

BULUTLARIN EREĞİ

YENİ BİR İKLİM MODELİ ÖNERİSİ

C e m a l S a y d a m *

Bilinen en iyi bulut oluşturma çekirdeği sülfat parçacığdır. Bunun yanı sıra, tozun da bulut için yoğunlaştırma çekirdeği olduğunu bilmekteyiz. Bir başka deyişle bulut, kendi varlığını sürdürmek için sülfat parçacığını veya tozu bulmak durumunda. Peki bulut bunları nasıl sağlıyor? Tozun kaynağını biliyoruz; toprak, çöl bunun en güzel kaynakları. Ancak, önemli olan sülfat kaynağıysa, bizim de öncelikle sülfat üreten kaynakları saptamamız gerekiyor.

Bilinen en iyi sülfat kaynağı denizlerdir. İyi de, kaynakla bulut arasındaki mesafe bu kaynağın kullanılmasını engellemekte. Peki şimdi hepinizin ak-

lına gelen çözüme bir bakalım: Hortum, deniz yüzeyinde duran suyun atmosferik bir olayla ve muazzam enerjiler harcanarak emilmesi, bulut seviyesine çıkışı ve tekrar yerçekimine boyun eğip geri dönüşü. Bulut, jeolojik zamanlardan beri devam edegelen bir olgu olmalı. Yani geçmişte de bugünkü gibi hortumlar vardı; ama geçmişte olmayan bizlerdik, yerleşim yerlerimizdi. Hortumların denizlerden karaya ulaşması ya da kara üzerinde oluşması ve o korkunç enerji karşısında yenik düşmemiz, hortumlara kötü bakmamıza neden olmakta. Oysa hortumu, daha bizim yeryüzünde olmadığımız zamanlardan beri, canlı barındıran bildi-

ğimiz tek gezegeni yaşanabilir kılan suyun döngüsünde temel bir rol oynayan kudretli bir deve benzetebiliriz. O milyarlarca yıldır yerçekimine karşı koyup, denizlerden deniz suyunu ya da karalardan tozu atmosfere çıkarmaktaydı. Denizde oluşan bir hortuma hiç tanık oldunuz mu? Denizden göğe yükselen koyu kalın çizgi ve bulut içerisinde oluşan o korku verici koyu lacivert renk... İnsanda, adeta canlıymışçasına kendisi için gerekli olan gıdayı (sülfatı) sülfatı bulan ve neslinin devamını sağlayan sistemin belirli bir zaman sonra rahatlaması gibi bir duygu oluşturuyor. Ancak işler her zaman beklenen şekilde olmuyor. Denizden



karaya ulaşabilen ya da kara üzerinde oluşan hortum, yerkabuğu üzerinde hareket ederken karşısına çıkan yerleşim merkezlerini yerle bir edince olanca hiddetimizi çekiyor. Ama dedik ya, geçmişte de o vardı; olmayan bizlerdik.

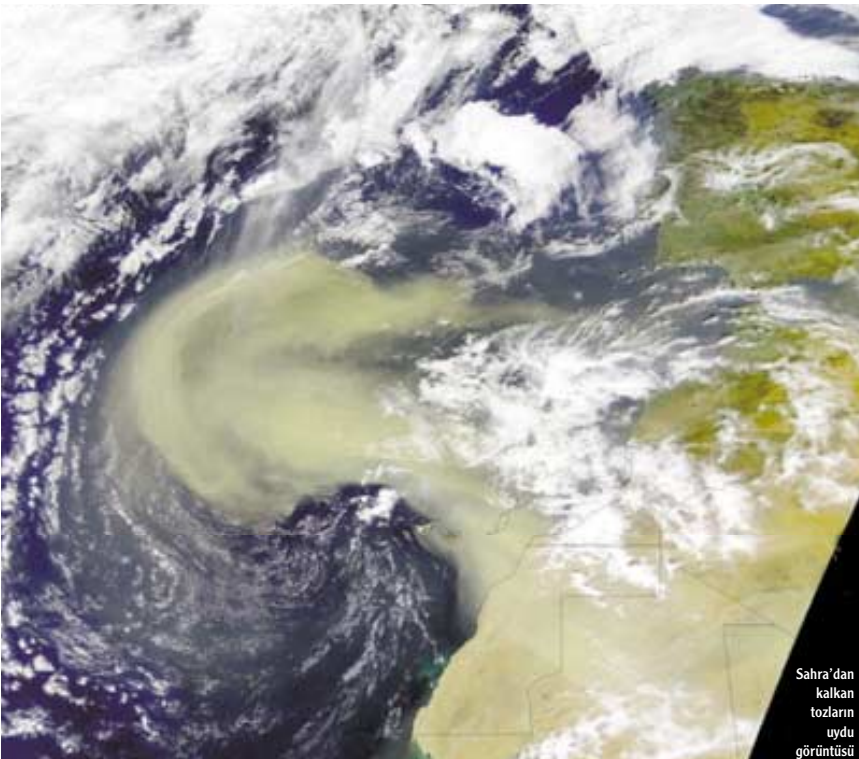
Şimdi diyebilirsiniz: "Anladık, bulutun sülfata gereksinimi vardı; işte hortumla onu da denizden çekti. Peki, hortumun karada ne işi var?" Basit. Burada, kaynağa ulaşmanın ikinci etabı için içerisine girmekte: Tozlar. Hemen akla gelen, "demek ki, tozların içerisinde de sülfat var" biçiminde bir çıkarım. Ancak, yanıt tam anlamıyla bu değil. Top-

