

İnsanlık Geleceğiyle mi Oynuyor? İklim Değişiyor

İNSANLIĞIN yerleşik yaşama geçişinden bu yana, dünya iklimi neredeyse değişmeyen bir gidiş izliyor; sıcaklıklarda herhangi bir ciddi değişim olmuyor. Bu nedenle bizler de gerek hava sıcaklıklarının gerekse iklim desenlerinin dünya tarihi boyunca hep aynı kaldığını, değişmediğini düşünüyoruz. Ne var ki iklimbilimcilerin bulguları hiç de böyle olmadığını gösteriyor. Gerçekte dünya iklim sistemi, durgun bir yapıda olmaktan çok uzak. Yüzlerce milyon yıllık sıcak dönemler, bunların ardından gelen onlarca milyon yıllık soğuk dönemler; soğuk dönemlerin içinde yüz bin yıllık periyotlarda ve yaklaşık on bin yıl süren ılık vahalar ve bunların içinde de onlarca ya da yüzlerce yıl süren görece hafif, soğuklu sıcaklı bir çok dönem var. Kısacası dünya zaman zaman değişen sürelerle hem ısınıyor hem de sonra yeniden soğuyor.

Örneğin son bir milyar yıl içinde yaklaşık 250 milyon yıl süren sıcak dönemlerin ardından gelen dört büyük soğuk dönem oldu. Sıcak dönemlerde, dünyanın ortalama sıcaklığının 22°C kadar olduğu sanılıyor; bugünkünden 7°C daha fazla! Bu dönemlerde kıtalar bugünkü yerlerine oturmamıştır. Karaların iç bölgelerinde ılık ve sığ denizlerle bataklıklar vardır; deniz düzeyleri yüksektir, kutuplarda buz bulunmaz; oraları da bitkiler ve ormanlarla kaplıdır. Bu sıcak dönemler, bir

süre sonra soğuk ama daha kısa süren dönemlerle kesiliyorlar. Bu köklü iklim değişimi de birkaç yüz yıl gibi kısa bir sürede oluyor.

Gezegelimiz, son olarak, yaklaşık elli milyon yıl önce soğuk bir döneme girdi. Aslında şu anda hâlâ onun içindeyiz. Bu dönemde hava sıcaklıkları düştü, kutuplardan başlayarak orta enlemlere değin uzanan buz tabakaları kapladı dünyayı. Canlıların doğal yaşam alanları değişti. Yeni koşullara uyum sağlayamayan türler yok oldu; yeni türler ortaya çıktı. Bu soğuk çağda, yüz bin yıl arayla görülen ve yaklaşık on bin yıl süren kısa dönemlerin dışında dünya sürekli soğuk oldu.

Peki bu periyodik ısınma ve soğumaların nedeni nedir? 250 milyon yıllık sıcak ya da yüz bin yıllık soğuk dönemlere yol açan güçlü etkiler nelerdir? İklimbilimciler de çok uzun zamandır bu sorulara yanıt arıyorlar. İlk soruya daha yanıt bulabilmiş değiller. Ancak ikincisi için bazı ipuçları var.

1930'lu yıllarda Sırp bilim adamı Milutin Milankoviç, Dünya'nın Güneş

çevresindeki elips biçimli yörüngesinin, 95 000 yılda bir basıklaştığını gösterdi. Bu periyod akla hemen, yüz bin yıllık buz çağlarını getiriyor. Yörüngedeki bu değişimin yanı sıra Milankoviç, Dünya'nın ekseninde de 41 000 yıllık periyodu olan doğrusal bir kayma ile 23 000 yıllık periyodu olan dairesel bir sapma daha olduğunu buldu. Günümüz bilim adamları Dünya'nın bu hareketlerini bilmekle birlikte, bunların Dünya'nın değişken iklimiyle olan ilişkisini daha tam olarak kuramadılar.

Kimi iklimbilimciler, kıta kayma hareketlerinin ve dağ oluşumlarının iklim değişimlerinde bir etkisi olabileceğini düşünüyor. Çünkü bu tür hareketler okyanuslardaki akıntı sistemlerini ve atmosferdeki rüzgârları etkiler. Kimi bilim adamları da yanardağ etkinliklerindeki periyodik bir aşırılığın iklim sistemini etkileyebileceğini savunuyorlar. Yanardağ patlamalarıyla atmosfere çok büyük miktarlarda toz yükselir. Bu tozlar, güneş ışınlarının geçişini engelleyen bir tabaka oluşturur ve böylece dünyanın sıcaklığı da düşer. 1991'de Filipinler'deki Pinatubo yanardağının patlaması yüzünden bir yıl boyunca dünyanın ortalama sıcaklığı 1°C kadar düşmüştü. Bunlardan başka Güneş lekeleriyle iklim olayları arasında bir ilişki arayan bilim adamları da var. Gerçekten de Güneş'in manyetik alanındaki değişimler ve Güneş lekeleri, yayı-



1991'de patlayan
Pinatubo yanardağı



Dünyamızın ısınıyor olduğuna ilişkin en güzel kanıtlardan biri, orta ve alçak enlemlerde dağlardaki buzulların geri çekilmeleridir. Bu geri çekiliş, özellikle son yirmi yılda hız kazanmıştır. Buzullardan buharlaşan sular da denizlerin düzeylerinin yükselmesine yol açar.

lan enerji miktarını etkiler. Bu da doğal olarak Dünya'nın aldığı enerji miktarının değişmesine yol açar.

Soğuma ve ısınmaların nedenleri daha anlaşılabilmiş değil; ama son bir milyon yılda dünyayı en azından dokuz kez buz tabakalarının kapladığı biliniyor. Bugün aslında, bundan elli milyon yıl önce başlamış olan soğuk dönemin içindeki kısa süreli sıcak vahalardan birindeyiz: Büyük bir olasılıkla da vahanın sonu görünmeye başladı. Amerika ve Avrupa'nın ortalarına değin gelen buz tabakaları, bundan 18 000 ile 14 000 yıl önce çekilmeye başladılar. Buzların çekilmesi ısınmanın ilk belirtileiydi. Bu kısa ılık dönemin en yüksek sıcaklıklarına 8000 yıl kadar önce ulaşıldı; hava bugünkünden yalnızca 1-2°C daha sıcaktı. Dört bin yıl kadar önce sıcaklık düşüşleri başladı. Tabii ki arada kısa süreli görece ılık dönemler oldu. Örneğin bin yıllarındaki böyle bir ısınma sırasında, Vikingler İzlanda'ya ve o zamanlar yeşil olan Grönland'a gidip koloniler kurdular; hatta Amerika'ya bile gittiler. Ama sonra soğukların geri gelmesiyle Grönland buzla kaplandı ve koloniler de çöktü.

Bilim adamlarına göre dünya şu anda artık soğuma eğiliminde olmalı. Ancak son yüz elli yıllık gözlemler, bir şeylerin sanki ters gittiğini gösteriyor. On dokuzuncu yüzyılın ortalarından 1940'a değin, dünyanın özellikle kuzey yarım küresinde belirgin bir ısınma gözlenmişti. Sonra, 1940'tan başlayıp 1960'lı yılların sonuna değin süren yaklaşık 0,25°C'lik bir soğuma yaşandı. Bu dönemde Alaska ve İskandinavya'daki buzulların geri çekilmesi durdu. Hatta İsviçre'dekiler ilerlemeye bile başladılar. Ne var ki 1970'li yıllarda dünya yeniden ısınmaya başladı. Kasım 1976'da iklimbilimci Dr. Wallace S. Broecker "Yirmi-otuz yıl sürecek, hızlı bir ısınma döneminin başında olabiliriz. Eğer doğal soğuma eğilimi sona erdiyse, küresel sıcaklık büyük bir artış gösterecektir... bu ısınma 2000 yılında, dünyanın ortalama sıcaklığını son bin yılın en üst düzeyine çıkartabilir" demişti. Bugünkü durum ortada: Ağaç halkaları, buz örnekleri, mercanlar ve okyanus tabanlarından alınan örnekler üzerinde yapılan incelemeler, 1997 yılının son 1200 yıllık dönem içindeki en sıcak yıl olduğunu

ortaya koydu. 1998 ise 1997'den bile daha sıcak geçti.

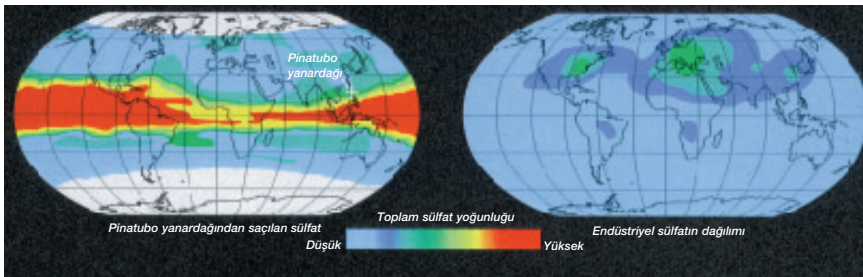
Isınıyoruz

Bugün dünyanın en soğuk bölgesi neresidir sorusuna verilecek yanıt, kuşkusuz Antarktika'dır. Avustralya'nın iki katı büyüklüğündeki bu kıtanın hemen hemen tümü (% 98) buzla kaplıdır. Yaklaşık yüz milyon yıl önce süper kıta Gondwana'dan kopan kıta yavaş yavaş bugünkü yerine oturdu. Oluşumundan sonra çok uzun bir süre üzerinde buz bulunmayan Antarktika'da yaklaşık on beş milyon yıldır değişmeyen bir buz takkesi bulunuyor.

