

KÜRESEL ISINMANIN SIRRI, KUTUP BUZULLARINDA GİZLİ BUZ ÖRTÜLERİNİN GELECEĞİ

Grönland ve Antarktika'yı kaplayan buz örtüleri, küresel iklim sisteminin kilit ögelerinden. Son yirmi yılın belki en önemli bulgularından biri, bu buz örtülerinin, çok hızlı bir biçimde büyük değişimler geçirebileceğinin anlaşılması oldu. Kutup bölgelerindeki araştırmalar, iklim değişikliği hakkında birçok bilinmeyi ortaya çıkarıyor. Araştırmalar, hem Antarktika'da, hem de Grönland'da buz örtüsünün yer yer erime eğiliminde olduğunu gösteriyor. Ancak, bu durumun, iklimin normal döngüsünün bir parçası mı olduğu, yoksa insan etkinliklerinin bir sonucu mu olduğu şimdilik açık değil. Buz örtülerindeki, ya da buzun altındaki göllerdeki suyun serbest kalması, deniz seviyelerini ve okyanusların dolaşımını, buna bağlı olarak da küresel iklimi etkileyebilir. Erimiş buzlardan kaynaklanan soğuk ve tatlı su, sıcaklığın yerküreye yayılmasını sağlayan okyanus akıntılarında değişimler yaratabilir.

Geçmiş milyonlarca yıl boyunca, deniz seviyelerindeki büyük değişimler, buz örtülerindeki değişimlere bağlı olarak gerçekleşmiş. İşte bu nedenle, kutup bölgelerindeki buz örtülerinin geçmişi, şimdiki durumu ve kütle dengesi, yani buz örtülerinin kütlelerinin değişip değişmediği konusundaki araştırmalar büyük önem taşıyor. Kutuplardaki buz örtülerinin kütle dengesini ölçmek, hem buz örtülerinin çok büyük oluşu, hem de çevre koşullarının olumsuzluğu nedeniyle çok güç bir iş. Öte yandan, kütle dengesindeki değişimler, binlerce yılda oluşur; çünkü, buz örtüsünün kütlelerini etkileyen kar yağı, sıcaklık ya da deniz seviyesindeki değişimler, ancak bu sürelerde kendini gösterir.

Buz örtülerinin küçülmesinin en önemli etkilerinden biri, deniz seviyelerinin yükselmesi. Bilimadamları, son 100 yılda, denizlerin seviyesinin yaklaşık 10-25 cm yükseldiğini belirlemişler. Bu miktarın en azından yarısının, okyanusların termik genişlemesine, yeraltı sularının tüketilmesine ve dağlardaki küçük buzulların erimesine bağlı olduğu biliniyor. Öteki yarıninsa, Antarktika ve Grönland'daki buz örtülerinin küçülmesiyle ilişkili olduğundan kuşulanılıyor. Her iki buz örtüsünün kü-

tle dengesi de, yalnızca iklim özellikleri ve buzul hareketlerindeki yakın zamanlı değişimlere değil, geçmiş iklimlere, buzul hareketlerinin tarihçesine de dayanıyor. Buzul araştırmacılarının üzerinde çalıştığı konulardan biri de, uzun dönemde oluşmuş özelliklerle, yakın zamanlı değişimlere dayanan özellikleri birbirinden ayırmak.

Son yirmi yılda, özellikle buzul örneklerinin incelenmesinde kullanılan yöntemlerin iyileştirilmesi ve uzaktan algılama yöntemlerinin yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmasıyla, Grönland ve Antarktika'daki buz örtülerinin özelliklerinin belirlenmesi konusunda çok yol alınmış. Yine de, Antarktika'nın doğusundaki buz örtüsünün kütle dengesini belirlemek için çok daha fazla veriye gereksinim duyuluyor. Araştırmalar, Batı Antarktika'yı kaplayan buz örtüsünün batıda kalan bölümünün, incelmek bir yana kalınlaştığını, kuzey bölümününse hızla incelendiğini gösteriyor. Bir hesaplama göre, Antarktika'daki buz örtüsü, deniz seviyelerini her yıl 0,2 milimetre yükseltecek hızda kütle kaybediyor. Ancak, Antarktika'nın batısını kaplayan buz örtüsü, binlerce yıl önceki oluşumundan bu yana büyük değişimler geçirmiş. Bundan 20-30 yıl önce izlenme-

ye başladığından bu yana da değiştiği gözlenmiş. Gözlenen erimenin, uzun vadeli bir eğilim olup olmadığı bilinmiyor. Grönland'daki araştırmalara, buz kütlelerinin, kıyı bölgelerindeki hızlı incelmeye bağlı olarak her yıl deniz seviyelerini 0,13 milimetre yükseltmeye yetecek hızda kütle kaybettiğini gösteriyor.

