



Küresel “Soğutma”

Küresel iklim değişikliğinin etkileri her geçen gün daha fazla hissediliyor. Buzulların tahmin edilenden daha hızlı erimekte ve denizlerin şimdiye kadar kaydedilen en yüksek hızda yükselmekte olduğuna dair haberler sık sık gündeme geliyor. Bitkiler daha erken çiçek açıyor, su kaynakları ve habitatlar tehlike altında, göçmen kuşların göç düzenleri bozuluyor. Küresel ısınmanın tahminlerin üzerindeki hızı ve dünyadaki yaşam üzerinde oluşturduğu tehdit, pek çok bilim insanını bir zamanlar uçuk fikirler olarak kabul edilen bazı müdahaleci yaklaşımlara ılımlı bakmaya yönlendiriyor.

Günümüzde iklim uzmanlarının çoğu, karbondioksit başta olmak üzere artan sera gazı salımlarının küresel ölçekte sıcaklık artışına sebep olduğu konusunda hemfikir. Sera gazı salımları önemli ölçüde düşürülmediği takdirde oluşacak iklim değişiminin kabul edilemez düzeyde olacağı öngörülüyor. Bilim insanlarının küresel ısınmanın hızı ve olası sonuçlarıyla ilgili sürekli uyarılarına rağmen iklim değişimini durdurmaya ya da yavaşlatmaya yönelik dünya çapındaki girişimler şimdiye kadar büyük ölçüde başarısız oldu. BM İklim Değişimi Çerçeve Sözleşmesi'nin imzalandığı 1992'den bu yana fosil yakıt kaynaklı karbondioksit salımları % 30'dan fazla arttı. Geçen yıl İtalya'daki G8 zirvesinde verilen taahhütlerden sonra bile ortalama küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmak için gerekli karbondioksit salımı kısıtlamalarının gerçekleştirilebilmesi olası görünmüyor. Hatta bu kritik eşiğin 2050'ye varmadan aşılmış olacağı ve ortalama küresel sıcaklıkta 4°C ila 6°C'lik bir artış olacağı yönünde yaygın bir kanı var. Bu ölçüde bir artışın hem insan yaşamı hem de doğal ekosistemler üzerinde çok ciddi ve geri dönüşü olmayan olumsuz etkiler yaratacağı şüphesiz.

Karbondioksit salımlarını azaltma yönündeki yavaş ilerleme ve küresel ısınmanın daha da hızlanarak yıkıcı sonuçlar doğurması ihtimali, hem karar vericileri hem de bilim insanlarını küresel ısınmaya karşı olası acil durum stratejilerini gözden geçirmeye itiyor. Bu stratejiler, insan kaynaklı iklim değişimini bertaraf etmek için gezegen üzerinde yapılan büyük çaplı müdahaleleri ifade eden "jeomühendislik" yaklaşımını içeriyor. Jeomühendislik fikrinin geçmişi aslında oldukça eskilere uzanıyor. 1830'larda ABD'deki ilk resmi meteoroloji uzmanı James Esby, oluşan ısının yağmur fırtınalarını tetikleyeceğini düşünerek her hafta bir miktar orman alanının yakılmasını önermiş. Yaklaşık yüz yıl sonra ABD'den ve Sovyetler Birliği'nden araştırmacılar birbirlerinden bağımsız olarak, bitki yetiştirilebilecek zaman aralığını genişletmek ve gemilerin kutuplara geçiş yollarını açmak gibi amaçlarla iklim değişimi oluşturma planları yapmış. 1974 yılında Sovyet araştırmacı Mikhail Budyko atmosferin üst katmanlarına, orada mikroskobik parçacıklar oluşturarak güneş ışığını engelleyecek gazlar püskürtülmesi fikrini ortaya atmış.