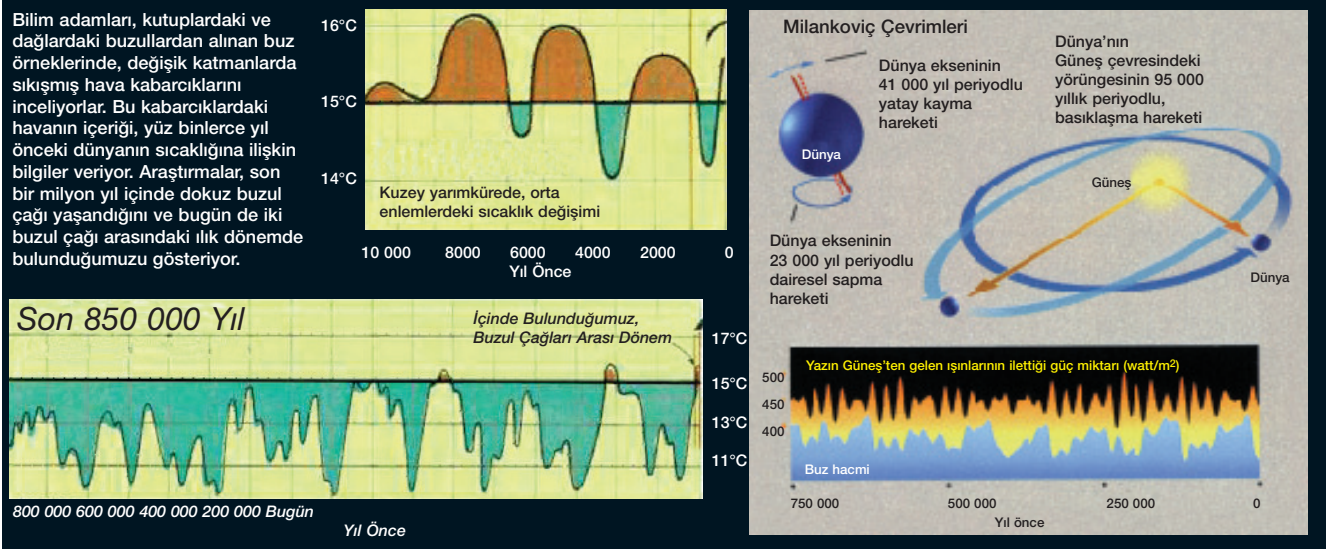
Kıtayı kaplayan buz tabakası, gelen güneş ışınlarının %80-85'ini geri yansıtır. Antarktika'nın günümüzde bu denli soğuk olmasının temel nedeni budur. Buz tabakasının ortalama kalınlığı 1,5 km'dir ama bu kalınlığın 4,5 km'yi aştığı yerler de vardır. Dünyadaki buzların % 90'ı (yaklaşık 30 milyon kilometreküp), Antarktika'da bulunur ve bu buzlar, dünyadaki temiz suların % 70'ini içerir.

Bu yapısıyla, Antarktika'nın dünya iklimi içinde önemli bir yeri vardır. Her şeyden önce kıta, dünya iklim sisteminin soğutucu birimidir. Soğutma etkisinin dünya rüzgâr desenlerinin oluşumunda önemli bir yeri vardır. Bu etkinin yanı sıra Antarktika'nın okyanusla olan ilişkisi de çok önemlidir.

Dünyadaki iklimin en önemli öğelerinden biri de bilim adamlarının taşıyıcı bant adını verdikleri okyanus akıntı sistemidir. Mobius şeridine benzer biçimdeki akıntı, kimi zaman dipten kimi zaman da yüzeyden gider. Dünya-



1991'de Filipinler'deki Pinatubo yanardağının patlamasıyla tonlarca kükürt dioksit stratosfere yayılmış ve orada sülfürik asit damlacıklarına dönüşmüştü. Tüm dünyaya yayılan bu ayresol battanyesi, gelen güneş ışınlarını yansıttığı gibi dünyanın ısısını da soğuruyordu. Bu yüzden de bir yıl boyunca dünyanın ortalama sıcaklığı 1°C kadar düştü. Bu olay bilim adamlarına, iklim modellerini geliştirme fırsatı sağladı.



daki tüm ırmaqlarda akan suların yirmi katı kadar su taşıyan bu akıntı sistemi İzlanda yakınlarında soğur ve yoğunlaşarak dibe batar. Yön değiştiren akıntı dipten, güneye, Afrika'ya, doğru ilerler.

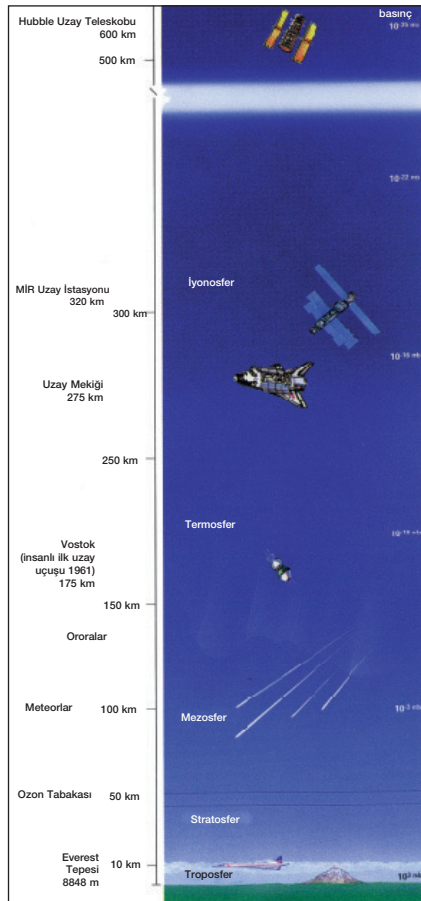
Afrika'nın güneyinde, Antarktika yakınlarında, akıntı iki kola ayrılır. Kollardan biri Avustralya'nın doğusundan geçerek Pasifik Okyanusu'nun kuzeyine yönelir. Yol boyunca ısınır ve yüze çıkar; sonra ABD'nin batı kıyılarını izleyerek güneye iner ve Avustralya'nın kuzeyinden geçer. Öteki kol Hint Okyanusu'nda bir çember çizer; ısınan ve yüzeyden akan sular Avustralya'nın batısında birinci kola birleşir. Ondan sonra taşıyıcı bant tek bir büyük kol biçiminde Afrika'nın batısından geçerek kuzeye yönelir. Yol boyunca buharlaşma nedeniyle suları azalan akıntının tuz oranı yükselmiştir; kuzeye yaklaştıkça da soğur. İzlanda yakınlarında bu soğuk ve yoğun sular dibe batar. Böylece döngü tamamlanır.

Taşıyıcı bant, okyanuslar arasında su ve ısı alışverişini sağlar. Bu sistem sayesinde Pasifik ve Hint Okyanuslarının sıcak suları Atlantik'e taşınır. Bu sırada yüzeyden giden akıntının üzerindeki hava da ısınır ve akıntının yakınından geçtiği karaların iklimi yumuşar. Örneğin Kuzeybatı Avrupa, taşıyıcı bant sayesinde yaklaşık 10°C daha sıcak olur.

Güney yarımkürede yaz mevsimi geldiğinde, Antarktika'da eriyen buzların soğuk suları da dibe çöker ve taşıyıcı banta katılır; sonra da kuzeye yönelir. Bu nedenle Antarktika, hem soğukluğu hem de taşıyıcı banta aktardığı soğuk suları nedeniyle dünya iklim

sisteminin dengesi açısından çok önemlidir.

Son yıllarda bilim adamları kıtanın iç bölgelerinin aldığı yağış miktarında bir artış, bunun yanında kıyılarındaki buz hacminde de bir azalış gözlemleniyorlar. Buz hacmindeki benzer bir azalma Arktik Denizi'yle dünyanın orta ve alçak enlemlerindeki buzullarda da kendini gösteriyor. Örneğin Afrika'da Kilimanjaro Dağı'ndaki buzul, 20. yüzyılda kütlelerinin yaklaşık dörtte üçünü yitirdi. Aynı dönemde Kafkaslar'daki buzulların kütleleri yarıya indi. Çin-Rusya sınırında, Tiyen Şan Dağları'ndaki buzullarsa son kırk yılda yaklaşık % 20 küçüldüler.



Yirminci yüzyılda denizlerin düzeyi 10-25 cm kadar yükseldi ve günümüzde de her yıl yaklaşık 2 mm yükseliyor. Bunun 0,2-0,6 mm kadarı okyanusların ısıl genişlemesinden (tıpkı yazın ısınan elektrik hatlarının sarkması gibi) kaynaklanıyor. Yükselmenin geri kalan bölümünün, buzların ve buzulların erimesi yüzünden olduğu sanılıyor. Bilim adamları bu durumu kaygıyla izliyorlar. Ama onları daha da kaygılandıran olay, buzulların erime hızının son yıllarda giderek artıyor olması. Örneğin Yeni Zelanda'daki buzullar yalnızca yirmi yılda kütlelerinin dörtte birini yitirdiler. İspanya'da 1980'de yirmi yedi olan buzul sayısı bugün on üçe düşmüş durumda. Peru Andları'ndaki Qori Kalis buzulu, 1963-78 yılları arasında, yılda dört metre kadar geri çekilirken, 1995'te buzulun yıllık geri çekilme hızı otuz metreye ulaştı. Bilim adamlarına göre buzullardaki bu erime, bir tek şeyi gösteriyor; küresel bir sıcaklık artışı.

Sıcaklık artışının tek göstergesi buzulların erimesi değil kuşkusuz. Göllelerin su sıcaklıklarındaki artışlar ya da atmosferde sıcaklığın 0°C'ye düştüğü yüksekliğin, 1970'ten bu yana her yıl, 4,5 m kadar artması da birer gösterge. Ancak dünya sıcaklığındaki artışı, en belirgin olarak gözler önüne seren kanıt, yaklaşık 140 yıldır dünyanın birçok yerinde tutulan sıcaklık kayıtları. Bu kayıtlar incelendiğinde, 1860-2000 yılları arasında küresel sıcaklığın yaklaşık

0,5-0,7°C yükselmiş olduğu görülüyor. Sıcaklığın en hızlı arttığı dönem de son yirmi yıllık dönem.