Batı Antarktika

Araştırmacıların Batı Antarktika buz örtüsü üzerinde odaklanmasının bir nedeni, bu örtünün geçmişte, buzul dönemleri arasındaki sıcak dönemlerde ortadan kalktığına bilinmesi. Antarktika'daki buzulların, son buzul çağının 15.000 yıl önce sona erimesinden beri, sürekli olarak eriyip incelendiği biliniyor. Yakın zamana kadarki araştırmalar, Antarktika'nın batısını kaplayan buz örtüsünün kesintisiz bir biçimde eridiğini ve her yıl 20 milyar ton kütle kaybettiğini gösteriyordu. Yeni bir araştırmaysa, Batı Antarktika'da bu sürecin tersine döndüğünü haber veriyor; en azından bu bölgede buzun erimesi beklenmiyor. Antarktika'nın batısında, Ross Denizi yakınında buz örtüsünün yavaş yavaş kalınlaştığının gösterildiği araştırma, bu yılın en çok yankı uyan-

dıran bilimsel çalışmalarından biri oldu. Öncekilerden farklı bir yöntem kullanılarak yapılan bu araştırmaya göre, bölgede buz örtüsünün kütlesi her yıl 27 milyar ton artıyor. Araştırmacılar bu büyümenin, buz örtüsü altındaki çamur ve kayaların durumuna tepki olarak ortaya çıktığını gösterdiler. Öte yandan, başka araştırmalar, yine Antarktika'nın batısında bulunan Pine Adası'ndaki buz akıntısının hızlandığını, yani buz örtüsünün küçülebileceğini gösteriyor.

Antarktika Yarımadası ve Buz Şelfleri

Antarktika kıtasında araştırmacıların ilgi odaklarından biri de, buzul akışlarıyla beslenen ve Antarktika kıyılarındaki kıtaya bağlı olarak yüzen kalın buz kütleleri olan buz şelfleri. Geçtiğimiz kış, Antarktika yarımadasındaki Larsen B buz şelfinden dev bir buz kütlesi koparak parçalandı. Bu, uyduların, buz şelflerini incelemeye başladığı son otuz yıldır kopan en büyük buz parçasıydı. 1950 yılından bu yana, 13.500 kilometrekare buz şelfi yarımadadan koparak ayrılmış. Araştırmacılar, buz şelfinin ayrılmasını, yörenin ikliminin ısınmasına bağlıyor. Buradaki sıcaklıklar artmaya devam ederse, önümüzdeki on yıl içinde, Larsen B'nin 3400 kilometrekarelik bölümünün daha kaybedileceği söyleniyor.. Son 50 yılda, yarımada hava sıcaklığı, küresel ortalama sıcaklık artışından beş kat daha hızlı artmış. Ancak araştırmacılar, bu durumun yarımada-daki buzların binlerce yıllık doğal erime-donma döngülerinin erime aşamasında olmasından kaynaklanabileceğini düşünüyorlar. Bugün olup bitenler, sera etkisiyle biraz hızlandırılmış da olsa, doğal döngünün bir parçası olabilir. Nedeni ne olursa olsun, ısınma eğilimi sürerse, yarımada çok geçmeden buz şelflerinin çoğunu kaybedebilir. Deniz seviyeleri açısından, yüzen buz şelflerinin erimesiyle yüzmesi arasında bir fark yok. Ancak, buz şelfleri giderse, kayalık kıyılardan ibaret kalacak yarımada'nın başına gelecekler, kıtanın geri kalan bölümleri de ısınırsa neler olabileceğini gösterecek.