rakta da belirli miktarlarda sülfat var; ancak çöl ortamı daha da farklı. Yapılan analizler, özellikle Sahra çölü tozlarının bulut içerisinde Güneş enerjisiyle temas ettiğinde ortama daha fazla sülfat çıkardığını gösteriyor.

Örneğin, Arabistan çölünün bu özelliği Sahra'ya göre çok düşük. Anadolu'nun çeşitli toprak örnekleri ise tam anlamıyla fakir. Anadolu toprak çeşitleri içerisinde en zengin kaynak, Harran örneğinde bulundu. Ama çöl kökenli tozların çok daha başka bir özelliği daha var ki, gelin ona biraz daha ayrıntılı bakalım.



Denizler, sülfatın birincil kaynağı; doğrudan kullanılabilir bir kaynak. Peki tozlarla sülfatın ilişkisi nasıl oluyor? Burada da yine iki olasılıktan söz etmek mümkün. Birincisi, toprak içerisinde bulunan mantarlar ve mineraller. Bunların atmosfere taşınması ille de hortumları gerektirmiyor. Örneğin, rüzgarlar da yerkabuğundaki mantar ve tozların atmosfere taşınımını rahatlıkla sağlayabiliyor. Kaynak bölgeleri de çöller. Sahra, Gobi, Patagonya, Namibya ve Avustralya, belli başlı kaynaklar. Bulut oluşturmak için gerekli en önemli ögenin sülfat olduğunu söylemiştik. Peki toz ve mantarların bulut oluşumuyla ilgisi ne? Bunlara neden gerek duyuluyor? Toz parçacıkları da bulut içerisinde yoğunlaşma çekirdeği olarak görev yaparlar. Güney kutbunda bile, atmosferde toz bulunur ve bulut oluşumunda önemli rol oynar. Tamam, tozu anladık da, acaba mantarlar acaba ne işe yaramakta? Mantarlar, varlıklarını toprakta kuru halde binlerce sene dahi koruyabilme özelliğine sahip olan ve aktif hale geçmek için yalnızca ve yalnızca bir damla suya ihtiyaç duyan varlıklar. Hani şu kendisine yaşam hakkı tanıdıklarımızdan. Yerden rüzgarlarca, tozlarla birlikte atmosfere taşınan bu varlıklar, atmosferde bulut içindeki suyla temas edince, onbeş dakika gibi kısa bir sürede aktif hale geliyorlar. Aktif hale geçen mantarlar, hücresel etkinlikler sonunda ortama okzalit çıkardığını. Okzalit, hexagonal (üç boyutlu altıgen prizma) yapıda bir kristal. Neyle birleştiğine göre asit (oksalik asit) ya da tuz olabi-





liyor. Mantarların bu özelliği, bazı organik asitlerin ticari ölçeklerde elde edilmesi için kullanılmakta. "Peki neden okzalit?" sorusunu neredeyse hiç sorgulamamışız. "Öyledir de ondan" deyip geçiştirmişiz; çünkü verilecek cevabımız da yok – ya da yoktu. Bana sorsanız ana amaç, topraktan beraberce havalanan ve ortamda bulunan minerallere yapışmak. Asidik özelliği nedeniyle minerale yapışan okzalit, mineralin yapısında bulunan demirin peşinde. Peki bunu neden yapmakta? Genlerimiz, tabiattaki demiri yalnızca ve yalnızca Fe(II) oksidasyon halinde kullanmak için programlanmış. Doğadaki demirse, tümüyle Fe(III) oksidasyon halinde. Bu indirgenme olayını normal şartlarda bakteriler birtakım enzimler aracılığıyla yapmakta. Ancak bu işlem, enerji gerekesinimi nedeniyle yavaş , ama sürekli bir biçimde ger-