"Küresel Soğutma" Yöntemleri

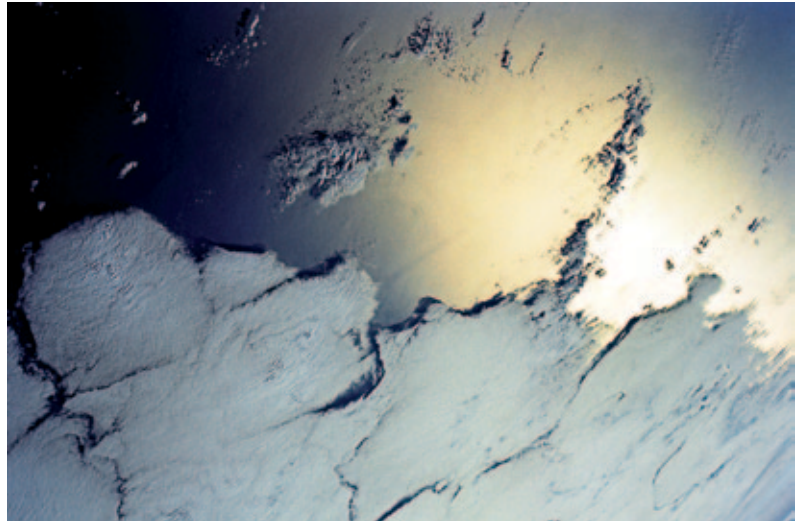
Küresel ısınmaya karşı öne sürülen jeomühendislik çözümü önerileri henüz tasarı düzeyinde. Daha önce bu tür stratejiler hem dikkate alınmayacak kadar uç fikirler sayıldıkları hem de risk içerdikleri için

bu konulardaki araştırma desteklerine öncelik verilmemiş. Ancak bugün gelinen noktada geçmişte bu yaklaşıma şüpheyle yaklaşan pek çok bilim insanı bu konuda en azından araştırma faaliyetlerinin desteklenmesi gerektiğini düşünüyor.

Küresel ısınmaya çare olarak öne sürülen çok sayıda fikir varsa da en çok üzerinde durulan jeomühendislik yaklaşımları şunlar:

- Karbondioksiti atmosferden uzaklaştırmayı amaçlayan teknikler
- Güneş ışınlarının bir kısmını yansıtarak uzaya geri göndermeye yönelik teknikler

Güneş ışınlarını büyük oranda yansıtan stratokümlülüs bulutları okyanusların % 30'undan fazlasını kaplıyor.



Havadan Karbondioksit Çekmek

Karbondioksiti atmosferden uzaklaştırmaya yönelik çeşitli tasarılar var. Bunlardan biri Columbia Üniversitesi'nden Klaus Lackner'ın "yapay ağaç"ları. Prototip aşamasında olan bu sistemde, atmosferden karbondioksiti geri dönüşümlü olarak bağlayan bir madde kullanılıyor. Yani kimyasal maddeyle tepkimeye girerek atmosferden ayrılan karbondioksit, daha sonra uygun şartlar oluşturulduğunda tekrar serbest hale geçebiliyor. Tabii burada asıl mesele havadan alınan bu karbondioksitle ne yapılacağı. Lackner havadan çekilen karbondioksitin, kuru buz üretimi ya da karbondioksitle yapılan yeni nesil plastik ya da beton malzemelerin üretimi gibi, endüstriyel alanda kullanılabileceğini söylüyor; ancak daha çok bu karbondioksitin gözenekli kayalara enjekte edilerek kalıcı olarak ya da bir süreliğine yeraltında depolanmasından yana. Bu yöntemle atmosferden çekilen gazların saklanması için görünürde bir sınır olmadığı, ancak böyle bir sistemin çok yüksek maliyet ve enerji gerektirebileceği ve sıcaklıkları ancak uzun vadede düşürebileceği düşünülüyor.



Yanardağ patlaması sonucu milyonlarca ton kükürtdioksit gazı atmosfere salınıyor.