Birçoklarına göre bu ısınma, üç mekanizmanın, atmosferin dolaşımındaki değişimler, okyanus dalgalarındaki de-

Buzullar

Buzullar, uzun süreler boyunca üst üste yağın karın birikmesiyle oluşmuş büyük ve kalın buz kütleleri. Günümüzde buzullar, yeryüzündeki karların % 10'unu kaplıyor. Bunların, son Buzul Çağı'nın kalıntıları olduğu söylenebilir. Son Buzul Çağı'nda yeryüzünün yaklaşık %60'ı dev buz örtüleriyle kaplıydı. Büyük bir kara parçasını kaplayan ve tüm yönlerden dışarı doğru akan buz kütlelerine "buz örtüsü" adı veriliyor. Dünyada iki buz örtüsü bulunuyor, bunlardan biri Grönland'da, ötekisi Antarktika'da.

Buzullar, çok yavaş değişim geçirseler de, küresel iklim değişikliğinin önemli işaretlerini de taşırlar. Dünyamızın, son 750.000 yılda, buzullararası dönemler olarak adlandırılan ara dönemlerle birbirinden ayrılmış sekiz buzul çağı geçirdiği biliniyor. Bugün Dünya, bir buzullararası dönemin sonuna yaklaşıyor. Bilimadamları, gezegenin normal iklim değişimi döngüsünün bir parçası olarak, bundan birkaç bin yıl sonra yeni bir buzul çağına başlayacağını tahmin ediyorlar.

Buzullar Neden Hareket Eder?

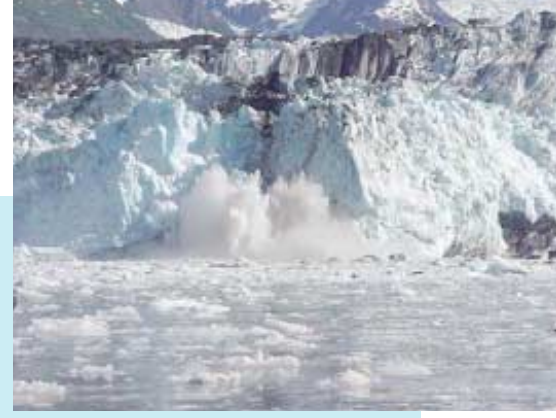
Sıkıştırılmış bir buz kütlesi belli bir kalınlığa ulaştığında öylesine ağırlaşır ki, biçimi bozulmaya ve hareket etmeye başlar. Buzun özellikleri ve yerçekiminin etkisi, buzulların çok yavaş bir biçimde akmasına neden olur. Sürtünme kuvvetine bağlı olarak, buzulun alt bölümünün hareketi, genellikle yüzeyinin hareketine göre daha yavaştır. Buzullar, vadilerden aşağıya akar, düzlüklerde yayılır ya da bazı bölgelerde denize "dökülür".

Buzullar, karın birikme hızına ve başka kuvvetlere bağlı olarak belli zamanlarda geri çekilir ya da genişlerler. Birçok buzul için geri çekilmek ya da genişlemek, uzun zaman dilimlerinde incelenebilen, çok yavaş gerçekleşen olaylardır. Ancak, kimi zaman buzulların çok hızlı bir biçimde çekildiği de görülür; buzulun hareketi, birkaç ay ya da birkaç yılda göze çarpabilir.

Buzul Nasıl Oluşur?

Buzul oluşumu, bir bölgeye yağın kar yıl boyunca erimeden kalmasıyla başlar. Her yıl, yeni kar tabakaları öncekileri örterek sıkıştırır. Bu sıkıştırma, karın yeniden kristalleşmesine neden olur. Hem boy, hem de biçimde toz şeker tanelerine benzeyen kristaller oluşur. Zamanla tanecikler büyür aralarındaki hava boşlukları küçülür, kar

gışimler ve insan etkinliklerine bağlı küresel ısınmanın ortak sonucu. Geçtiğimiz Mayıs ayında yayımlanan ve Antarktika'nın bazı bölgeleri ısınırken bazı bölgelerinin neden soğuduğunu açıklayan bir araştırma, sıcaklıklardaki farklılaşmayı "Antarktika Salınımı" olarak adlandırılan, normalde dolaşım halinde olan, ancak son zamanlarda belki de ozon tükenmesine bağlı olarak burada sabitlenen bir yüksek basınç hal-kasına bağlıyor. Bir başka olası etmen, yarımada'nın batı kıyısında, derinlerdeki sıcak havayı yüzeye çıkaran okyanus dolaşımlarındaki değişimler. Bu durum, kışın denizde oluşan buzların ya-



sıklaşıyor ve yoğunluğu artar. Buz kristalleri büyüdükçe sıklaşırlar, aralarında yalnızca çok küçük hava kabarcıkları kalır. Yaşlı buzullarda buz kristallerinin boyu beş cm'den daha büyük olabilir. Birçok buzulun bu duruma gelmesi yüzlerce yıl sürer.