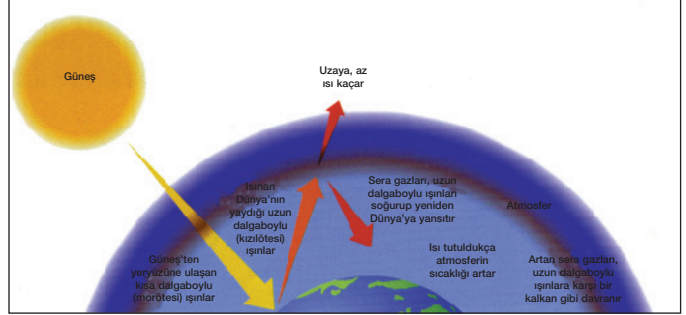
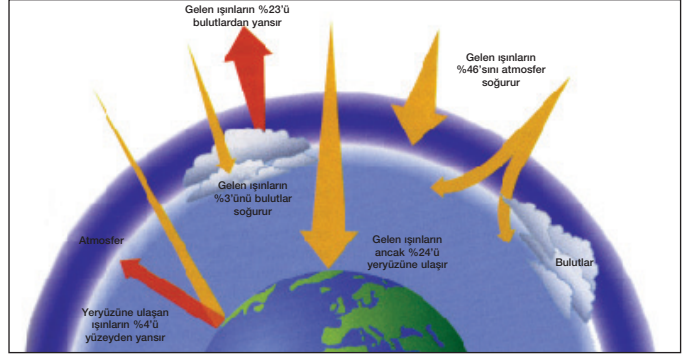
Bir dereceden bile küçük bu artışın aslında pek de önemli bir artış olmadığı düşünülebilir. Ancak 1500'lü yıllarda başlayıp 1800'lü yıllara değin süren ve Avrupa'da Küçük Buz Çağı olarak anılan soğuk dönemde, ortalama küresel sıcaklık, bugünkü değerinin yalnızca 1°C altındaydı. Günümüzden 12 000 yıl kadar önce sona eren, son buzul çağındaysa dünyanın ortalama sıcaklığı bugünkü düzeyinden yalnızca 5°C daha düşüktü. Bize sayı olarak pek küçük gelen bu sıcaklık değişimlerinin, iklim kuşakları, canlıların doğal yaşam alanları ve insanların toplumsal yaşamları üzerinde gerçekte büyük etkileri olur.

Atmosfer

Güneş sisteminde, Merkür dışındaki tüm gezegenlerde, hatta kimi gezegenlerin uydularında bile atmosfer bulunur. Bu atmosferlerin kalınlığı, içerdiği gazlar ve yapısı gezegenden gezegene değişir. Örneğin Mars'ta, karbon dioksitten (CO₂) oluşan ince ve soğuk bir atmosfer vardır. Öte yandan Venüs'te başta yine CO₂ olmak üzere, azot, kükürt dioksit ve su buharından oluşan çok yoğun ve sıcak bir atmosfer bulunur. Mars'ın yüzey sıcaklığı -130°C'ye kadar düşerken Venüs'te sıcaklık 500°C kadardır. Mars'ın atmosferi çok incedir ve Güneş'ten gelen yüksek enerjili morötesi ışınları engelleyecek bir yapıda değildir. Öte yandan Venüs'ün atmosferindeki bulut tabakası öylesine kalındır ki yüzeyden Güneş'i görmek olanaksızdır. Her iki gezegenin atmosferi de bugün için hem insanlar hem de Dünya'daki başka canlılar açısından -kimi mikroorganizmalar dışında- bu gezegenleri yaşanamaz kılıyor. Yeryüzünde yaşam, atmosferimizin oluşturduğu uygun koşullar sayesinde başlamış ve onun değişimleriyle birlikte evrim geçirerek biçimlenmiştir.

Bilim adamları, oluşumunun ilk aşamalarında Dünya'nın bir atmosferi bulunmadığını düşünüyorlar. Tektonik hareketlerin sonucunda Dünya'nın iç kısımların-

Güneş'ten gelen ışınların bir bölümü bulutlar tarafından yansıtılır, bir bölümü atmosferce soğurulur, bir bölümü de yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne ulaşan ışınların küçük bir bölümü doğrudan yansır; geri kalanıysa Dünya'yı ısıtır. Bu kez, ısınan Dünya kızılotesi ışın yaymaya başlar. Ancak Dünya'nın yaydığı bu ışınlar uzaya yayılmadan atmosferdeki sera gazlarınca soğurulur ve gerisin geri Dünya'ya yansıtılır.



dan gelen gazların zamanla bir atmosfer oluşturduğu var sayılıyor. Bu ilk atmosferin içeriği ve yapısı bugünkünden çok farklıydı. Örneğin oksijen yok denecek kadar azdı; bir ozon tabakası da yoktu.

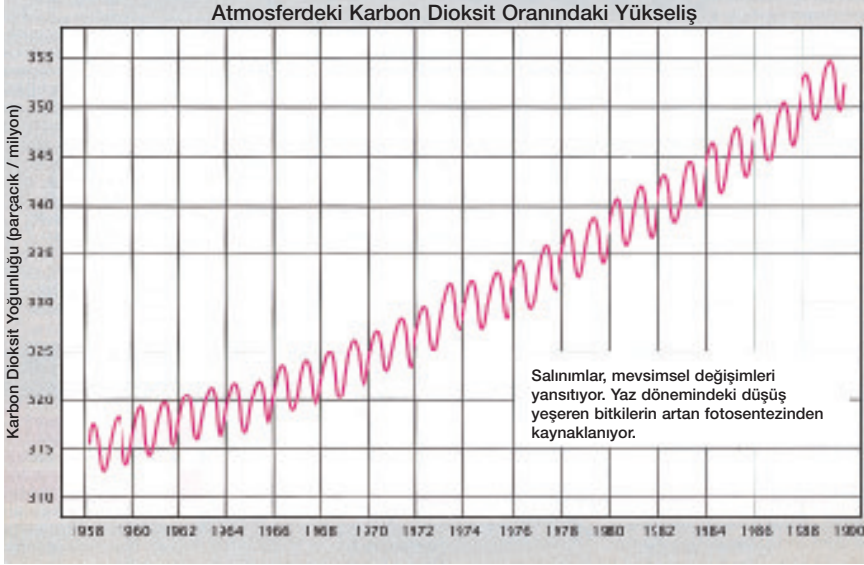
Günümüzde dünya atmosferini oluşturan temel gazlar azot (N₂) ve oksijendir (O₂). Bu iki gazın yanı sıra argon (Ar), karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), su buharı (H₂O), eser miktarda başka gazlar ve havada asılı küçük parçacıklar, ayresoller, bulunur. Atmosferimiz, birbirinen farklı özellikler gösteren katmanlardan oluşur. Gazların, her katmandaki oranları değişiktir. Ama ilk yüz kilometre boyunca azotun (% 78) ve oksijenin (% 20,5) oranları pek değişmez. Yükseklik arttıkça katmanlardaki gazların yoğunluğu (metreküpteki atom ya da molekül sayısı) da düşer.

Atmosferin ilk ve en yoğun tabakası troposferdir. Troposferin kalınlığı

yalnızca 10-15 km'dir ama atmosferdeki gaz kütesinin % 85'i de bu katmanda bulunur. Burada yükseklik arttıkça sıcaklık azalır; en üst kısımları -60°C kadardır. Atmosferdeki su buharının hemen hemen tümü buradadır. Troposferin üzerinde yaklaşık 50 km kalınlığındaki, kuru ve daha az yoğun stratosfer yer alır. Stratosferin ilginç bir özelliği vardır; troposferin tersine, sıcaklık yükseklikle birlikte artar. Güneş'ten gelen morötesi ışınlar, stratosferin üst kısımlarındaki (35-48 km arası) iki atomlu oksijen moleküllerini parçalar. Ama oksijen atomları, bu kez ozon (O₃) oluşturacak biçimde yeniden birleşirler. Oluşan ozon tabakası, Güneş'ten gelen ve Dünya'daki yaşam için tehlikeli olan morötesi ışınların geçişini engeller. Stratosferden sonra sırasıyla mezosfer, termosfer ve iyonosfer yer alır.

Uzaydan bakıldığında, dünyamızın yaydığı enerjinin dalgaboyuyla, -18°C'deki bir cisimden yayılan enerjinin dalgaboyunun aynı olduğu görülür. Ne var ki Dünya'da ortalama yüzey sıcaklığı 15°C'dir. Bu durum, ısının yer yüzüyle atmosferin alt katmanları arasında tutulduğunu gösterir. Gerçekten de Güneş'ten Dünya'ya gelen enerji, troposferde tutulur. Atmosfer olayları diye adlandırdığımız rüzgâr, yağmur, dolu, fırtına vb. olaylar hep bu en alt ve en yoğun tabakada olur.





Sera Etkisi

Güneş'in iç bölgelerinde oluşan füzyon tepkimeleri sırasında, çok büyük miktarlarda enerji açığa çıkar. Bu enerji yavaş yavaş Güneş'in yüzeyine doğru iletilir ve oradan da bütün dalgaboylarındaki elektromanyetik dalgalar biçiminde uzaya yayılır. Güneş sistemindeki gezegenler, büyüklüklerine ve Güneş'e olan uzaklıklarına göre, bu enerjinin küçük bir bölümünü paylaşırlar –geri kalanı, uzayda yayılmayı sürdürür.

Dünya'ya gelen ışınların yaklaşık dörtte biri, bulutlardan yansıyarak uzaya döner. Geri kalan enerjinin yaklaşık dörtte birini (% 28) stratosferdeki ozon tabakasıyla troposferdeki bulutlar ve su buharı soğurur. Atmosferin soğurduğu ışınların % 90'ı bizim göremediğimiz kızılötesi ve morötesi ışınlar, % 10'u da görünür ışındır. Bir başka deyişle atmosfer, Güneş'ten gelen görünür ışınların onda dokuzunun yeryüzüne geçişini engellemez. Yeryüzüne ulaşan bu ışınlar da onu ısıtır. Tropikal kuşaktan yükselen sıcak hava kutuplara doğru, soğuk kutup havası da yüzeye inip ekvatora doğru yönelir. Böylece atmosfer olayları, su çevrimi, karbon çevrimi vb. süreçler işleyerek dünyada yaşamın sürmesi sağlanır.

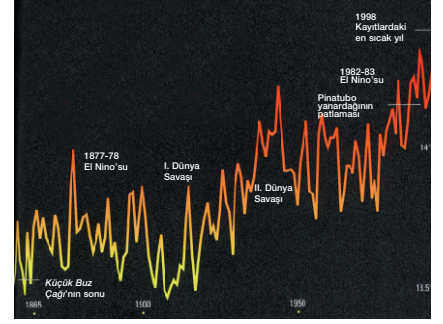
Gelen ışınlarla ısınan Dünya, tıpkı dev bir radyatör gibi davranmaya başlar. Ancak bu ısıyı Güneş gibi tüm dalgaboylarında yayamaz; yalnızca kızılötesi ışınlar biçiminde yayabilir. Ne ki yüzeyden yayılan bu ışınların yalnızca küçük bir bölümü uzaya gidebilir. Çünkü atmosferdeki su buharı, karbon

dioksit ve metan molekülleri bu ışınları soğurur; sonra da yüzeye doğru yansır. Böylece Dünya'nın yüzeyi ve troposfer, olması gerekenden daha sıcak olur. Bu olay, Güneş ışınlarıyla ısınan ama içindeki ısıyı dışarıya bırakmayan seraları andırır ve bu nedenle de doğal *sera etkisi* olarak bilinir.

