

FAZLA KARBONU NEREYE SAKLASAK?

Yüzyıllardır bizi omuzlarında taşıyan doğa ana isyan ediyor. Başboş doğaya bıraktığımız kirli atıklarımızı artık o bile temizleyemiyor. Bu atıklar arasında başımızı en çok ağrıtan karbondioksit gazı. Bu gazdan kurtulmak için bazı bilim adamları alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışırken, bazıları da "acaba karbonu doğanın hangi parçasına saklayabiliriz" düşüncesiyle araştırmalarına devam ediyorlar... Ormanlar bizimle işbirliği yaparlar mı? Peki ya okyanuslar? İşte tüm dünyanın üzerinde yoğunlaştığı sorular...

"İklim üzerinde herkes konuşur ama kimse bu konuda bir şey yapmaz"
Mark Twain

Karbondioksit gazı olmasaydı yaşam da olmazdı. Atmosferin yalnız % 0,03 ünü oluşturan bu gaz birinci besin kaynağımız olan bitkilerin güneş enerjisiyle ve suyla birlikte ana menüsünü oluşturur. Fotosentez diye tanımladığımız bu olayın yanı sıra karbondioksit, diğer bazı gazlarla birlikte bir çeşit tampon görevi üstlenerek yerküremizin gündüzleri aşırı derecede ısınmasını ve geceleri aşırı derecede soğumasını önler. Bu kadar faydalı bir gazın son yıllarda dünya gündeminin en üst basamaklarına oturmasının nedeniyse, özellikle fosil yakıtlar başta olmak üzere

insan etkisiyle atmosferdeki oranının tehlikeli boyutlara ulaşmasıdır. 1870 yılında atmosferdeki konsantrasyonu 270 ppm (milyonda 270) olan CO₂ günümüzde 350 ppm'e ulaşmış bulunuyor ve 2050 yılında da 450 ppm'e çıkması bekleniyor. CO₂ Endüstri devriminin başlamasından bu yana her yıl % 4.3 oranında artıyor.

Karbon Döngüsü

Şekilde görüldüğü gibi karbon döngüsü kara, hava ve su olmak üzere 3 ana depo (sink) ve aralarındaki çeşitli bağlantılardan oluşur. Bitkiler fotosentez yoluyla karbondioksiti atmosferden alıp organik bileşiklere dönüştürürler. Bitkiler atmosferle yılda 120 milyar ton karbon alışverişinde

bulunurlar. Okyanuslarda ise bu rakam 107 milyar tondur. Karbon, "solunum" diye adlandırılan süreç, fosil yakıtların yanması ve yanardağ patlamalarıyla yerkürenin derinliklerindeki kayalardan atmosfere geçer. Bunun büyük bir kısmı okyanuslarda çözülür. Karbon döngüsü ayrıca kara, atmosfer ve bitki ekosistemleri aracılığıyla da gerçekleşir. Ancak her ekosistemde bu karbonun tutulma süresi farklıdır. Tropikal ormanlarda yapraklar karbonu çok hızlı depolarlar, bu nedenle karbonun çoğu orman tabanında birikmez. Bataklıklar ve diğer oksijensiz ortamlardaysa organik bileşikler tam olarak ayrışmaz. Bu nedenle karbon yavaş yavaş bataklık kömürü ya da turbalarda birikir.

Sudaki besin zincirinde karbon, organizma kabuklarıyla birleşir. Kabuklu organizmalar öldüklerinde dibe çökerler. Derinlere çöken karbon, tektonik hareketlerle yüzeye taşınana kadar milyonlarca yıl orada gömülü kalabilir ve yavaş yavaş fosil yakıtı olarak kullandığımız gaz, petrol ve kömür depolarına dönüşür.