Bu stratejiye yönelik bir başka tasarıysa okyanuslarda çeşitli bölgelerin, fotosentezle havadan karbondioksit alan alglerin çoğalmasını tetiklemek üzere "gübrelenmesi"ni içeriyor. Okyanuslardaki pek çok bölgede alglerin çoğalmasını sınırlayan etmen, besin olarak demirin azlığı. Gemilerle bu besinin okyanusa bırakılmasının alg çoğalmasında patlama oluşturduğu gözlenmiş. Algler öldüğünde onlardan arta kalan bir kısım madde okyanusun dibine çöküyor ve böylece bünyelerindeki karbonun bir kısmı sabitlenmiş ve havadan uzaklaşmış oluyor. Ancak bu yolla havadan çekilen karbonun ne kadarının kalıcı olarak sabitlenebildiği ve bu yöntemin deniz ekosistemleri üzerindeki olası etkileri tartışmalı.

Bu yöntemler küresel ısınmanın kaynağı olan karbondioksit gazını doğrudan hedef aldığı için, artan karbondioksit oranının diğer olumsuz etkilerini, örneğin okyanus asitliliğinin artması gibi sorunları bertaraf etmeye de katkı sağlayabileceği düşünülüyor.

Güneş Işıklarını Geri Göndermek

Yeryüzü, güneş ışınlarının dünya yüzeyi ve atmosfer tarafından soğurulması sonucu ısınıyor. Daha az güneş ışını soğurulup bir kısmı da geri yansıtılabilirse dünyanın daha az ısınacağı prensibinden yola çıkılarak pek çok yöntem kurgulanmış. Bunlardan biri bulutların yansıtma özelliğini hedef alıyor. Stratokümlüs bulutları okyanusların % 30'un-

dan fazlasını kaplıyor ve bünyelerinde barındırdıkları su damlacığı miktarına bağlı olarak değişen, yüksek düzeyde yansıtma özelliğine sahip. Fizik kurallarına göre bir bulutta daha fazla sayıda su damlacığı bulunması bulutun beyazlığını ve dolayısıyla da yansıtma özelliğini artıracak, böylece daha fazla güneş ışığı uzaya geri yansıtacaktır. Bu prensibe dayanılarak havaya küçük su damlacıklarının püskürtüleceği bir sistem kurgulanmış. Sistem aslında dalga kırılmasından kaynaklanan doğal bir süreçle aynı prensibe dayanıyor. Ancak bu yöntemin karadaki sıcaklıklar ve yağışlar üzerindeki olası etkilerinin bilinmemesi riskli görülüyor.

Yine güneş ışınlarını yansıtmayı hedefleyen ve diğerlerine göre daha az gerçekçi bulunabilecek bir yöntem, uzayda Güneş ile Dünya arasına dev aynalar yerleştirmesini öngörüyor. Çok büyük boyutlu düzeneklerin uzaya gönderilmesinin uygulama açısından zor olacağı düşünülerek önerilen alternatif bir çözüm ise çok sayıda (örneğin trilyonlarca) küçük diskin aynı amaçla uzaya gönderilmesi. Bristol Üniversitesi'nden Dr. Dan Lunt, dünyaya ulaşan güneş ışığı miktarı büyük bir yansıtıcı ile azaltılırsa neler olacağı konusunda öngörülebilir bulunabilmek için bir bilgisayar modeli kullanarak simülasyonlar yapmış ve dünyaya ulaşan güneş ışınlarındaki % 4,2'lik bir azalmanın küresel ısınmayı durduracağı yönünde sonuçlar elde etmiş. Ancak daha ayrıntılı incelemeler dünyanın farklı yerlerinde farklı etkiler oluşa-

bileceğini (örneğin kutuplarda ısınma ve tropik bölgelerde soğuma); gölge yoğunluğunun % 75'e düşürülmesinin ise bu anormal farklılıkları kabul edilebilir düzeylere indirebileceğini göstermiş. Yine de bu yöntem çok masraflı olacağı ve kısa süre içinde uygulanması zor görüldüğü için öncelikli olarak değerlendirilmiyor.