Bu sürecin başlıca aktörleri olan, su buharı, karbon dioksit ve metan da *sera etkisi yapan gazlar* ya da kısaca *sera gazları* olarak anılırlar. Bunların yanı sıra azot oksit (N_2O) ve kloroflorokarbonlar (CFC) da sera etkisi yapar. Ancak bunların atmosferdeki oranları çok küçüktür.

Dengeli bir sera etkisinin Dünya'daki yaşam için büyük bir önemi vardır. Çünkü dünyayı sıcak ve yaşanabilir kılar. Eğer bu etki olmasaydı yeryüzünde ortalama sıcaklık $-18^\circ C$ dolayında olurdu. Tıpkı Mars'takine benzer bir durum. Öte yandan şiddetli bir sera etkisi de Dünya'yı çok sıcak bir gezegen yapabilir; tıpkı Venüs gibi. Sera etkisinin, Dünya'yı olduğundan daha sıcak yapmasının yalnızca insan için değil tüm canlı türleri için yaşamsal bir önemi vardır. Hatta Dünya'da yaşamın başlamasının bile sera etkisiyle belki bir ilişkisi olabilir.

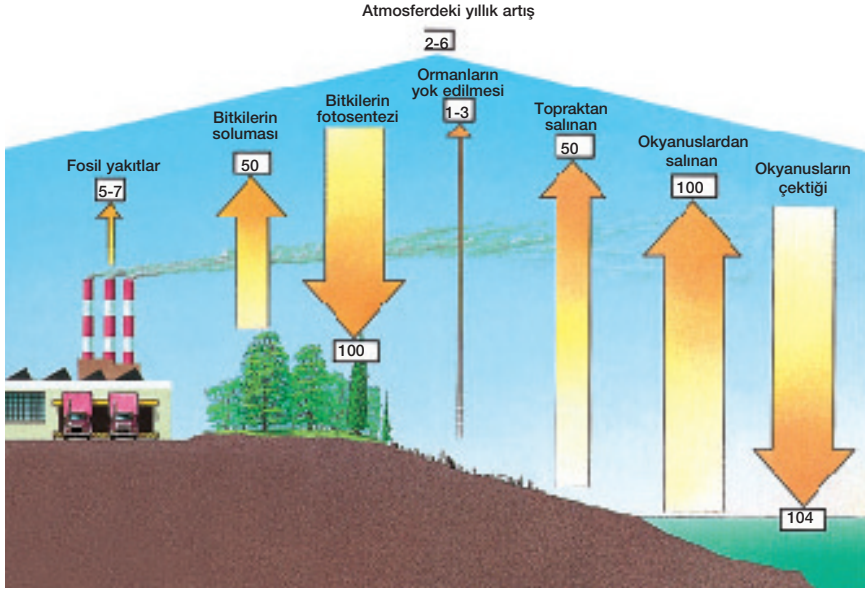
1970'li yılların başında ABD'deki Cornell Üniversitesi'nden iki bilim adamı, Carl Sagan ve George H. Mullen, ilginç bir düşünce ortaya attılar. Dünya'da okyanusların yaklaşık 3,8 milyar yıldır var olduğu ve en basit yaşam biçimlerinin de bu okyanuslarda yaklaşık 3,5 milyar yıl önce ortaya çıktığı tahmin ediliyor. Ayrıca aynı dönemde oluşumunun ilk aşamalarındaki



Yüz elli yıllık sıcaklık kayıtları, Dünya'nın bu dönemde $0,5-0,7^\circ C$ kadar ısındığını ortaya koyuyor. Bilim adamları, endüstri devrimiyle birlikte atmosferde karbon dioksit ve metan gibi sera gazlarındaki artmasının bu ısınmayla ilişkili olduğunu düşünüyorlar. Çünkü buz örnekleri üzerinde yapılan çalışmalar, yüz binlerce yıl boyunca atmosferdeki sera gazı oranlarının Dünya'nın sıcaklığıyla birlikte artıp azaldığını gösteriyor.

Güneş'in, bugünkünden % 30 daha sönük olduğu ve çevresine daha az enerji yaydığı da biliniyor. Sagan ve Mullen'in düşüncesine göre, o dönemde Güneş'ten gelen enerji miktarı, Dünya'yı bugünkü gibi ısıtamayacak ve okyanuslardaki suların da sıvı olarak bulunmasına olanak vermeyecek denli azdı. Bu durumda okyanusların donması ve yaşamın da ortaya hiç çıkamaması gerekirdi. Ama hiç de öyle olmadı. Çünkü o dönemde atmosferin yapısı ve içeriği bugünkünden çok farklıydı. Güneş'ten gelen yetersiz enerjiye karşın Dünya'nın yüzeyi, suların sıvı kalmasını sağlayacak denli sıcaktı. Bunun nedeni de günümüzdekinden çok daha şiddetli bir sera etkisinin yaşanıyor olmasıydı. O dönemde atmosferdeki CO_2 oranı bugünkü düzeyinin 100–1000 katıydı. Zamanla oksijen üreten alglerin ve fotosentez yapan kara bitkilerinin ortaya çıkmasıyla bu oran giderek düştü. Atmosferin içeriği değişmeye başladı; canlılar sayesinde atmosferdeki karbon dioksit sürekli azalırken oksijen miktarı arttı.

Bu düşüncenin kanıtlanması olanaklı değil. Kuşkusuz başka bilim adamları sera etkisini dışlayan değişik senaryolar üretebilir. Ama Sagan'la Mullen'in senaryosunda aksayan bir yan da yok. Atmosferimizin içeriğinin, milyarlarca yıllık dünya tarihi boyunca zaman zaman değişmiş olduğu artık herkesçe biliniyor. Hatta bunun somut bir örneğine, bugün bizler tanıklık ediyoruz; 20. yüzyıl boyunca sera gazlarının atmosferdeki oranları sürekli arttı ve hâlâ da artıyor. Bunlardaki artış da atmosferin ısı tutma kapasitesini arttı-



ıyor ve böylece küresel sıcaklığın yükselmesine yol açıyor. Bu gazlar arasında en etkili su buharı. Dünyadaki sera etkisinin % 75'inin su buharından kaynaklandığı düşünülüyor. Bu durum, ilginç ve tehlikeli olabilecek bir kısır döngü oluşturuyor. Çünkü dünya ısındıkça okyanuslardan, deniz, göl ve ırmaklardan daha büyük miktarlarda su, buharlaşıp atmosfere karışır. Atmosferdeki daha çok su buharı da sera etkisinin artması yani dünyanın biraz daha ısınması demektir. Ne ki insanların su çevrimi üzerinde yapabilecekleri doğrudan bir etki yok. Ama sera etkisini arttıran öteki gazların büyük bir bölümünü, insanlar üretiyor. Bunların başında da karbon dioksit geliyor.

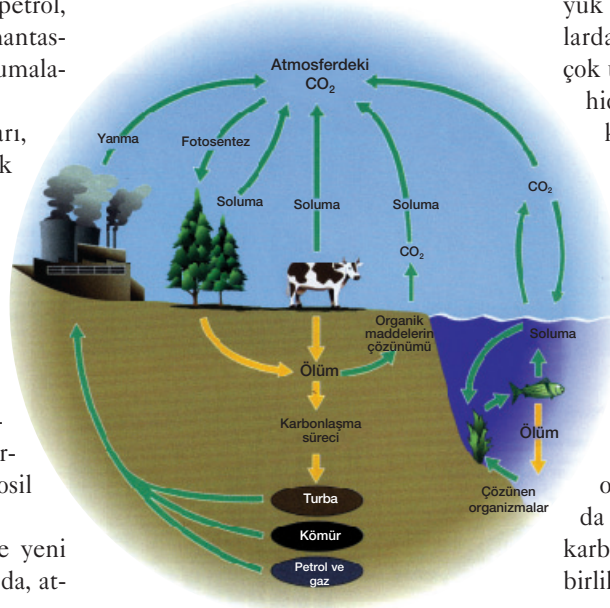
On yedinci yüzyılın başlarında keşfedilen karbon dioksit, renksiz bir gaz. Atmosferde % 0,03 (on binde üç) oranında bulunuyor ve temel olarak, karbon içeren maddelerin (kömür, petrol, doğalgaz vb) yakılmasıyla, fermantasyonla, hayvan ve bitkilerin solunmalarıyla üretiliyor.

Günümüzde bilim adamları, 1860'tan bu yana görülen yaklaşık 0,7°C'lik küresel ısınmanın % 60'lık bölümünden, karbon dioksitin sorumlu olduğu kanısındalar. Çünkü atmosferdeki karbon dioksit miktarı son 200 000 yılın en üst düzeyinde. Bu kadar fazla karbon dioksitin atmosfere karışmasından da kuşkusuz, otomobillerde, fabrikalarda, elektrik santrallerinde vb. fosil yakıtları yakan insanlar sorumlu.

Gerçekte bu düşünce hiç de yeni değil. Daha 19. yüzyılın ortalarında, at-

mosferin bileşimindeki küçük değişimlerin bile büyük iklimsel değişikliklere yol açabileceği tahmin ediliyordu. Bu konu üzerinde çalışan ve atmosferdeki karbon dioksitin dünya iklim sistemine olan etkisini ilk fark eden, Nobel Ödüllü İsveçli kimyacı Svante A. Arrhenius oldu. Arrhenius 19. yüzyılın sonlarında, karbon dioksit oranındaki değişimin, dünyanın yüzey sıcaklığını nasıl etkileyeceğini hesapladı. Onun hesaplarına göre karbon dioksit oranı iki katına çıkarsa, yaklaşık 6°C'lik bir küresel ısınma olacaktır! Arrhenius'un bulduğu değer, bugün iklimbilimcilerin öngörülerine oldukça yakın.