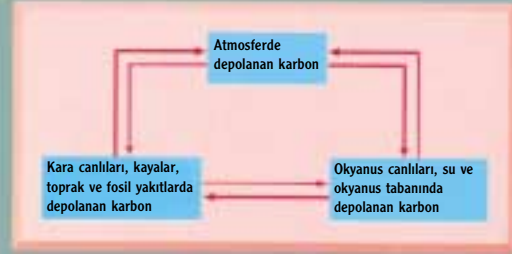
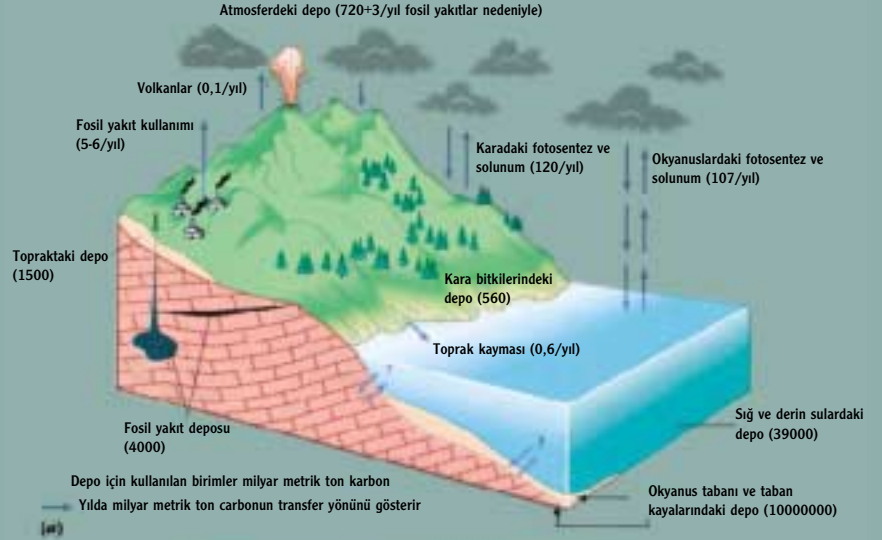
Yakılan fosil yakıtları da dahil insan etkinlikleri, atmosfere okyanusların emiş kapasitesinin ya da öteki karbon tutucu doğal depoların alabileceğinden daha fazla karbon salıyor. Bu da sera gazı etkisinin artmasına ve sonuçta küresel ısınmaya neden oluyor.

Karbon Deposu Ormanlar

Atmosferdeki CO₂ miktarını daha iyi belirleyebilmek için yapılan modele göre karbonun büyük bir kısmı Kuzey Amerika ve Kuzey Avrasya'da orta-entlemedeki ormanlar tarafından depolanıyor. Ancak incelemeler, fosil yakıt yoluyla atmosfere atılan karbonun ancak yüzde %25'inin ormanlar tarafından emildiğini gösteriyor.

Orman ekosisteminde ağaçlar dışında bakılacak yerlerden biri de, alanda değerli sayılmayan ve orman envanterine girmeyen tabanda biriken organik maddeler. Bu organik maddeler odun artıkları, dökülen yapraklar, toprak, ve doğal yangınların baskısı sonucu açıklık alanlarda büyümeye başlayan diğer odunsu bitkiler. Yapılan bir araştırmada Stephen W. Pacala ve ekibinin bulgularına göre ABD ormanlarında karbonun %75'i bu organik maddelerde. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda bu yolla depolanan karbon yılda 300 - 700 milyon ton.

Jiangxi Y. Fang ve ekibi tarafından hazırlanan bir rapora göre, Çin'deki ormanlar oldukça önemli miktarda CO₂ depoluyor. 1970'lerin sonlarından beri yeniden ormanlaştırma ve yeni orman alanları kurma, bozulan ekosistemleri, sel ve depremi kontrol etmek, su kaynaklarını korumak ve odun üretmek Çin'de devlet politikası olarak kabul edilmiş. Bu politika Çin'de ormanların hızla azalışını tersine çevirmiş durumda. Varolan ormanların %20'si organik maddelerden oluşuyor ve bu ormanlar, açığa çıkan karbonun %80'nini tutuyorlar.