Buzullar ve İklim Değişimi

Yaşları binlerce yıldan yüzbinlerce yıla kadar değişen buzullar, iklim araştırmaları açısından büyük önem taşır. Buzulları oluşturan buz tabakaları, geçmişteki iklim değişikliklerini gösteren kayıt defterleri gibidir. Bu kayıtlara ulaşmak için araştırmacılar, buzulun üzerinde kazı yaparak, bazen metrelerce uzunlukta olan buz örnekleri alırlar. Bu örneklerin içinde sıkışmış hava baloncuklarında, atmosferin geçmişteki özellikleri, sıcaklık değişimleri ve canlı türleri hakkında eşsiz bilgiler saklıdır. Bu bilgiler ışığında araştırmacılar, geçmiş iklim özelliklerini, iklimin nasıl ve neden değiştiğini ortaya çıkarabilirler. Bu bilgiler, gelecekteki iklim değişikliklerini önceden tahmin etme çalışmaları açısından da büyük önem taşır.

Dünya'nın atmosferi buzul dönemleri arasında ne kadar ısınmıştı? İnsan etkinlikleri iklimi nasıl etkiler? Buzullar, iklim değişimlerine eşlik eden sıcaklık değişimlerine karşı çok hassas oldukları için, buzulların gözlenmesi, bu soruların yanıtlarını bulmada yardım edebilir. 20. yüzyılın başından bu yana, tüm dünyada buzullar, görülmemiş bir hızda geri çekiliyor. Kimi bilimadamları, bu değişimi 1760'lı yıllarda başlayan Endüstri Devrimi'ne bağlıyorlar. Son 200 yıldır insan etkinlikleri, atmosfere yayılan karbondioksit ve öteki sera gazlarını büyük oranda artırdı. Elektrik üretiminin ve endüstrideki kömür ve petrol kullanımının, doğal çevreyi olumsuz biçimde etkilediğinin anlaşılmasına başlanması, görece yakın bir zamanda gerçekleşti. Topladıkları verileri birleştirmeye çalışan bilim adamları, insan etkinliklerinden kaynaklanan küresel ısınmanın, yeryüzündeki buzulların hassas dengesini sarsıp sarsmadığını ortaya çıkarmaya çalışıyorlar.

yılımını azaltıyor olabilir. Buzların azalması (Güneş'ten gelen ışıınımı geri yansıtan daha az buz olacağı için), okyanusun daha çok ışıınım soğurması ve ısınması anlamına gelir. Şu anda, bunu doğrulamaya yetecek uzun dönemli okyanus sıcaklığı kayıtları bulunmasa da, varolan veriler, Güney Okyanusu'nda orta derinlikteki suların 1950'lerden bu yana biraz ısındığını gösteriyor.

Küresel iklim modelleri, insan etkinliklerinden kaynaklanan küresel ısınmanın da, etkisini, Antarktika yarımadasında değil, batıda, yüzlerce kilometre uzaktaki Bellingshausen Denizi'nde göstereceğini ortaya koyuyor. Yine de,

küresel modellerin yarımada'nın "bıçak sırtında" olarak nitelendirilebilecek iklim özelliklerini tam olarak yansıtmayabileceğini göz önünde bulundurmaya gerekiyor. Küresel ısınma nedeniyle buz şelflerinin erimesi durumunda, okyanusların düzeyi yükselmeyecek. Ancak, yarımada'nın ısınması, buradan daha farklı bir iklimin hüküm sürdüğü anakara şelflerini etkileyebilir. Yani, Larsen B buz şelfinin parçalanması, kıtadaki öteki buz şelflerinin başına geleceklerin habercisi olabilir. Birçoklarının kabul edilen bir sera etkisi senaryosuna göre, deniz sıcaklıkları arttıkça, anakaradaki buz şelfleri de eriycek. Okyanus sularının buharlaşmasını önleyecek daha az buz bulunacağı için ve sıcak hava daha fazla nem tuttuğu için, daha fazla kar yağışı olacak ve sonraki 100 yılda Batı Antarktika Buz Örtüsü'nün kütlesi, azalmak yerine artacak. Ancak daha sonra, erimenin hızı kar toplanmasının hızını geçmeye başlayacak ve birkaç yüzyıl sonra buz örtüsü akıp gidecek. Antarktika yarımadasındaki buz şelfleri, araştırmacıların bu olaylar zincirinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini sınavacakları doğal bir laboratuvar.