çekleşmekte. İşte mantarlar, bulut içerisinde toza yapışıp demirokzalit yapıyorlar ve eğer yeterli seviyedeyseler, güneş enerjisi kullanarak demiri (II) oksidasyon haline indiriyorlar. Şöyle bir düşünün ve yazın sıcak altında gezinirken bir bulutun gölgesine girince nasıl serinlediğinizi anımsayın. İşte Güneş'in o muazzam enerjisinin büyük bir kesimini uzaya geri yansıtan bulut, enerjinin belirli bir kesimini de optik yolu birkaç kilometreye varabilen bir reaksiyon kabında kendisi için kullanmakta.

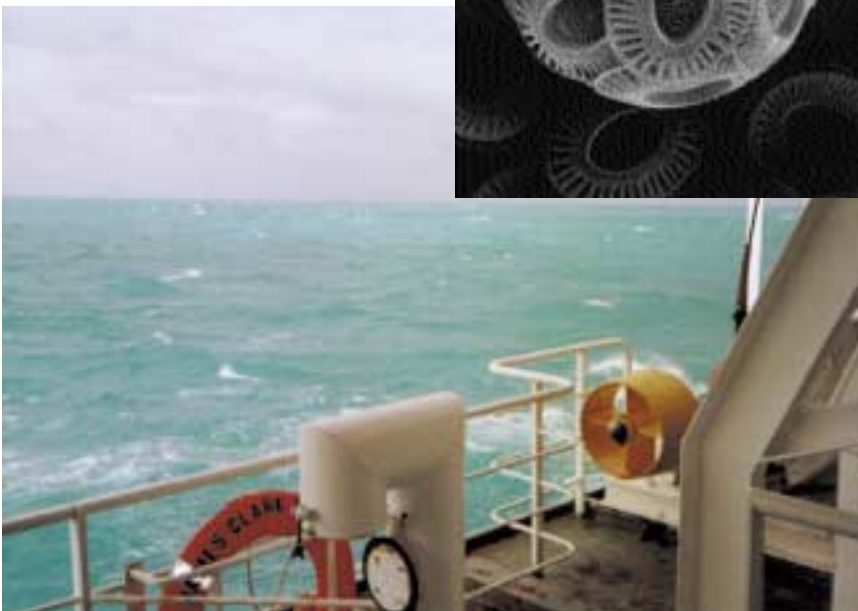
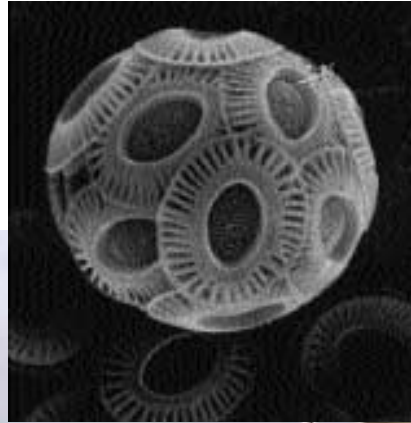
Daha sülfat ile bir ilgi kuramadık. Öyle ya, canlı bir organizmaya benzettiğimiz bulut, kendisini devam ettirmek için sülfat ararken, mantarla, tozla ne yapıyor? Boşa mı tüm bu uğraşı? Hayır, hedefe adım adım yaklaşan bir dizi inanılmaz olayın sadece başlangıcı. Çöllerden tozu ve mantarı kaldıran atmosfere-

rik olaylar, bu karışımları her iki yarıkürede de kuzeye ve güneye taşımakta, yani nemli ortama doğru çekmekte. Ancak, bunu yaparken yani tozla suyu buluşturmak isterken yeterli güneş enerjisinden de yararlanması gerekiyor, bu da yerkürenin mevsimler süresince Güneş'e olan eğiminin değişmesiyle sağlanıyor. Yine buluta dönelim: Toza yapışıp demir okzalit yapan mantar, yeterli güneş enerjisini bulunca tozun içerisinden demiri indirgemekte ve kullanılabilir demir halinde ortama çıkarmakta. Ancak, bu olgu sadece çöllerdeki demir minerallerinden lepidokrosite has bir olgu. Mantar, kristal yapısı lepidokrosite göre daha güçlü olan geotite veya hematite yapıştırdıysa, aynı olay gerçekleşmiyor. İşte doğanın bilinçli seçiciliği, amaçlar doğrultusunda yapılan bir dizi reaksiyonlar. .