Pacala, Fang ve ekiplerinin hazırladıkları raporlar, atmosferik CO₂'nin neden beklendiğinden daha yavaş biriktiğini anlamaya yardımcı oluyor. Bunlar aynı zamanda ormanların faydalarının yalnızca bilindik geleneksel ihtiyaçlarımızı karşılamakla sınırlı olmadığını, aynı zamanda yaşamamız için gerekli olan atmosferdeki CO₂ miktarının aşırı yükselmesinin de ormanlarca engellendiğini ortaya koyuyor. Karbon depolanması üzerine yapılan bu yeni çalışmalar orman ekosistemlerinin CO₂ döngüsündeki yerinin daha iyi anlaşılmasını ve küresel bilincin oluşmasını sağladı.

Ormanlar elbette atmosferde CO₂ birikimini kendi başlarına durduramaz; en fazla sorunu erteleyebilir.

Ormanlar Çözüm Değil...

Ormanlar ve karbon depoları üzerine yapılan çalışmalar bunlarla kalmıyor. Bunların yanı sıra daha fazla karbonu depolayabilmek için seçilmesi gereken ağaç türlerinin neler olması gerektiği de araştırılıyor. Duke üniversitesinden biyolog Shannon LaDeau ve James Clark'ın yürüttüğü çalışma, 3 yıllık çamların (*Pinus taeda*) 2050 yılında olması beklenen CO₂ seviyesinde, bugü-

ne oranla iki kat daha fazla olgunlaştıklarını ve 3 kat daha fazla kozalak ve tohum verdiklerini gösteriyor.

Henüz sadece bir varsayım olmasına karşın yapılan yeni çalışmalar, CO₂'nin ağaçların verimliliğini etkileyebileceğini söylüyor. Beş yıl önce North Carolina Piedmont ormanında başlatılan deneyin amacı, yüksek CO₂ seviyesinin ağaçlar ve ekosistem üzerindeki etkisini görmektir. Proje şimdi den daha önceki küçük çaplı deneylerde çıkan sonuçları yani yüksek CO₂ seviyesinin, fotosentez ve büyümeyi hızlandırdığını doğruladı. Bu araştırma CO₂'nin orman ağaçlarında üreme için gerekli olgunlaşma süresini hızlandırdığını gösterdi. Çıkan bu sonuçlar, ilginçlerin bu tür çalışmalar üzerinde yoğunlaşmasını sağladı.

Yukarıda belirttiğimiz gibi CO₂ sadece sera gazı değil aynı zamanda bitkilerin besini olduğundan, bazı araştırmacılar gelecekte hızlı büyüyen ağaçların atmosferde artan CO₂'yi emip depolayacaklarını, daha başka önlemler alınmasına gerek kalmayacağını ileri sürüyorlar. Ancak bazı araştırmacılar bu çözüme toz pembe gözlüklerle bakılmaması gerektiğini söylüyorlar ve tam tersine bunun ekosistem yapılarında olumsuz etkilere neden olabileceği

Bazı Alternatif Temiz Enerji Kaynakları

Bazı bilim adamları artık alternatif temiz enerji kaynaklarına yönelmesi konusunda tüm dünyayı uyarıyorlar. Fosil yakıtlarına alternatif olabilecek ve uygulanmaya başlanmış olan doğa dostu enerji kaynaklarımız var. Bunlardan aktif olarak kullanılmaya başlananların ya da kullanıma hazır olarak bekleyenlerin bazıları şunlar:

Rüzgar Enerjisi:

Rüzgar enerjisinin kullanımı ilk kez Romalılar ve Bizanslılar döneminde başladı. Günümüzdeyse Almanya bu konuda birinci durumda. Almanya'yı ikinci sırada ABD izliyor. 750 kilowattlık bir rüzgar santralinin sağlayacağı bir yıllık enerji, kömürle çalışan bir termik santral tarafından üretildiğinde, atmosfere 1179 ton CO₂ ve 6,9 ton SO₂ ve 4,3 ton NOx salınır. Bol olması, güvenli olması, tükenmemesi ve yerli olması rüzgar enerjisini önemli bir konuma getiriyor.

Rüzgar enerjisi bakımından Türkiye oldukça şanslı. Ülkemizin rüzgar alan bölgelerinde rüzgar enerjisi santrallerinin pervaneleri yavaş yavaş dönmeye başladı. Şu anda Türkiye'de rüzgar enerjisi üreten 3 santral var. Bu santrallerden ikisi İzmir Alaçatı'da, biri Bozcaada'da. Alaçatı'daki santralde 8,8 megawattta kadar enerji üretiliyor. Bozcaada'daki ise 10,2 megawatt enerji üretebiliyor.