Grönland

Grönland, 20. yüzyılın sonundaki iklim eğilimlerinin gerisinde kalmış ve



yüzyılı, başladığından biraz daha soğuk bitirmişti. Bugünse, bütün iklim modelleri, bu yüzyılda Grönland'ın ısınacağını gösteriyor. Grönland'ı kaplayan buz örtüsü, Antarktika'dan sonra dünyanın ikinci en büyük buz kütlesini oluşturuyor. Buz örtüsünün kalınlığı, kara parçasının bazı bölgelerinde üç kilometreyi buluyor. Geçtiğimiz yılın önemli bulgularından bir başkası da, bu buz tabakasının tehlike altında olduğuydu. Hesaplamalara göre, Grönland'ın kuzeybatısını kaplayan buz tabakası, son 40 yılda, her yıl 10-15 santimetre incelmış. Araştırmacılara göre bu eğilim, uzun vadede önemli oranda incelmeye işaret ediyor. Araştırmalar, kıtanın doğusunu kaplayan buz örtüsününse çok az değiştiğini gösteriyor. Kıtanın doğusuyla batısı arasındaki bu farklılığın nedeni henüz açık değil. Yüzlerce, hatta binlerce yıl önce gerçekleşmiş iklim değişimleri, buz tabakasının fiziksel özelliklerinde farklılık

Mart ayında, Doğu Antarktika'daki, Larsen B buz şelfinin batı bölümü kırılarak kıtadan ayrıldı. Ocak ayının sonunda başlayan 35 günlük süreçte, 3.250 kilometrekarelik buz kütlesi kıtadan ayrılarak Weddell Denizi'nin binlerce buz dağıyla dolmasına neden oldu. Uzmanlar, son beş yılda buz şelfinin toplam 5.700 kilometrekarelik bir bölümünün kıtadan ayrıldığını belirtiyorlar. Mart ayındaki olaysa, son 30 yıldır gözlenenler arasında en büyüğüydü. Buz şelfinin ayrılması, yöredeki iklimin ısınmasına bağlıyor. Bölgenin, 1940'lardan bu yana her on yılda yaklaşık 0,5 derece ısındığı gözlenmiş.

lar yaratmış olabilir. Ya da güneyde olduğu gibi, kıtanın kuzeyindeki örtü de doğudan batıya doğru kayıyor olabilir. Son bir olasılık olarak, aradaki farkın nedeni, daha yakın zamanda kar yağışı ve hava sıcaklığında görülen değişimleri yansıtıyor olabilir. Ancak, yer yer de olsa erime gerçekleşiyorsa ve onlarca ya da yüzlerce yıl sürecek olursa, bunun buz örtüsünde değişimlere yol açacağı da ortada.

Kutup bölgelerindeki buz örtüleri ve denizlerdeki buzlar, ısının, atmosferdeki gazların, ve okyanusların küresel dolaşımında, yani küresel iklimin düzenlenmesinde belirleyici rol oynuyor. Öte yandan, dünyanın öteki bölgeleriyle karşılaştırıldığında kutup bölgeleri, özellikle de Antarktika kıtası, son on yirmi yıl öncesine kadar çok az bilimsel araştırmaya konu olmuş.