Peki halen sülfata ulaşamadık. Bulut içerisinde Fe(II) ile zenginleşen ortamın, şimdi de yerküreye ve özellikle denizlere yağmur halinde inmesi gerekiyor. Gündüz inen bu yağmur deniz yüzeyinde *Emiliania huxleyi* olarak adlandırılan bir algin oluşumuna neden olmaktadır. Toz, mantar, bulut, güneş enerjisi, yağmur, deniz ve alg patlaması... Nereden, nereye? Ama dedik ya, amaç sülfat üretmek. Deniz ortamındaki besin tuzlarıyla ilgisiz gelişen bu alglerin en büyük özellikleri, toplam onbeşgünlük hayat süreleri içinde, birinci haftadan başlayarak hücre etkinlikleri sonucunda ortama aşırı miktarda Dimetil Sülfono Propiyonik Asit (DMSP) salgılamaları. Hani bazen denizin renginin birden bire o masmavi renkten, turkuaz yeşiline döndüğü günler vardır ya; işte o günler, denizlerde bu alglerin çoğaldığı günlerdir. Eğer hava güneşliyse, zaten o gün denize bakamazsınız, korkunç bir yansıma vardır. O günlerde deniz bir değişik kokar. Hafif kükürtlü, değişik bir kokudur bu, bilmeyen anlam da veremez bu değişikliğe. Yine kabullenir gideriz; doğanın akışı der kurtuluruz.

Neyse bunca faaliyetten sonra hiç olmazsa bulutun devamını sağlayacak olan sülfatın sülfürünün (kükürtünün) S'sini görebildik. Dış kabukları kalsiyum karbonattan oluşan bu algler, yaşam sürelerinin sonlarına doğru ortama olağanüstü miktarlarda DMSP salgırlar ve en sonunda oluştukları denizin derinliklere doğru batarlar. İşte

Emiliania huxleyi patlamaları döneminde masmavi deniz bir anda turkuaz yeşiline döner. Çünkü denizde alg patlaması olmuştur. Bu alglerin çoğalmasının nedeni o bölgeye bir hafta önce, gündüz vakti düşen çöl kökenli yağışlar. *Emiliania huxleyi*'nin SEM ile çekilmiş resmi. Bu alg 0.2pg ağırlığında 10 mikron büyüklüğünde kendisi küçük ancak marifetleri büyük bir canlı.



bu DMSP deniz ortamında önce DMS haline dönüşmekte, daha sonra atmosfere çıkmakta, atmosferde de rüzgarlarla taşınma girmekte. Ama ne demiştik? Çöllerden kalkan tozlar her iki yarım kürede kaynaktan öteye kutuplara doğru taşınmıştı ve bu bölgelerde yağmurla denizlere inmişti. Şimdi ortaya çıkan bu hayati kimyasal maddenin de MSA ara oksitlenme basamağından sonra, o kıymetli sonlanma maddesine, sülfata dönmesi gerekli. Bunun için de enerji gerekiyor. İşte burada yine güneş enerjisi ve rüzgar devreye giriyor.

Şimdi bir bulut yapısına bakalım: Atmosferin çeşitli katmanlarında, farklı özellikleri olan pekçok bulut çeşidi bulunur. Benim ilgimi çeken, özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde görünen ve atmosferde devasa pamuk yığınları halinde durduğunu sandığımız, ancak dikkatli bakınca sürekli şekil değiştirdiği izlenebilen kümülonimbüs bulutlarıdır. Bu devasa pamuk balyaları görünümündeki bulutlar, aslında hiç te pamuk gibi yumuşak ve masum değildir ve içlerinde dikey yönde, saatte 300-400 kilometrelik hızlara ulaşabilen esen rüzgarlar vardır. "Peki neden?" sorusunun cevabı, "Öyledir de ondan" olmuş ve neden bu bulutların içerisinde yerçekimine ters yönde rüzgarların varlığı hiç sorgulanmamış. Bu bulutların tehlikesini bilen hava taşıtları, kesinlikle bu bulutların içerisinden geçmezler; çünkü geçemezler. İyi ama, bu bulutlar neden her iki yarıkürede de yalnızca bahar ve yaz aylarında oluşur? Bence tüm bunlar, bahar ve yaz aylarında gerekli seviyelere ulaşan güneş enerji seviyesi ve tozların denize yağmurla gündüz vakti inmesi sonucunda oluşan alg patlamaları ve ortama çıkan DMS'in MSA ve nihayet sülfatla sonlanabilmesi ile ilişkili. Bulut için hayati olan bu kimyasal deniz yüzeyinden rüzgarlar aracılığı ile kapan bulutun, bunu üst atmosfere yaklaştırması ve güneş enerjisinin daha yoğun olduğu bölgeye taşınması gerekli.