1995 yılında dünyanın kurulu rüzgar enerjisi üretim kapasitesi 4,843 megawatt düzeyindeydi. Bu kapasitenin 2003 yılı sonuna kadar 33,400 megavata, 2020 yılı sonunda 1,2 milyon megavata ulaşacağı tahmin ediliyor. Bu kurulu güçle üretilebilecek elektrik enerjisi dünya elektrik üretiminin %10,85'ini karşılayabilecek. 2040 yılında dünya elektrik talebinin %20'den fazlasının karşılanmasında rüzgar enerjisinin kullanılacağı ileri sürülüyor.

Güneş Enerjisi:

Diğer bir tükenmez enerji kaynağımızsa Güneş. Dünya için sonsuz bir enerji kaynağı olan Güneş'ten, bir yılda Dünya'ya aktarılan enerji, mevcut kömür enerjisinin 150 katından fazla. Bu temiz ve tükenmez enerji kaynağından olabildiğince yararlanma düşüncesi, son yıllarda ülkemizin de bulunduğu 45 derece kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan ve Güneş Kuşağı denilen ülkeler başta olmak üzere, tüm dünyada ilgi çekiyor. Ancak taşıdığı tüm potansiyele karşın Güneş enerjisi henüz deney aşamasında ve ticari kullanımdan en az şimdilik uzak görünüyor.

Güneş toplacıları: Evlerde, işyerlerinde, endüstride sıcak su üretiminde kullanılan bu sistemler, Güneş enerjisini toplayan düzlem toplacılar, sıcak suların toplandığı depolar ve ara bağlantılardan oluşuyor. Üretimi, montajı, işletilmesi basit ve ucuz olan bu sistemler, tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Türkiye'de de özellikle Akdeniz sahillerinde kullanılıyor.

Termal Güneş santralleri: Termal güneş santralleri Güneş enerjisinden elektrik üreten



sistemler. Dünyanın en büyük güneş enerjisi güç istasyonu İsrail'de. İsrail'de tüketilen toplam enerjinin %3'ü güneş enerjisinden sağlanıyor. Bu tür santrallerin kurulabilmesi için o yerin, yılda ortalama en az 2000 saat güneşlenmesi gerekiyor. Türkiye'nin 36-42 kuzey enlemleri arasında bulunması ve Güneş enerjisinden yararlanma açısından en elverişsiz konumda bulunan Karadeniz Bölgesi'nde bile yıllık güneşlenme süresinin 1966 saat olması ve bu değerün Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Güneş enerjisinden yararlanılmasının ne kadar uygun olduğunu açıkça ortaya koyuyor. Sorun, yukarıda da değinildiği gibi ekonomik ölçekte ve fiyatta üretimin henüz gerçekleşmemesi.

Güneş pilleri: Daha çok küçük çaplı enerji gereksinimlerini karşılamak üzere hazırlanan bu sistemlerle ilgili araştırmalar sürüyor. Özellikle güneş pilleriyle çalışan taşıtlarla ilgili araştırmalar oldukça yoğunluk kazanmış durumda.

Hidrojen enerjisi-yakıt pili:

Yıllardır NASA'da uzay araçlarına güç sağlamak için hidrojen yakıt pili teknolojisi kullanılıyor. Bu sistemde, oksijenin yanma olmadan metanol ve hidrojenle reaksiyona girmesi sağlanıyor. Bu hidrojen yakıt pilinin yan ürünleri yalnızca su ve ısı.

Yakıt pilleri yalnızca elektrik üretimi için değil aynı zamanda otomobillerimizi ve diğer taşıtlarımızı çalıştırmak için de alternatif bir çözüm. Mercedes-Benz ve Toyota önümüzdeki 10 yıl içinde hidrojen yakıt pilleriyle çalışan araçlar üretmeyi planlıyorlar. Yaygın kullanımı engelle-yense, gene teknolojinin olgunlaşmamış olması ve üretimin yanı sıra dağıtım için de aşılması gereken önemli ve logistik sorunlar.

