 5 rakamı Türkiye'de de Sahra'da da aynı. Ama bu demir mineralinin içerdiği hematit ($\alpha-Fe_2O_3$), geotit ($\alpha-FeOOH$) ve bir de lepidokrosit ($\gamma-FeOOH$) fraksiyonları var. Güneşin ışığı ile bulut birleşince, bulut içinde hematit, geotit ve lepidokrositdeki demir +3'den +2 değerliliğe indirgeniyor; özellikle de güneş enerjisinin belli bir seviyenin üzerine çıktığı nisan ayından sonra.

Güneş enerjisinin yeterli olduğu dönemde hematit ve geotit içerisinde indirgenen demir, kristal yapısının dışına çıkamıyor ve yüzeyde tutuluyor. Ama lepidokrosit, yapısından dolayı indirgenmiş demiri tutamadığından onu ortama sokuyor işte bütün espri burada. Sahra'da veya çöl ortamında lepidokrosit'in bol olduğu literatürden anlaşılıyor.

Lepidokrosit, demir mineralinin en deforme olmuş, en amorf hali. Sulzberger'in araştırmasının bir başka önemli sonucu da, demirin +3'ten +2'ye indirgenmesinin güneş ışığının dalga boyun-



1991'de Kuzey Atlantik'te *E. huxleyi* patlaması oldu ve etrafa yayılan kokkolitler bir reflektör gibi davranarak ışığı yansıtıp suya beyaz-turkuaz rengi verdi (sağda). Aynı olay 1994'te Norveç'in Hardanger fiyordunda görüldü (solda).



dan bağımsız olarak, ancak güneş ışığı şiddetine bağımlı olması. Sahra'dan kalkan tozların yeterli güneş enerjisi bulunan enlemlerde bulutla buluşması, demirin +3 den +2 değerliğe indirgenmesine neden olur. Ancak +2 değerliğindeki demir kararlı değildir; kısa bir zamanda (dakika mertebesinde) +3 değerliğe yükseltgenir. Fakat, gündüz, bulut içerisinde Fe+2/Fe+3 oranı belirli bir düzeye çıkar ve eğer yağış olursa yerküreye iner. Henüz tam anlamıyla bilemediğimiz; ancak çalışmalarımızın devam ettiği konu da, bu kararlı olmayan, kullanıma hazır demirin canlı organizmaya nasıl aktarıldığı? Bu işlemin mikroorganizmalar tarafından yapılabileceği varsayımından yola çıkarak bu konu üzerinde de çalışmalar yapıyoruz."

1996 yazında bir grup araştırmacı, yaptıkları çalışmada Ekvatorial Pasifik Okyanusu'nda bir bölgeye demir döktüler. Böylece de havadan CO₂ alan bitkisel planktonlarda büyük bir patlamanın tetikleyicisi oldular.

IronEx 2 diye bilinen bu deneyde her biri 60 km²'lik üç farklı okyanus bölgesine demir ekildi ve demirin içeride kalması sağlandı.

Deneyin yürütücüsü olan Johnson'a göre, neredeyse 1 hafta içinde okyanus "çölden yağmur ormanına" dönüştü. Yani açık mavi renk koyu yeşile dönüştü.

Bu olay, demirin okyanusun CO₂'yi almasını sağlayarak iklimin düzenlenmesinde rolü olduğu fikrinin kuşku götürmeyecek bir yolla sinanması oldu.

Dünya okyanuslarının 1/5'i adeta bir "deniz çölü". Buralar açıkça demir açlığı çekiyorlar. IronEx araştırmacıları Pasifik'teki bu "kuraklığı" deneysel olarak gidermenin kısa vadeli olduğunu düşünüyorlar.

IronEx yürütücülerinden bir diğeri olan, Andrew Watson'a göre, demirin yüzyıl boyunca Güney Okyanusu'na sürekli eklenmesi teorik olarak küresel atmosferdeki CO₂ miktarını milyonda altmış oranında azaltacak. Bu da şimdiki düzeylerin (360 ppm) %17 oranında azalması anlamına geliyor.

İnsanların etkinlikleri sonucunda atmosfere yayılan CO₂'nin yarısı, ormanlar ve planktonlar başta olmak üzere, canlı organizmalar tarafından emiliyor. Planktonların emdiği karbonun çoğu, eninde sonunda okyanus tabanına gömülüyor. Bu da, planktonların biyolojik karbon pompası olduğu anlamına geliyor.