Bu konuya yönelik ilk pratik uygulamalar ancak 20. yüzyılın ortalarında gerçekleştirildi. Atmosferdeki karbon dioksit miktarının sistematik olarak gözlenmesine 1958'de başlandı. O yıl-

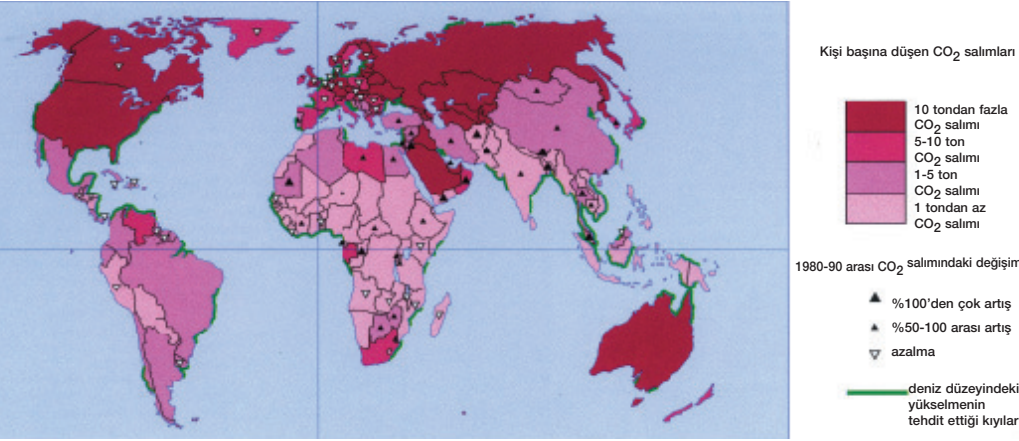


larda yapılan gözlemler, yaklaşık yüz yıllık bir dönemde atmosferdeki karbon dioksit miktarının % 25 oranında artmış olduğunu ortaya koydu. Bilim adamları, bu artışın temel nedenini fosil yakıtların kullanılması ve ormanların yok edilmesi gibi insan etkinlikleri olduğunu düşünüyor. Çünkü buz örnekleri üzerinde yapılan çalışmalar atmosferdeki karbon dioksit oranının binlerce yıldır değişmediğini ortaya koyuyor; ta ki Endüstri Devrimi başlana dek.

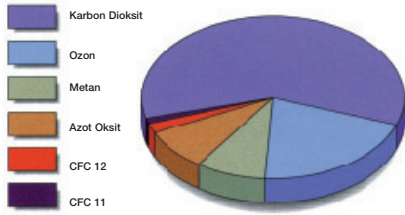
Sera Gazları

Dünyanın kabuğu denince akla hemen, dünyanın iç kısmında sıvı durumundaki mantonun üzerinde bulunan ve kalınlığı yer yer 6 km ile 70 km arasında değişen katı bölüm, litosfer, gelir. Ne var ki bilim adamlarının "Dünya'nın kabuğu"ndan anladıkları daha farklıdır. Onlara göre kabuk, o katı bölüm, litosfer, ile birlikte hidrosferi (okyanuslar, denizler, göl ve ırmaklar), atmosferi ve buralarda yaşayan canlıları (biyosfer) da kapsar. Kabuğu oluşturan bu katı, sıvı ve gaz bölümler ve biyosfer birbirleriyle sürekli ve yoğun bir etkileşim içindedir. Bunlardan herhangi birindeki bir değişiklik ötekilerde de değişimlere yol açar. Karbon çevrimi, bu karşılıklı ilişkiyi ortaya koyan güzel ve somut bir örnektir.

Yaşam, havadaki karbon dioksitin, canlı organizmalardaki karbon temelli organik bileşiklere dönüşmesi üzerine kuruludur. Dünyadaki karbonun büyük bölümü kayalardadır. Ancak bunlardaki karbonun çevrime katılması çok uzun sürer. Öte yandan atmosferle hidrosfer arasında çok daha hızlı bir karbon alışverişi vardır. Atmosferdeki karbon dioksit suda çözünerek karbonik asit oluşturur; sonra sırasıyla bikarbonat ve karbonat iyonlarına dönüşür. Suyun içinde yaşayan bitkiler fotosentez için suda çözünmüş olarak bulunan karbonatlardan ve karbon dioksitten yararlanırlar. Okyanuslar her yıl atmosferden yaklaşık 104 milyar ton karbon dioksit çeker ve 100 milyar ton kadar da karbon dioksit salar. Okyanusların karbon çevrimindeki etkisi bilinmekle birlikte bu çevrimde yer alırken hangi



Sera gazlarının küresel ısınmadaki payları



iç süreçlerin işlediği hâlâ açıklığa kavuşmuş değil.

Karadaki bitkiler de fotosentez sırasında atmosferdeki karbon dioksiti alır ve karbon temelli bileşiklere çevirirler. Bunların bir bölümü metabolizmalarında kullanılır; geri kalan bölümü de depolanır. Bitkilerin depoladığı karbon, bitki yiyen hayvanlara geçer. Kara bitkileri fotosentez yoluyla her yıl yaklaşık 100 milyar ton karbon dioksiti atmosferden çeker. Bitkiler, hayvanlar ve toprak her yıl soluma yoluyla 100 milyar ton karbon dioksit salar.

Karbon, ağaç dokularında da depolanır. Kayalardan sonra karalardaki en büyük karbon deposu ormanlardır. Yaşayan ormanlar yeryüzündeki; geçmiş dönemlerde yaşamış ormanlar da yer altındaki (kömür, petrol ve doğalgaz biçiminde) karbon depolarıdır. Dünyadaki doğal süreçlerin on milyonlarca yıldır depoladığı bu karbon stokları, yirminci yüzyıl boyunca insanlar tarafından çok hızlı bir biçimde atmosfere (karbon dioksit olarak) geri verilmiştir; hâlâ da veriliyor. Öte yandan atmosferdeki karbon dioksit oranını düşürecek ormanlar da hızla yok ediliyor. Fosil yakıtların tüketimi ve ormansızlaştırma yüzünden her yıl atmosfere yaklaşık 7 milyar ton karbon dioksit salınıyor.

Şu anda atmosferde 750 milyar ton dolayında karbon dioksit bulunuyor. Bitkilerin, hayvanların ve toprağın soluması, fosil yakıtların kullanılması, ormansızlaştırma ve okyanus-atmosfer

Bilim adamları, küresel ısınmanın temel nedeni olarak sera gazlarının artışı görüyorlar. Bunların başında su buharı geliyor. Ama insanların su çevrimine karşı yapabilecekleri bir şey yok. Bunun yanında atmosferdeki öteki sera gazlarını insan etkinlikleri artırıyor. Bu etkinliklerin başında da fosil yakıtların kullanılması geliyor.

etkileşimi yüzünden her yıl yaklaşık 207 milyar ton karbon dioksit atmosfere salınıyor. Bu miktar her yıl artıyor. Öte yandan, kara bitkilerinin fotosentezi ve yine okyanus-atmosfer etkileşimi nedeniyle de yaklaşık 204 milyar ton karbon dioksit her yıl atmosferden çekiliyor. Bu durumda yılda 3 milyar ton dolayında karbon dioksit atmosfere ekleniyor. Bu da aslında insanların fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosfere salınan karbon dioksit miktarına eşit. Ne var ki dünyadaki fosil yakıt rezervleri, atmosferdeki karbon dioksit düzeyini 5-10 katına çıkaracak denli fazla. Bilim adamlarının tahminlerine göre insanlar, yer altındaki bu karbon stok-

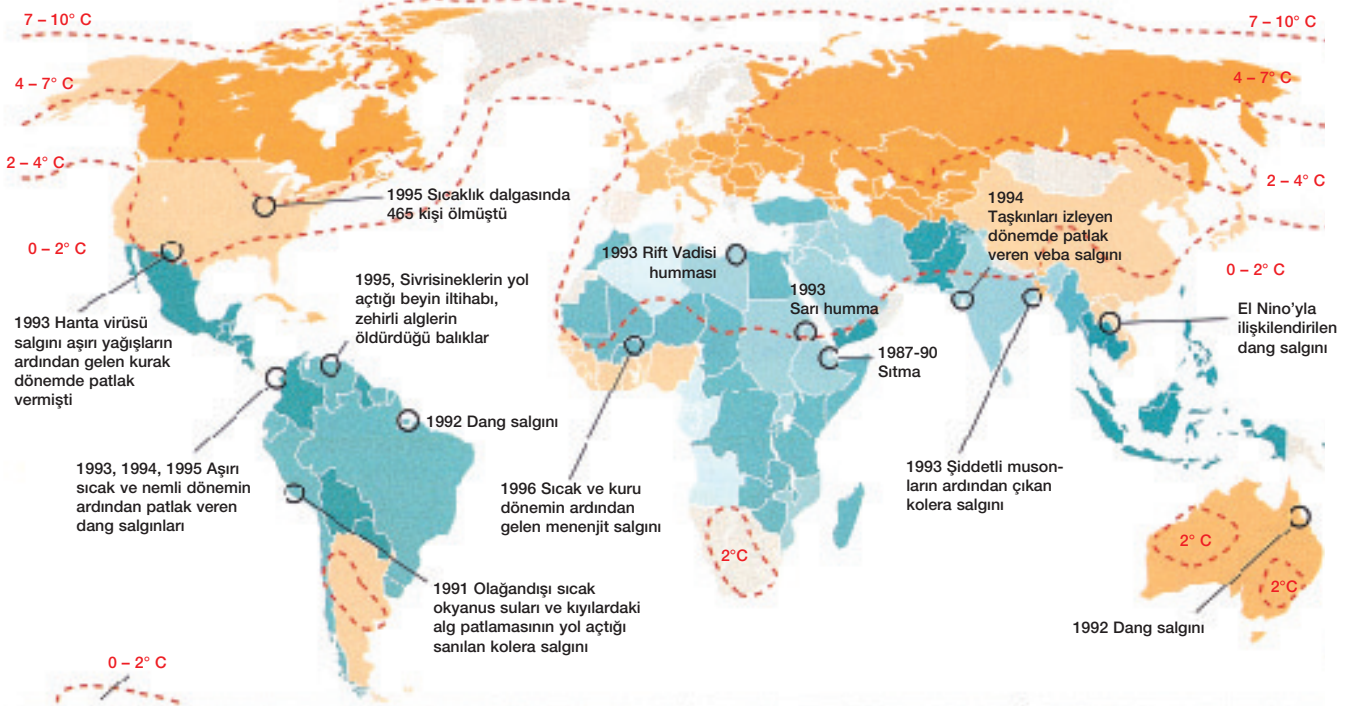


larını yavaş yavaş atmosfere aktaracak. 2050 yılında atmosferdeki karbon dioksit oranının 1850'deki düzeyin iki katına, 2100'de de üç katına çıkması bekleniyor.