Diyelim ki, bir seferde bunu yapamadı; ya da sülfatla sonlanmayı becerdi. Dikey olarak üst atmosfere 400 km/saatte giden rüzgarın, bu parçacığı yitirmemesi gerekli. Parçacık yeterli soğukluğa ulaşınca da onu aşağıya çekmek gerekiyor. İşte dikey yöndeki rüzgarlar bu işlevi yerine getiriyor. Belki de sülfat parçacığı, dikey rüzgar-



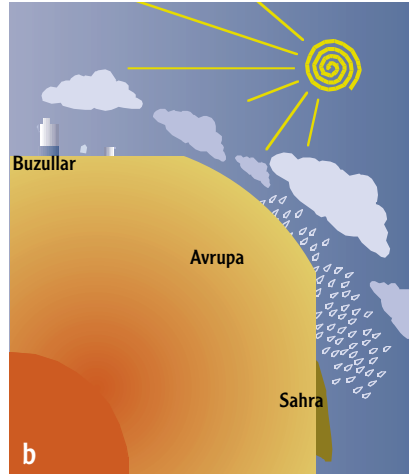
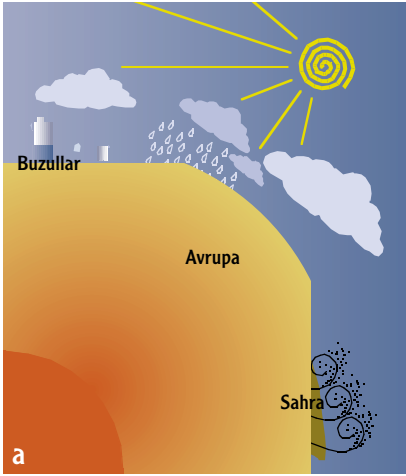
larla atmosferden daha da üst tabakalara fırlatılıyor ve üst atmosferde olduğunu bildiğimiz jet akımlar aracılığıyla öteki bölgelere taşınıyor. İşte yeni bir araştırma alanı: Üst atmosferdeki jet akımların içerisindeki sülfat konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı. Benim beklentilerim bu düzeylerde de sülfat yoğunluğunun yaz mevsiminde artması. Şu ana kadar yapılan araştırmalar, özellikle Atlantik üzerinde ABD ve Kanada'dan Avrupa'ya doğru esen bu rüzgarların, gelişmiş ülkelerdeki kirlilikten kaynaklanan sülfatları Avrupa taşınması gibi bir ön yargıya bağlı.

Toz mantar diye yola çıktık, en az bir hafta sonra sülfata kavuştuk ve etrafa dağıttık. Peki sülfatın kaynağı sadece bu karmaşık mekanizma mı? Hayır; volkanik etkinlik de ortama kükürt dioksit çıkarıyor. Bunun da oksitlenmesi, ortama sülfat parçacığının çıkmasına neden olabiliyor. Şimdi hemen hepimizin aklına, geçmişte Ankara da yaşanan hava kirliliği ve buna bağlı SO₂ dumanları geliyor. Demek ki bilmeden SO₂ ve dolayısı ile bulut oluşumuna yardım etmişiz.