Araştırmanın yöneticisi konumunda olan Kenneth Coale, Nature'de yayınladığı makalesinde, son buzul döneminde okyanuslara ulaşan demirin, atmosferdeki CO₂ düzeylerinin düşük kalmasına neden olarak, gezegenin soğuk kalmasından sorumlu olduğunu söylüyor. Coale da, bu demirin karadan kalkan toz fırtınalarından geldiğine inanıyor ve "IronEx deneyi küçük boyutlu da olsa bu teorinin bir uygulamasıdır" diyor.

Bu teoriyi doğrulayan kanıtlardan birisi, Antarktika'da buzul döneminde toplanmış olan demirce zengin tozun, yüksek konsantrasyonlarda bulunmasının keşfedilmesi. Ayrıca, Güney Okyanusu'nun tabanında büyük bir karbon torusu bulunması da ikinci bir kanıt oluyor.

IronEx deneyi ile yaratılan bitkisel plankton patlamaları, atmosferi daha doğrudan soğutmuş. Bitkisel planktonlar DMS yayıyor ve DMS'den oluşan sülfat partikülleri dünya yüzeyini güneşin radyasyonundan kalkan gibi koruyarak bulut oluşumunu da teşvik ediyor.

Cemal Saydam IronEx araştırmacılarından ayrı düşünmediğini; ama onlar-

dan ayrılan tarafları olduğunu söylüyor. Prof. Saydam bu farklılığı şöyle açıklıyor: "Onlar zannediyorlar ki, ektikleri demir tozdan geliyor, ya da tozla ilintili. Halbuki o tozun değişik fraksiyonu önemli olan. Sahra'nın tozunu alıp Pasifik Okyanusu'nun ortasına yaysanız hiçbir şey olmaz, bir de oradaki fosfatı çözünmez hale getirirsiniz. Tozu ekeceğiniz yer okyanus ya da deniz değil, tozu ekeceğiniz yer bulut, bütün fark bu. Diğer araştırmacılar, demir sülfatı yani demir +2'yi denize ekiyorlar. Halbuki, biz doğanın bu işi, +3 haldeki demiri bulutun içine eklemekle yaptığını söylüyoruz. Demir +3 halden demir +2'ye güneş ışığı yardımıyla dönüşüyor. Sonra yağışla yeryüzüne iniyor. İşte yapılması gereken şey bu. Demiri bulut içine ekeceksin, orada demir +2 haline dönüşmesini sağlayacaksın. Bu iş gerçekleştikten sonra bulutu tohumlayıp yağış olarak yerküreye indirme tecrübesine zaten sahibiz. Çalışmalarımızda tozun sülfatla daha çok ne zaman kaplanacağını da gösterebiliyoruz. Örneğin, Anadolu'ya yağış bekliyorsanız, ya da yağışın artmasını istiyorsanız tozu Akdenizin açığına ekmeniz gerekiyor. Çünkü, orada Ehux'u patlatabilelim ki, ikinci bir toz kütlesi çıkan sülfatla, MSA ile kaplansın ve Anadolu'nun üstüne gelip, atmosfere de, daha soğuk kütleyi gördüğünde, yağış bıraksın."

Bütün bu bilgilerden yola çıkarak özetle şunu söyleyebiliriz ki, Kokkolitoforlar denizdeki besin zincirinde temel öge; hemen her yerde bulunmalarından dolayı biyostratigrafik işaretleyici ve temel tortul üreticisi olmanın yanında, küresel iklimi ve biyojeokimyasal döngüleri etkileyen önemli bir unsur. Kokkolitoforlar, keşfedilmelerinden bu yana giderek daha da önem taşıyan bir noktaya geliyorlar. Bunlar, deniz yaşamının, çevre, tarih ve dünya koşullarının anlaşılmasında özel bir anlam taşıyan bitkisel plankton grubu, yani Prof. Saydam'ın deyişiyle insanlara sunulan bir 'mutluluk haptı'.

Gülgun Akbaba

Konu Danışmanı: Cemal Saydam
Prof. Dr., ODTÜ Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü

Kaynaklar
<http://www.soc.soton.ac.uk>
<http://www.ucmp.berkeley.edu/Palaeont/PalAss/bookreviews30.htm>
Pearce, F. "Ekstra iron makes blue deserts bloom", New Scientist, 12 Ocak 1996.
Saydam, C. "Can we predict harmful algae blooms?", Harmful Algae News, No.15, 1996.