Füzyon enerjisi:

Füzyon enerjisi çevreyi kirliletmeyen, temiz, yakıtı hidrojenin izotopları döteryum ve trityum gibi bol ve kolay bulunan elementler olan bir enerji. Atık ürünüyse yararlı helyum gazı. Döteryum denizde bol miktarda bulunan bir madde. Trityum ise radyoaktif bir madde olan lit-yumdan elde ediliyor. Enerji uzmanları enerji krizinin füzyon reaktörlerinin kullanılmasıyla atlatılabileceğini düşünüyorlar. Üzerinde çalışılan alternatif füzyon reaktörleri arasında en güvenilir, umut verici olan ve sorunları çözülmüş olanı tokamak. Bu tür bir deneme reaktörüyle 15 yıl içinde 500 MW gücünde füzyon enerjisi üretilmesi bekleniyor.

uyarısında bulunuyorlar. Üstelik, bu deneyler ekolog James Teeri'ye göre seralarda yapıldığı için, doğal ortamlarda varılacak sonuçları yansıtmayabilirler. Bu sorunu ortadan kaldırmak için bitkiler polivinil klorid silindirlerle çevrili açık havadaki odacıklarda ve fazladan CO₂'yle besleniyorlar. Ancak burada da yalnızca bir düzine küçük fidan tutulabiliyor. Yeni kurulan bir deney sistemiyle bu sorun da nihayet çözümlenebiliyor. Duke Üniversitesi'nde geliştirilen deney sisteminde, olgunlaşmış tüm ağaçların CO₂'ye karşı verdikleri tepkiler ölçülebiliyor. Bu sistemde, dikilen borular belirlenen 30 metre çapındaki 6 parselde çam ağaçlarının tepelerine kadar uzanıyor ve bu borulardan CO₂ salınımı yapılıyor. Alandaki çamlar, çevrede doğal olarak varolan CO₂'yle büyüyor. Öteki alandaki çamlarsa 2050 yılında olması beklenen 560 ppm CO₂'yle büyütülüyor. CO₂ yoğunlukları dışında ortamdaki tüm koşullar her iki alan için de aynı. Projenin yürütücülerinden William Schlesinger'a göre deneyde elde edilen en önemli sonuç, yüksek yoğunluktaki CO₂ altında büyüyen ağaçların ilk 3 yıl boyunca bu yıllık CO₂ yoğunluğunda büyüyen ağaçlara göre %25 daha fazla büyümesi. Ancak 1997-1999 süresinde görülen yüksek CO₂'li alanla, normal alan arasında büyüme farkı 2000 yılında görülmedi. Bu farkın nitrojen ve diğer besinlerin eksikliğinden kaynaklandığı düşünülüyor. Kasım ayında elde edilecek sonuçlarla, yüksek CO₂ miktarının ağaçlar üzerindeki etkisinin daha iyi belirleneceği düşünülüyor.

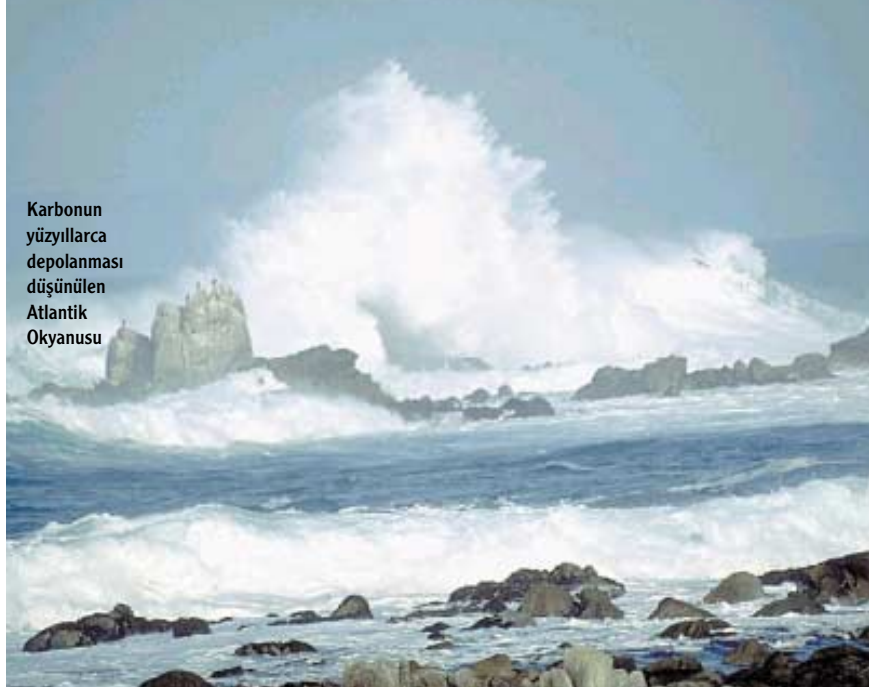
Yüksek CO₂'nin çam ağaçları üzerindeki etkisi, ağaçların büyümesinden öte daha da dramatik bir hal aldı. Küçük boylarda erken üreme olgunlaşma-