Az sayıda da olsalar bu araştırmalar gösteriyor ki, insanların yoğun olarak yaşadığı bölgelerden uzak olmalarına karşın, buz örtüsüyle kaplı Antarktika kıtası ve Grönland'ın küresel iklim sistemindeki rolleri çok önemli. Son on yılda, buz örtülerinin kütle dengesi hakkında ayrıntılı veriler toplanmaya başladıysa da, 1990 yılı öncesine ait yeterli kayıt bulunmuyor. Öte yandan, sıcaklık ve kar yağışındaki kısa dönemli değişimler, uzun dönemli eğilimlerin anlaşılmasını güçleştirebiliyor. Buz örtülerini, küresel iklim bulmacasını çözmeye yetecek kadar iyi anlamak için, geniş bölgeleri kapsayan, çok daha uzun dönemlere yayılmış verilere gereksinim var.

Asli Zülâl

Buz Şelfleri

Yıllık kar yağışının 2,5-7,5 cm'yi geçmediği Antarktika, kıtalar içinde en kuru iklime sahip olanı. Öte yandan, gezegenimizdeki tatlı suların %70'i de Antarktika'da bulunuyor; elbette ki donmuş durumda. Gerçekte, Antarktika'yı kaplayan buz örtüsü, Transantarktik Dağ Sırası'yla, Doğu Antarktika Buz Örtüsü ve Batı Antarktika Buz Örtüsü olmak üzere ikiye ayrılıyor. Kıtanın çoğunu, 25 milyon yaşındaki Doğu Antarktika Buz Örtüsü kaplıyor. Kimi yerlerde kalınlığı 4,5 kilometreyi bulan bu örtü tümüyle deniz seviyesinden yüksek. Batı Antarktika Buz Örtüsüye daha küçük ve daha genç. Kütlesi, doğudaki örtünün beşte biri kadar ve büyük bir bölümü, deniz seviyesinin altında.

Antarktika kıyılarının yarısı, denize akan buzulların oluşturduğu buz şelfleriyle kaplı. Yeryüzünü kaplayan buzullar, sürekli olarak hareket halinde. Antarktika'daki buzul akıntıları kıyıya vardıklarında okyanusa doğru akmayı sürdürürken, kayalıklardan geçerler. Kayalıklara takılır, ama suya doğru açılmayı da sürdürürler. Sonuçta, kıtaya bağlı olmalarına karşın, suda yüzen dev buz şelf-

leri oluşur. Antarktika kıyılarındaki buz şelflerinin toplam yüzölçümü, kıtanın yüzölçümünün onda birinden fazla. Bunların en büyüğü, yedi buzul akıntısıyla beslenen, "Büyük Buz Engeli" olarak da adlandırılan Ross Buz Şelfi.

Her yıl, mevsimlik ısınmalara bağlı olarak buz şelflerinin kenarları kırılır; şelfler, buzdağı "yavrular". Ender olarak, çok büyük buz dağları da oluşur. Normalde yavrular, buz şelfinin çok küçük bir bölümüdür ve yavrulamayla kaybedilen buzun kütlesi, kıtaya düşen kar yağışının kine eşit olur. Bu nedenle, kıtanın biçimi dengede kalır. Daha doğrusu en azından son yıllara kadar böyleydi. Kutup bölgelerindeki buz ve karlar, güneş ışınlarının çoğunu uzaya geri yansıtarak sıcaklıkların düşük kalmasını sağlar. Buz şelflerinin kapladığı alanın azalması, daha az güneş ışınımının yansımaya neden olur. Böylece, okyanuslar daha fazla ısınım soğurur. Bu da, okyanusların ısınmasına yol açar. Isınan okyanusların üzerinde bulunan hava da büyük ölçüde ısınacağından, bu durum hava sıcaklıklarının artmasına neden olur. Antarktika'daki buz şelfleri suda yüzdüğü için, eridiklerinde denizlerin seviyesini yükseltici etki yapmaz. Ancak, buz şelflerinin erimesi, hem küresel ısınmanın habercisi, hem de başka olayların başlangıcı olabilir.

Kaynaklar

<http://nsidc.org/>

<http://www.antarctica.ac.uk/>

<http://www.asoc.org/>

Alley, R. B., "On thickening ice?", Science, 18 Ocak 2002

Copley, Jon, "The great ice mystery", Nature, 7 Aralık 2000

Rignot, E. & Thomas, R. H., "Mass balance of polar ice sheets", Science, 30 Ağustos 2002

Whitfield, John, "Melt Down", Nature Science Update 1 Kasım 2001

Kaiser, Jocelyn, "Breaking up is far too easy", Science, 30 Ağustos 2002