Bilmem hiç gittiniz mi? Hawaii adasındaki volkanlardan halen yoğun bir şekilde SO₂ çıkmakta ve bu dev kraterleri gezmek, cam gibi keskin, donmuş lavların üzerinde dolaşmak, insana değişik hisler tattırmakta. Ben de aynı işleri yaptım; ama bulutlara bir başka gözle baktım. Adaya doğru ge-

len bulutlar şekilsiz bulutlardı; ancak volkanik araziden geçen bulutların, biraz ileride beyaz pamuk pamuk bulutlar oluşturduğunu izledim, fotoğraflar çektim. Herkes lavların, kraterlerin fotoğrafını çekerken, havadaki bulutların resmini çeken bir kişi olarak tabii ki "Ne yapıyorsun?" sorularıyla karşılaştım. O zaman anlatamayacağımı bildiğim için ayrıntıya girmedim; ama yanımdaki bir bilim adamına biraz bahsettim, anlamadı!

Bulutların yeni açıklamalara muhtaç dinamiklerinden biri de geçmişte yaşandığını bildiğimiz iklim değişiklikleriyle ilgili. Bulutların güneş ışığını yansıtma özellikleri nedeniyle iklimler üzerindeki etkilerini biliyoruz. Daha çok bulut, daha fazla güneş ışığının yansıtılması ve yerküreye ulaşabilen güneş enerjisinin azalması, sonuçta da yerkürenin soğuması anlamına gelmekte. Geçmişte olduğunu bildiğimiz iklim değişiklikleri hakkında en sağlıklı bilgileri güney ve kuzey kutup bölgelerinden alınan buz karotlarından (buza sokulan silindirik biçimli sondaların içine dolan katmanlar) ediniyoruz. Günümüzde bile, yerküreye inen kar, geçtiği atmosferdeki maddeleri içerisinde tutabilmekte ve kutup bölgelerinde hava çok soğuk olduğundan bu izleri uzun süre koruyabilmekte. Örneğin, Grönland adasından ve Antarktika'dan alınan buzul örnekleri, bize geçmişte yaşanmış buzul çağları sürecindeki at-



Çöl tozu-iklim döngüsü: Sahra'dan kalkan tozlar, Güneş enerjisini uzaya yansıttığı için buzullar ilerliyor ve önlerinde yağmur bulutlarını sürüklüyor (a). Peki buzullar niçin tüm dünyayı kaplamıyor? Nedenii, buzulların ilerleyişi sonucu yağmur bulutlarının sahrayı da etkilemesi. Islanan çölden toz kalkmıyor. Dolayısıyla daha fazla güneş ışığı yer yüzüne erişiyor ve buzullar gerilemeye başlıyorlar (b).

mosfer hakkında bilgiler taşıyor. Yapılan analizler, her iki kutupta da buzul dönemindeki atmosferin şimdikinden kat be kat daha fazla tozlu olduğunu, yine buzul dönemlerinde havada çok daha fazla sülfat ve aynı anda çok miktarda da MSA olduğunu kanıtlıyor. Buzullar içerisinde sadece sülfat bulsaydık, kaynağın yalnızca volkanik etkinlik sonucunda atmosfere yayılan sülfür dioksit gazı olduğu iddiasını ortaya atanlar karşısında söyleyecek bir şeyimiz olamazdı. Ama örneklerde MSA'nın da bulunması, kaynağın yalnızca volkanik olamayacağını gösteriyor. Biraz evvel sözünü ettiğimiz, denizlere gündüz vakti inen çöl kökenli tozların tetiklediği alg patlaması sonucu oluşan DMSP'nin oksitlenmesi sonucu oluşan MSA'nın varlığı, kaynağın denizlerdeki algler olduğunu göstermekte. Şimdi çoğunuzun neredeyse iklim değişikliği ve çöl kökenli tozlarla ilişkisi kurabildiğini sezinliyorum.

Ne demiştik? Bulut, denizdeki ana kaynağın yanı sıra, ikincil kaynak olarak tozları kullanıyor. En yaygın toz kaynağı da çöller. Buzul dönemlerinde de atmosferde tozun çok daha fazla olduğunu buzul örneklerinden anlamıştık. İyi de bu olgu biraz ters gelmiyor mu size? Buzul çağı, bana soğuk, karlı dondurucu bir ortamı anımsatıyor. Toz içinse, tam tersi kurak bir ortam gerekli ki, topraktan daha fazla toz kalksın etrafa yayılsın. Peki bu iki olgu, nasıl oluyor da buzul örneklerinde aynı anda olabiliyor, bir şeyler ters gitmiş olmasın sakın?