sı ve %300 daha fazla kozalak ve tohum üretimi görüldü. Üstelik kontrol alanındaki aynı boy ağaçların daha fazla tohum üretmeleri de karbon akımının büyük bir kısmının üreme için kullanıldığını gösterdi. Bununla birlikte, erken üreme ağaçların erken olgunlaşır erken ölmelerine neden olabilir. Bu da, depoladıkları karbonun yeniden açığa çıkmasına neden olur. Bunun yanında bazı bilim adamlarını ve çevrecileri endişelendiren konuda biyoçeşitliliğin azalma tehlikesiyle karşı karşıya kalması. Bilim adamları, çam gibi çabuk büyüyen ağaç türlerinin yüksek CO₂ miktarına yavaş büyüyen ağaçlardan daha hızlı tepki verdiklerini gösteren bir varsayım geliştirdiler. Eğer bu varsayım doğruysa, ormanların yapısında olumsuz değişiklikler meydana gelebileceği düşünülüyor. Erken olgunlaşan çamlar, yavaş büyüyen meşe ve ceviz ağaçlarına meydan okuyorlar. Değişen orman kompozisyonu, aynı zamanda o ekosistemde yaşayan hayvanları da etkiliyor. Bazı canlıları avantajlı hale getirirken diğer tohum yiyen kuşlar ve memelilere zorluk çıkarıyorlar. Harvard Üniversitesi'nden biyolog Fakhri Bazzaz'a göre, hazırlanan taklit modeller 150 yıl sonraki yüksek CO₂ miktarının tür çeşitliliğini azaltacağını gösteriyor. Ayrıca henüz yayınlanmamış 170 çalışmanın sonuçları da çam gibi çabuk büyüyen ve çok ürün veren ağaçların CO₂'den daha fazla yararlandıklarını ve diğer türlerin önüne geçtiklerini gösteriyor. Ağaç kompozisyonundaki bu değişikliklerin tüm ekosistem üzerinde sarsıcı etkileri olacaktır. Tozlaşmayı sağlayan bazı böceklerin ve kuşların aşırı besinden sayıları çok artarken, diğerlerininse besinsizlikten sayıları azalacak. Bu da besin zincirini takip eden diğer canlı türlerinin yine sayı ve dağılımlarında değişimler olmasına neden olacak.

Yine de sonuçlar üzerinde kesin konuşmalar yapılamıyor, çünkü şimdiye kadar yapılan çalışmaların hepsi insan eliyle ağaçlandırılmış alanlarda yapılmış, hiçbirisi doğal ormanlarda değil.

Bu çalışmalardan anlaşılabilen gibi, her ne kadar ormanlar karbon depolamada önemli bir rol oynasa da bunun küresel ısınmayı önleyebilmesi mümkün görünmüyor. Bunun yerine tartışılan yeni bir yöntem okyanusların karbon deposu olarak kullanılması.

Karbon
yüzyıllarca
depolanması
düşünülen
Atlantik
Okyanusu



Ya Okyanuslar...