Su buharı ve karbon dioksitle birlikte, dünyanın ısınmasına yol açan bir başka gaz da metan. Havadan hafif olan metan, renksiz ve kokusuz bir gaz ve atmosferde, karbon dioksit miktarının iki yüzde birinden daha az bulunuyor. Ama metan moleküllerinin ısı tutma yeteneği, karbon dioksit moleküllerinin 20 katıdır. Atmosferde kalış süresi de 10 yıl kadardır. Bilim adamları yaşadığımız küresel ısınmanın % 10-15'lik bölümünden atmosferdeki metanın sorumlu olduğunu düşünüyorlar. Atmosferdeki metan miktarı tıpkı karbon dioksit miktarı gibi biyolojik süreçlerden etkileniyor. Ölen bitki ve hayvanların anaerobik çözünmesi sırasında topraktaki bakterilerce ortaya çıkartılıyor. Bu nedenle de nemli topraklarda, pirinç tarlalarında, bataklık bölgelerde ve çöplüklerde bolca bulunur. Ayrıca doğal gazın % 50-90'ı metandır. Petrol, doğal gaz ve maden çıkarma çalışmalarında da atmosfere metan karışır. Günümüzde atmosferdeki metan oranı 18. yüzyıldakinin 2,5 katıdır. Yapılan araştırmalar metan miktarının her yıl % 1 oranında arttığını gösteriyor. Küresel ısınma organik madde çözünümünü hızlandırdığı için bilim adamları metan miktarındaki bu artışın daha da hızlanacağını tahmin ediyorlar.

Küresel Isınma

Dünya iklim sistemi çok karmaşık bir bulmaca gibidir. Atmosfer, okyanuslar, okyanus akıntı sistemi, kutup bölgeleri, ormanlar, çöller, buzullar, yarıdağlar, insan etkinlikleri vb. birçok değişkeni vardır. Bunların iklim sistemi üzerindeki tek tek etkileri ve birbirleriyle karşılıklı etkileşimleri hâlâ tam olarak anlaşılacak değil. Hatta bu yönde daha alınması gereken çok uzun bir yol olduğu bile söylenebilir. Bu nedenle hava durumu tahminlerinde, kısırgın rotalarının ve gelecekteki iklim desenlerinin öngörülmesinde iklim bilimcilerin en çok başvurdukları araç, bilgisayar ortamında oluşturulan matematiksel modellerdir. Bu matematiksel modellere yönelik ilk çalışmayı, 1940'lı yılların sonunda dünyaca ünlü



Tarım

Gelecekte, tarım ürünlerinin üretiminde, gelişmekte olan ülkelerin kayıpları, büyük bir olasılıkla gelişmiş ülkelere göre daha fazla olacak. Çünkü onların değişen koşullara uyum sağlaması, gelişmiş ülkelere göre daha zor.

2060 Yılında Tarım Ürünlerinde Gözlenecek Değişim Oranı Tahmini

%10'dan çok düşüş	%2-5 arası artış
%5-10 arası düşüş	%5-10 arası artış
%2-5 arası düşüş	%10'dan çok artış
%2 düşüş ile %2 artış arası	bilinmiyor

Sağlık

Sıcak havalar yüzünden hastalık taşıyan sivrisinekler daha yüksek enlemlere kadar yayılabilecekler. Daha şimdiden birkaç salgın patlak verdi bile.

○ İklim değişimine bağlı salgınlar

Sıcaklık

Önümüzdeki yüzyılda, küresel sıcaklık düzeyindeki ortalama 1-5°C'lik artışın dünyanın değişik bölgelerindeki yansımaları da farklı olacak.

--- Yüzeydeki hava sıcaklığı

Şema, endüstrileşme öncesi CO₂ düzeyinin iki katına çıktığı düşünülecek hazırlanmıştır.

matematikçi John von Neumann'ın başkanlığındaki bir grup bilim adamı başlattı. Bu çalışmalar sayesinde hava durumu tahmini, kişilere bağlı bir sanat olmaktan çıkıp bilimsel bir yapıya kavuştu. Küresel iklim sisteminin modellenmesine yönelik ilk çalışmalar da 1956'da başlatıldı. Gözlem tekniklerinin ve gözlem aygıtlarının gelişimiyle birlikte atmosfer olayları ve dünya iklim sistemine ilişkin toplanan bilgiler sürekli arttı. Bu bilgiler sayesinde matematiksel modeller de her geçen gün daha iyileşti. Meteoroloji uydularının kullanılmaya başlaması, yüksek hızlı ve büyük bellekli bilgisayarların devreye girmesiyle atmosfere ve okyanuslara yönelik gözlemlerin niteliğinde ve gelen verilerin değerlendirilmesinde de bir atılım yaşandı.

Günümüzde, iklimbilimcilerin kullandığı birkaç küresel iklim modeli bulunuyor. Bunlar kimi zaman ayrıntılarda farklı sonuçlara ulaşırsalar da genel öngörülerini aynı oluyor. Örneğin bu modellerin tümü, karbon dioksit oranındaki bir artışın dünyada yavaş yavaş bir ısınmaya yol açacağını söylüyor. Bu ısınmanın gidişi de küresel enerji kullanma hızına bağlı olacak. Yapılan

hesaplar, 1990'da 10 terawatt olan dünya güç tüketiminin, 2020'de 20 terawatt'a ve 2050'de de 30 terawatt'a çıkacağını gösteriyor. Bununla birlikte atmosferdeki karbon dioksit oranının da 2050'li yıllarda ikiye katlanacağı tahmin ediliyor. Bu artışın ne kadarlık bir ısınmaya yol açacağı konusunda da 2050'li yıllarda farklı sonuçlar veriyor. Bazı modeller, sıcaklık artışının 1°C ile sınırlı kalacağını söylerken bazıları da artışın 5°C'ye kadar çıkabileceğini söylüyor. Bir başka deyişle küresel bir ısınmanın olacağından neredeyse herkes emin. Ama bu ısınmanın ne kadar olacağı, ne kadar süreceği ve en önemlisi dünyada ne gibi değişikliklere yol açacağı konusunda kimse net bir şeyler söyleyemiyor. Bir derecelik bir artışın bugünkü toplumsal yapıları ve düzeni pek etkilemeyeceği düşünülüyor. Ancak eğer dünyanın sıcaklığı 5°C artarsa, bu durum yalnızca insanlık için değil tüm canlılar için çok büyük etkileri olacak.

Bu noktada politikacılar devreye giriyor. İlki 1979'da düzenlenen Dünya İklim Konferansı'ndan bu yana, sıcaklık artışının insanlık için bir yıkım olabileceği düşüncesi yavaş yavaş poli-

tikacıların gündemine de girmeye başladı. Ne var ki ani ve büyük sıcaklık artışları ve insan sağlığını tehdit eden ciddi gelişmeler olmadığı için, bu düşüncenin politikada yerleşmesi zaman aldı. Ama bugün gelinen noktada politikacılar da artık geleceğe yönelik kimi önlemler almak istiyorlar. Çünkü günümüzde yalnızca bilim adamlarının ve çevreci örgütlerin değil kamu oyununun da ciddi bir baskısını üzerlerinde duyuyorlar. Ama politikacıların doğru kararlar alabilmesi için "resmi" tam olarak görmeleri gerek. Bir başka deyişle küresel ısınmanın, dünyanın hangi bölgelerini nasıl etkileyeceğini bilmek istiyorlar. Çünkü bu kararlar, toplumsal ve ekonomik yapılarda köklü değişimlere yol açacak ve belki de yüz milyonlarca insanın yaşam biçimini değiştirecek.

Geleceğin Sıcak Dünyası

Küresel ısınmaya karşı alınacak önlemlerin maliyeti yüzlerce milyar dolar olacağından, zamanı gelmeden ya da gereksiz bölgelere yönelik önlem al-

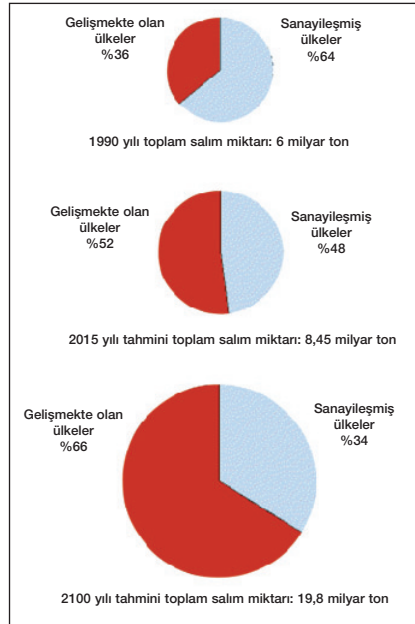
mayı kimse istemiyor. Bunun için de politikacılar, bilim adamlarından olabildiğince doğru öngörüler bekliyorlar. Ne var ki bilim adamları, küresel ısınmanın sonuçlarını tahmin etmekte şu an için güçlük çekiyorlar. İklimbilimciler yaklaşık yüz elli yıl önce ortaya çıkan ve bugünlerde biraz hız kazandığı görülen bu sürecin nedenleri, süresi, olası sonuçları ve yapılması gerekenler konusunda bir görüş birliğine daha varabilmiş değiller. Isınmanın, gezegenin çehresini ve üzerindeki yaşamı köklü biçimde değiştireceğinin farkındalar. Ama onlar için bölgesel olarak öngörülerde bulunmak, şimdilik gerçekten çok zor. Yalnızca genel olarak ne tür değişiklikler olacağını söyleyebiliyorlar.

Bir kere ısınma, dünya yüzeyinde her bölgede aynı ölçüde olmayacak. Sıcaklık artışının, yüksek enlemlerde ve özellikle de kutup bölgelerinde daha şiddetli hissedilmesi bekleniyor. Bu bölgelerdeki sıcaklık artışının dünya ortalamasının iki katı kadar olacağını tahmin ediliyor. Yani dünyanın ortalama sıcaklığı 3,5°C artarsa, kutup bölgelerinde ortalama sıcaklık 7°C kadar artacak. Doğal olarak bu durum Arktik Denizi'yle Antarktika'daki buzların ve dağlardaki buzulların erimesini de beraberinde getirecek. Uzun erimde bu bölgeler belki yine bitki ve ormanlarla kaplanacak. Buzların erimesinin de çok önemli bir etkisi olacak; deniz düzeylerinin yükselmesi. Ancak bu yükselmenin ne kadar olacağı, sıcaklık artışına ve buzların erime miktarına bağlı.