İşte işin sırrı da burada: Ekvatora yakın yerlerin sıcak, kutupların soğuk olduğu bir yerküre... Yaşamaya başladığımız ortamın tarifi sanki. Biraz daha kurcalasak mı dersiniz? Toz, mantar, bulut, demir, güneş enerjisi, yağmur, denizlerde alg patlaması, bu alglerin ortama DMSP yaymaları, bunların DMS-MSA ara basamakları sonrası sülfata dönmesi, sülfatın daha fazla bulut oluşumuna neden olması, güneş enerjisini uzaya yansıtması ve yerkürenin soğuması. Peki tüm bu süreçte bulutlar neden aktif bir rol oynamış olmasın?

Şimdi aklınıza "peki yıldırım olayına ne diyeceksiniz?" şeklinde bir soru geldiğini düşünüyorum. Bu olay, yani yerden göğe doğru bir enerjinin ani boşalması da bulutun içerisinde demirokzalat halinde bekleyen bileşimin ya da MSA'nın oksitlenmesi için gerekli ışık kaynağını sağlıyor olamaz mı? Hiç dikkat ettiniz mi bilmem ama şimşek fırtınaları hep tozlu havalarda ve genellikle geceleri, özellikle de yazın oluşmakta.

Diyelim ki iklim değişikliğinde bulutlar temel bir rol oynuyor. Bu dinamik içinde buzul çağı ve ısınma dönemlerini nasıl açıklayacağız? Daha çok toz, daha çok alg, daha çok MSA ve sülfat yaptık. güneş enerjisini daha fazla uzaya yansıttık ve yerkürenin soğumasını sağlayarak buzulların ilerlemesini gerçekleştirdik ve örneklerini geçmişte de bildiğimiz buzul çağını yarattık. Yerkürenin tamamının buzullarla kaplanmadığını biliyoruz. Peki bu-

zulları durduran olay ne ola ki? Yine bulutlarla mı ilgili? Eğer öyleyse, çoğaldılar işte; daha ne isteyecekler. İşte kontrol mekanizması burada da kendini gösteriyor. İlerleyen buzullar, her iki yarıkürede otomatik olarak yağmur kuşaklarının da ekvatora doğru adım adım yaklaşmasını sağlayacaktır. Buzullar ilerledikçe yağmur kuşağı adım adım daha güneye kayacak ve örneğin içinde bulunduğumuz yarıkürenin en önemli kaynağı olan Sahra üzerine doğru yaklaşacak. Sahra üzerine yağışın gelmesi, sülfatın ana kaynaklarından biri olan toprağın ıslanması, nemlenmesi ve yerden kalkmasını engelleyecektir. Geçmişteki kalıntılar, bize bu varsayımı destekleyici bilgiler sunmakta ve buzul çağıının en ileri safhalarında, özellikle şimdiki zamanda Libya, Tunus, Cezayir gibi ülkelerin konuşlandığı kuzey Sahra'nın göller akarsular ve ormanlarla kaplı olduğunu göstermekte. İşte o dönemlerde göllerin nehirlerin yataklarında biriken organik maddeler, mantarlar gelecek buzul çağıının yeni temelleri olmakta ve buzulların ilerlemesinin durmasıyla yerküreye daha fazla ulaşan Güneş ışığının yaratacağı ısınma karşısında yeni korunma mekanizmasının temelleri atılmakta.

Belki anlaşılması, kabullenilmesi zor bir yaklaşım tarzı. Ama neden olmasın? Her etabının arkasında bilimsel verilerin, deneylerin, sonuçların olduğu bir yaklaşım. Sonunda da biraz spekülasyon. İklim değişikliği kuramlarının ispatı yaşam süremiz içerisinde kesinlikle mümkün değil. O zaman neden bizim de bir iklim teorimiz olmasın ve bu teoride neden bulutların başat bir yeri bulunmasın? Neden gök gürültüsü atmosferde oynayan bulut kümelerinin kahkahaları olmasın? Bırakalım düşüncelerimiz kendi sınırlarını aşsın. Ama tabii ki, çok da hayalci olmadan; ileri giden düşüncelerle, biraz daha geriden gelen bilimsel gerçekler arasında aşılması mümkün olmayan uçurumlar yaratmadan.

Bilmem şimdiden sonra bulutlara biraz daha farklı bakabilecek misiniz? Deneyin; belki tüm hırçınlıklarına, acımasız güçlerini zaman zaman üstümüze salmalarına karşın, belki sevgi dünyamıza onları da kabul edebiliriz...

*Prof. Dr., ODTÜ Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü
TÜBİTAK Başkan Yardımcısı