Son yıllarda aşırı CO₂ miktarını atmosferden çekme üzerine ortaya atılan ilginç yöntemlerden biri de okyanusların bir çeşit karbon deposu olarak kullanılması.

Bergen'da Nansen Çevre ve Uzaktan Algılama Merkezi'nden Helge Drange ve ekibi, CO₂'yi Norveç denizinde 800 metre derinliğe bırakmayı planlıyorlar. Düşünce, CO₂'yi atık gazlardan alıp, sıvılaştırdıktan sonra küçük damlacıklar halinde derin sulara gömmek. Bunun üzerine geliştirilen bir model, bu gazın baloncuklar halinde tekrar suyun yüzeyine çıkmadan çözülebileceğini gösteriyor. Bu modele göre, daha ağır ve gaz yüklü olan su tabana çökecek ve Atlantik Okyanusu'na sürüklenerek yüzyıllarca yüzeye çıkamayacak.

CO₂'yi bu yolla denize gömmenin ton başına 39 dolara mal olacağı tahmin ediliyor.

Kaş Yaparken Göz Çıkarmayalım

Araştırmacılar atılacak böyle bir adımın küresel ısınmayı en azından bir süre için yavaşlatabileceğini düşünüyorlar. Ancak çevreciler, havayı temizlemek için okyanusları kirletmenin yeni bir sorun yaratmaktan başka bir şey olmayacağını söylüyorlar; üstelik uzun dönemdeki etkilerinin ne olacağı da bilinmiyor. Bilim adamları, CO₂'yle yüklü sudaki asitlik derecesinin okyanuslardaki doğal yaşamı olumsuz etkileyeceğini ve deniz yataklarının da tehlike altına gireceğini düşünüyorlar. Oluşan iklim değişikliğiyle okyanus akıntılarının değişebileceğini ve CO₂'nin bekle-

nenden daha kısa bir zamanda tekrar yüzeye çıkabileceğini de ekliyorlar.

Yukarıda önerilen projenin bir benzeri eyalet hükümetinin sponsorluğunda Hawaii adalarında uygulanmaya çalışıldı. Beş yıl sürmesi ve 5 milyon dolara mal olması planlanan bu proje, balıkların ve balina gözlemcilerinin, projenin çevreye vereceği zarara itirazları sonucu durduruldu. Üstelik, Green Peace için çalışan, Exeter Üniversitesi'nden Paul Johnston CO₂'yi sıvılaştırıp deniz tabanına pompalamak için kullanılacak enerjinin %40 daha fazla gazı açığa çıkaracağını söylüyor.

Görüldüğü gibi, küresel ısınmanın olumsuz etkilerini azaltmak için çeşitli çözüm önerileri getiriliyor. Bu yöntemlerin hiç birinin yüzde yüz başarılı olmayacağını araştırma sonuçları gösteriyor. Bir çok sorunda olduğu gibi küresel ısınmada da izlenecek yolun temelinde kişisel gereksinimlerimizin doğaya daha az zarar veren boyutlara indirilmesi yatıyor. Bu konuda atılması gereken ilk adım, enerji bağımlılığımızı asgari boyutlara indirmek ve olabildiğince alternatif enerji kaynaklarına yönelmek. Görüldüğü gibi Mark Twain'in iklim için kimsenin bir şeyler yapmadığı sözü artık geçerli değil. Ama bu çabaların ne kadar başarılı olacağını ancak zaman gösterecek.

B a n u B i n b a ş a r a n

Kaynaklar

- DHKD, Doğadaki Ayak İzlerimiz, 2000
Daniel B.B., Edward A.K., Environmental Science, 1995
Starr C., Taggart R., Biology, 1995
Wofsy S.C., Where Has All the Carbon Gone?, Science, 22 Haziran 2001
Jones N., Carbon Sunk, New Scientist, 30 Haziran 2001
Ladeau S.L., Clark J.S., Rising CO₂ Levels and the Fecundity of Forest Trees, Science, 6 Nisan 2001
Tangley L., High CO₂ Levels May Give Fast-Growing Trees an Edge, Science, 6 Nisan 2001
<http://www.sierraclup.org>