Yapılan hesaplara göre 3-4°C'lik bir sıcaklık artışı, 2050 yılında denizlerin düzeyini en fazla 35 cm kadar yükseltecek. Bu yükselmeye, buzların erimesinin yanı sıra sıcaklık artışı yüzünden okyanuslardaki suların ısıl genişlemesinin de payı olacak. Deniz düzeyinin yükselmesi kıyı şeritlerinin değişmesine ve kıyı ülkelerinin toprak kaybetmesine yol açacak. Örneğin 2100 yılına doğru, deniz düzeyi 60 cm yükseldiğinde, ABD'nin toprak kaybının 25.000 km²'ye ulaşacağı hesaplanıyor. Büyük bir bölümü alçak deltalardan oluşan Bangladeş'te topraklarının %10'unu yitirebilir. Bu durum daha şimdiden başta Bangladeş, Maldiv Adaları, Mozambik, Pakistan ve Endonezya olmak üzere birçok ada halkını ve kıyı ülkeleri endişelendiriyor.

Deniz düzeyinin yükselmesi, kıyılardaki toprak kaybının yanında bir başka önemli sorun daha yaratacak: Kıyılara yakın temiz su kaynaklarının denizle birleşmesi. Temiz su sorunu, 21. yüzyılda, sıcak dünyanın belki de en önemli sorunu olacak. Çünkü artan buharlaşma yüzünden de göl ve ırmak sularında % 20'ye varan bir su kaybı olması bekleniyor.

Sıcaklığın artış oranı orta enlemlerde ve ekvator, kutuplardakinden daha farklı olacak. Örneğin ekvator, bu artışın, dünya ortalamasının çok altında olacağı tahmin ediliyor. Bunun yanında sıcaklık artışı kışları, yazlara göre birkaç derece daha fazla olacak. Benzer bir durum, geceyle gündüz arasında da görülecek. Gece sıcaklarındaki artışın



gündüzkülerden yaklaşık %10 daha fazla olacağı tahmin ediliyor. Bu durumda karalar, geceleri eskisi kadar soğumaya fırsat bulamayacak. Yazla kış, geceyle gündüz arasındaki sıcaklık farkının azalması, bütün dünyadaki rüzgâr desenlerini etkileyecek; belki de fırtınaların sıklığı, şiddeti ve rotaları değişecek.

Küresel ısınma, insan sağlığı açısından yeni durumlar oluşturacak. Temmuz 1995'te ABD'nin Şikago kentinde aşırı sıcaklar yüzünden 465 kişi yaşamını yitirmişti. Sıcaklık artışı nedeniyle bu tür olaylar yüzünden her yıl binlerce kişinin yaşamını yitirmesi bekleniyor. Ayrıca böcek yumurtalarının ölmesini sağlayan gece ve kış soğuklarının hafiflemesi, önemli bir sorun ola-

cak. Bunun basit ve somut örneği, sıtma taşıyan sivrisinekler. Bu sivrisinekler, 17°C'nin altında en fazla 1-2 gün yaşayabilir. Bu durum, onları dünya nüfusunun % 58'nin yaşadığı bölgelerden şimdilik uzak tutuyor. Ama 5°C'lik bir küresel ısınma, onların doğal yaşam alanını genişleterek, dünya nüfusunun % 60'ını o alanın içinde bırakacak. Bu düzeydeki bir küresel ısınmanın, her yıl fazladan bir milyon kişinin sıtmadan ölmesine yol açacağı sanılıyor. Bunun yanında kimi bölgelerde şiddetli kuraklık dönemlerinin ardından gelecek aşırı yağışların virüs mutasyonlarını hızlandırabileceği tahmin ediliyor. Bu nedenle yalnızca sıtmaya değil, bugün kuzey enlemlerinde seyrek rastlanan kimi hastalıklara da daha sık rastlanacak. Ayrıca sıcaklıkla birlikte salgın hastalıklarında artması bekleniyor.

Küresel ısınmanın oluşturacağı çok daha önemli bir başka etkinin de taşıyıcı bant üzerinde olmasından korkuluyor. Küresel ısınma yalnızca hava sıcaklıklarını değil, deniz suyu sıcaklıklarını da arttıracak kuşkusuz. Eğer bu ısınma, taşıyıcı bantın alttan ve üstten giden akıntıları arasındaki sıcaklık farkını azaltırsa ve bu sırada okyanusların daha fazla yağış almasına yol açarak tuzluluk oranını düşürürse, bu dev akıntı sistemi durabilir. Okyanus tortulları üzerinde yapılan araştırmalar, geçmiş dönemlerde taşıyıcı bantın birkaç kez durmuş olduğunu ortaya koyuyor. Eğer böyle bir durum olursa Belfast'ın iklimi, yüzlerce kilometre kuzeydeki Spitsbergen'inki gibi olur. Bir başka deyişle küresel sıcaklık artışının, Kuzey Avrupa'daki sonuçlarından biri, şiddetli bir soğuma olabilir!

Bu ilginç örnekten de anlaşılacağı gibi küresel ısınmanın etkisi, hava sıcaklıklarının dünyanın her yerinde artması biçiminde olmayacak. Gerçekte bu ısınma, çok karmaşık bir yapısı olan dünya iklim sisteminde köklü değişimlere yol açacak; kimi bölgeler (kuzey yarı küredeki kıtaların iç bölgeleri gibi) çok ısınıp kuraklık çekerken kimi bölgeler ılıman bir iklimin, kimileri de aşırı yağışların ve taşkınların etkisinde kalacak. Yağış dönemleri, miktarları ve türleri değişecek. Artan sıcaklık, daha çok buharlaşmaya ve buna bağlı olarak da daha çok bulut oluşmasına yol açacak. Yani 21. yüzyılın or-

taalarında dünyamız daha sıcak, daha nemli ve bol yağışlı olacak.

Böyle bir dünyada tarım üretiminin nasıl olacağı çok karmaşık ama çok da önemli bir konu. Bilim adamları arasında yaygın kanı; sıcaklık ve yeni yağış düzeni nedeniyle, ekilebilecek alanların kuzeye doğru bir miktar genişleyeceği. Yeni iklim desenleri, çiftçilerin bir bölümünü, ettikleri tarım bitkilerini değiştirmeye zorlayacak. Ama atmosferdeki karbon dioksit miktarındaki artışın, genel olarak dünya tarımını olumlu etkilemesi bekleniyor. Japonya'da yapılan bir araştırmada, karbon dioksitin iki katına çıkması durumunda pirinç üretiminin % 25 artacağı ortaya çıktı. Karbon dioksit bitkiler için besin demek. Atmosferdeki karbon dioksit oranının iki katına çıkması -öteki koşulların aynı kalması durumunda- dünyada alınan tarım ürününü % 10 ile % 50 arasında artıracakmış gibi görünüyor. Öte yandan tarım bitkilerinde görülen hastalıklarda da sıcaklıkla birlikte bir artış bekleniyor. Bu yüzden kurak bölgelerdeki çiftçiler hem daha çok sulama yapacaklar hem de daha fazla tarım ilacı kullanacaklar. Bir başka deyişle bu bölgelerde tarımsal etkinliklerin maliyeti artacak.

Küresel ısınmanın bir başka önemli etkisi de iklim kuşaklarının kayması olabilir. Örneğin bilim adamları yağmur kuşağının kuzeye doğru genişlemesini bekliyorlar. Ancak bu genişleme çerçevesinde yağışlar her bölgede de artmayacak; belli bölgelerde yoğunlaşacak. Birçok iklim modeli Güney Avrupa'daki yaz yağmurlarının azalacağını öngörüyor. Amerika, Avrupa ve Asya'nın 55° Kuzey enleminin yukarısında (yılın büyük bir bölümünde sıcaklığın sıfır derecenin altında olduğu bölgeler) kar yağışının artması bekleniyor. Daha güney bölgelerde kar yağışında bir azalmanın ve yağmurlarda da bir artışın olacağı, karın toprakta kalma süresinin azalacağı tahmin ediliyor. Şiddetli yağmurların daha sık yağması ve daha çok su bırakması bekleniyor.

Son çalışmalar, ısınan bir dünyada iklimsel aşırılıkların da yaygınlaşacağını, yani kuraklık, orman ve çayır yangını, taşkın ve sıcaklık dalgası gibi olaylarda bir patlama yaşanacağını gösteriyor. Doğal olarak tüm bunlar, hayvan ve bitkilerin doğal yaşam alanlarında değişikliklere yol açacak. Birçok hay-



Küresel ısınma yalnızca sıcaklık artışına yol açmayacak; yağış düzenleri de değişecek. Kimi bölgeler aşırı miktarlarda yağış alırken kimi bölgelerde de kuraklık yaşanacak.

van türünün beslenme düzeni sarsılacak, yaşam alanları daralacak ve büyük göçler yaşanabilecek. Yeni koşullara uyum sağlayamayan çok sayıda bitki, böcek ve kuş türü ortadan kalkacak.

Önlemler

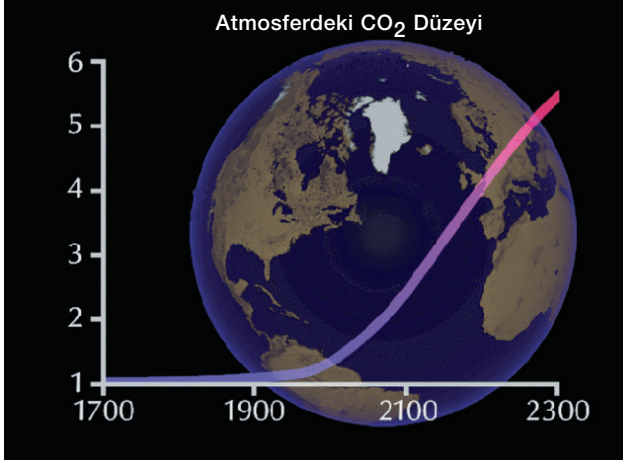
Sera gazlarının üretimi bugün dursa bile, atmosferdekiler yüzünden sıcaklık artışının daha 20-30 yıl sürmesi bekleniyor. Ama zaten böyle bir olayın gerçekleşeceği yok. Tersine, her geçen gün ülkelerin atmosfere saldırdığı sera gazı miktarı artıyor. Bu alanda başta



Çin olmak üzere gelişmekte olan ülkeler yakın bir gelecekte gelişmiş ülkeleri geçecekler. Bu durumda da iklimbilimcilerin öngörülerinin gerçekleşeceğini düşünebiliriz. Peki dünya iklim düzenindeki değişikliklerin toplumlar üzerindeki etkisi nasıl olacak?

Bu soruya, ülkeleri tek tek ele alarak yanıt vermek olanaksız. Bilim adamları bu soru karşısında yine çok genel açıklamalar yapmakla yetinmiyorlar. Öncelikle küresel ısınma dünyadaki tüm ülkeler için bir felaket olmayacak. Yeni durumun mutlu edeceği kimi ülkeler de olacak kuşkusuz. Günümüzde dünyanın genelinde olmasa bile birçok bölgesinde iklim koşulları çetindir. Daha ılıman kışlar ve daha bol yağış, bu bölgelerde yaşayanların yüzünü güldürecekler. Öte yandan kuraklığın ya da aşırı yağmurlar yüzünden taşkınların arttığı ülkeler üzülecektir. Sıcaklığın artacağı soğuk ülkelerde ısınma harcamaları düşecektir. Değişen fırtına ve kasırga rotaları nedeniyle kasırgalardan kurtulan ülkeler sevinirken aynı nedenle kasırgaların etki alanına giren ülkeler mutsuz olacaklar. Günümüzde birçok ülke su sıkıntısı çekiyor. Su sıkıntısı çekerken, genişleyen yağmur kuşağına giren ülkeler sevinecek ama yeni düzende giderek kuraklaşan bölgelerdeki ülkeler üzülecektir.

Bütün bunlara ek olarak küresel ısınmayı durdurmak için alınacak önlemler de kimi ülkeleri zor durumda bırakacak. Dünyada sera gazlarının salımına bir sınırlama getirilmesi planla-



Küresel ısınmanın durdurulabilmesi için tüm ülkelerin atmosfere saldıkları CO₂ miktarında çok ciddi bir azalma olması gerekiyor. Ne var ki ne sanayileşmiş ülkeler ne de gelişmekte olanlar bu yönde her hangi bir önlem almıyorlar. Karbon dioksit düzeyi de azalmak şöyle dursun sürekli olarak yükseliyor; bu hızla giderse 2100'de 1850'deki düzeyinin 3 katına çıkması bekleniyor.

nıyor. Bu durum fosil yakıtlarla elektrik üretiminin yerini zamanla biraz daha pahalı olan alternatif enerji kaynaklarının almasına yol açacak. Enerji harcamalarının artması da gelişmekte olan ülkelerin gelişimini yavaşlatacak. Ayrıca yer altında büyük karbon rezervleri (kömür, petrol, doğal gaz vb.) bulunan ülkeler de artık o kaynaklarından eski gibi yararlanamayacak.

Dünya ikliminin önümüzdeki yüz yıllık dönemde yeniden dengeye kavuşabilmesi için atmosferdeki karbon dioksitin, okyanusların ve ormanların emebileceği bir düzeye indirilmesi gerekiyor. Bu da yılda en fazla 1-2 milyar tonluk bir salımla sağlanabilir; yani bugünkü miktarın yalnızca % 20'siyle!

Atmosferdeki sera gazlarının miktarının kontrol edilmesine yönelik uluslararası çalışmalar yaklaşık 15 yıldır sürdürülüyor. Bu amaçla düzenlenen ilk uluslararası konferans 1988'de yapıldı. Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler'in ortaklaşa düzenlediği ve kısaca IPCC diye anılan, küresel ısınma konulu konferansa, iki bin dolayında bilim adamı, uzman ve çevreci katıldı. Konferansın sonuçlarını değerlendiren 140 ülke, bir anlaşma imzaladı. Bu anlaşmaya göre taraf ülkeler, 2000 yılına gelindiğinde sera gazı üretimlerini 1990 yılı düzeyine geri çekmiş olacaklardı. Ancak herhangi bir yaptırım olmayan anlaşmaya kimse uymadı.

Daha sonra 1992'de Rio de Janeiro'da ve 1995'te Berlin'de aynı amaçla birer toplantı daha yapıldı. Berlin'de, iklim değişikliğinin doğal ekolojik sistemler, sosyo-ekonomik yapılar ve insan sağlığı açısından olası etkileri değerlendirildi. Ama bu sırada katılımcı ülkelerin daha önceden alınan kararlar uyarınca sera gazı üretimlerini

azaltmaları şöyle dursun, neredeyse tüm ülkelerdeki üretimin % 5 ile % 40 arasında artmış olduğu görüldü. Tabii ki bu sırada küresel sıcaklık, artışını sürdürüyordu. Bu nedenle Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto kentinde büyük bir konferans daha düzenlenmesi kararlaştırıldı.

Kyoto'daki konferansa 160 ülkeden on bin dolayında bilim adamı, uzman, çevreci ve hükümet yetkilisi katıldı. Konferansta iklim değişikliğinin çevresel ve ekonomik sonuçları ve bunlara yönelik politikalar görüşüldü; enerjinin daha verimli kullanılması, yeni ve temiz enerji kaynaklarının araştırılması, ormanların korunması ve yeni orman alanlarının oluşturulması kararlaştırıldı. Ama konferansın en önemli olayı *Kyoto Protokolü* diye anılan bir anlaşmanın imzalanmasıydı. Buna göre gelişmiş ülkeler, başta karbon dioksit ve metan olmak üzere altı sera gazı üretimlerini 2012 yılına değin 1990 düzeylerinin en az % 5 altına çekecekler. Tek başına dünya sera gazı üretiminin neredeyse dörtte birini yapan ABD için bu oran % 8; Japonya için de % 6.

Öte yandan gelişmekte olan ülkeler herhangi bir kısıtlamaya gitmiyorlar. Çünkü onlara göre küresel ısınma sorunu, günümüzün gelişmiş ülkelerinin yol açtığı bir sorun. Bu saptamalarında haklılar. Ne ki yakın bir gelecekte durum biraz değişecek.

Kyoto'da çok yerinde kararlar alındı ama bakalım taraf ülkeler bu kararlara uyacaklar mı? Anlaşmanın yürürlüğe girebilmesi için en az 55 ülke parlamentosunca onaylanması gerekiyor. Mayıs 2000 tarihine değin yalnızca 22 ülke bunu başarabildi. Yani protokol yürürlüğe daha giremedi. Aslında durum, görüldüğü gibi gelecek için çok da

umut vaat etmiyor. Tahminlere göre, 2015'te insan etkinlikleri yüzünden atmosfere karışan karbon dioksit miktarı 1990'daki miktarın % 50 fazlası olacak; 2100 yılındaysa üç katına çıkacak.

Bugün gelişmekte olan ülkelerdeki kimi fabrika kentleri, 1950'li yıllardaki Pittsburgh'u ya da Essen'i anımsatıyor. Karbon dioksit salımı en hızlı artan ülke Güney Kore. Brezilya, Çin ve Hindistan da bu alanda onunla yarışıyorlar. 1990'da atmosfere bırakılan yaklaşık 6 milyar ton karbon dioksitin % 36'sı gelişmekte olan ülkelerin bacalarından çıktı. Aynı ülkeler 2015 yılında salınan 8,5 milyar tonluk karbon dioksitin %52'sinden sorumlu olacaklar.

Sera gazlarını salanlar gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkeler olsun hiç fark etmiyor. Sonuç olarak atmosferimizdeki ısı tutan gazların miktarı her geçen gün artıyor. Bu da aslında soğuması beklenen dünyamızın ısınmasına yol açıyor. Küresel ısınmanın ciddi sonuçları kendini daha göstermedi. Öyle görünüyor ki Sovyetler Birliği'nin eski lideri Gorbaçov'un sözleri galiba gerçek olacak; "Önümüzdeki yüzyılda çevre koşulları dünya çapında yıkımlara yol açtıkça, askeri değil ama ekolojik güvenlik tüm ulusların en çok önem verdiği konu olacak".

Çağlar Sunay

Kaynaklar
Dünyanın Durumu, Lester R. Brown, TÜBİTAK, 1996
 Death by Global Warming? Climate Change, Pollution and Malnutrition, Segelken, R., *Cornell University News Service*, Şubat 2000
 MIT Study Assesses Effects of Kyoto Protocol, Strits, J., *MIT*, Ekim 1999
 The Kyoto Protocol: Greenhouse Gas Emissions Depend On Future of China, Galbraith, M., *Rensselaer Polytechnic Institute*, Mart 1998
 Unlocking The Climate Puzzle, *National Geographic*, Mayıs 1998
 Climate's Hidden Engine, Gould, J., *UNESCO Courier*, Temmuz-Ağustos 1998
 Past and Future, Keith, A., Oldfield, F., *Global Change Newsletter*, Aralık 1997
 The Coming Climate, Karl, R. T., Nicholls, N., Gregory, J., *Scientific American*, Mayıs 1997
 Warning From The Ice, Linden, E., *Time*, 14 Nisan 1997
 Antarctic Melt-down?, Livermore, B., *Popular Science*, Şubat 1997
 Dirty Work Ahead, Emerson, T., *Newsweek*, 8 Aralık 1997
 How to Beat the Heat, Begley, S., *Newsweek*, 8 Aralık 1997
 Global Climate Change: The 1995 Report by Intergovernmental Panel On Climate Change, Thompson, R. S., <http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic>
 A Second Look at the Impacts of Climate Change, Ausubel, J. H., *American Scientist*, Mayıs-Haziran 1991
 Under The Sun, Matthews, S. W., *National Geographic*, Ekim 1990
 The Great Climate Debate, White, R. M., *Scientific American*, Temmuz 1990
 Global Climatic Change, Houghton, R. A., Woodwell, G. M., *Scientific American*, Nisan 1989
 The Changing Climate, Schneider, S. H., *Scientific American*, Eylül 1989
 Modelling the Geochemical Carbon Cycle, Berner, R. A., Lasaga, A. C., *Scientific American*, Mart 1989
 How Climate Evolved on the Terrestrial Planets, Kasting, J. F., Pollack, J. B., *Scientific American*, Şubat 1988
 What's Happening to Our Climate?, Matthews, S. W., *National Geographic*, Kasım 1976
 Carbon Dioxide Chemistry and Properties, <http://www.ieagreen.org.uk/doc2b.htm>
 The Conveyor Belt - A Key Global Phenomenon? Taylor, G. H., <http://ocs.orst.edu/reports/conveyor.html>
<http://cool.policy.net/proactive/newsroom/release.vtml?id=17301>
 Clouds and Global Warming, <http://asf-www.larc.nasa.gov/fire/importance.html>
<http://www.worldbook.com/fun/wbla/earth/html/ed23.htm>
<http://www.environweb.org/edf/shipping/index.html>