Güneş ışınlarını yansıtma stratejilerinden biri de doğal bir olaydan, yanardağ patlamasından esinlenerek ortaya atılmış. Yanardağ patlaması sonucu milyonlarca ton kükürtdioksit gazı atmosfere salınıyor. Kükürtdioksit suyla tepkimeye girerek sülfürik asit damlacıkları oluşturuyor. Bu damlacıklar güneş ışınlarını geri yansıtma etkisi oluyor. Kükürtdioksit gazı stratosferi diğer aerosoller (örn. toz, kül, duman, denizden havaya karışan tuz parçacıkları vs.) gibi ısıtmadığı için soğutma etkisini azaltmamış oluyor. 1991'de Pinatuboda patlayan yanardağ atmosfere yaklaşık 20 milyon ton kükürtdioksit gazı saldı ve sonuçta takip eden 1-2 yıl boyunca küresel iklimde yaklaşık 0,5°C'lik bir soğumaya sebep oldu. Atmosferdeki ozonun kimyasıyla ilgili çalışmalarından dolayı Nobel Ödülü alan Paul Crutzen bu etkinin iklim değişimiyle mücadelede kullanılabileceği fikrini ortaya attı. Sülfat aerosollerinin bu amaçla kullanılmasının diğer yöntemlere göre daha az masraflı olacağı öngörülüyor. Eğer bu yöntem uygulanır ve herhangi bir sebeple uygulama durdurulursa etkinin 2-3 yıl içinde kaybolabileceği hesaplanıyor. Ancak stratosferdeki sülfat aerosollerinin artmasının ozon parçalanmasına ve daha fazla asit yağmuruna sebep olacağı da biliniyor. En olumsuz etkininse yağış düzeylerinin azalması yönünde olacağı düşünülüyor ve bu etkinin ne düzeyde olacağına ilişkin çok sayıda tartışma dönüyor.

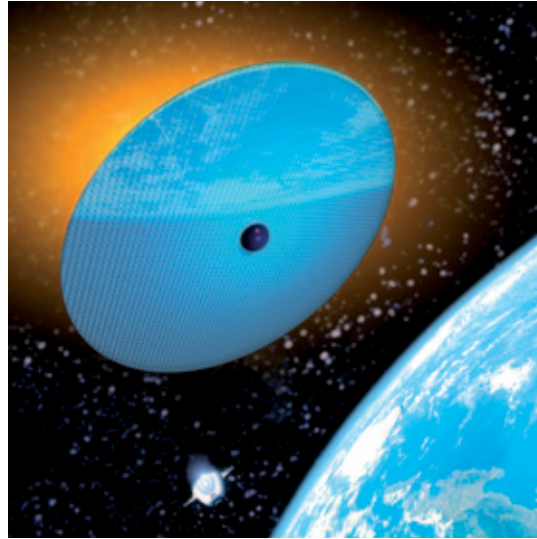
Jeomühendisliğin Geleceği

Jeomühendislik yaklaşımları dünya çapında uygulamalar öngörüyor. Bu da bütün bir dünya ekosisteminin ve küresel iklim sisteminin karmaşıklığıyla karşı karşıya olduğumuz anlamına geliyor. Küresel düzeydeki herhangi bir müdahale yerel düzeyde farklı sonuçlar doğurabilir ve bu sonuçların öngörülmesi çok zor olabilir. Bu yüzden de jeomühendislik yöntemlerinin uygulanabilirliğini araştıran araştırmacıların yanı sıra olası risklerini değerlendirmeye çalışanlar da var.

Bu araştırmacıların öngördüğü en önemli risklerden biri, jeomühendislik yaklaşımlarının küresel karbondioksit salımını azaltma politikalarına zarar vermesi. Araştırmacılar ayrıca uygulamayla il-

gili olarak atmosferin içeriğiyle oynamanın bölgesel yağış rejimleri üzerinde yol açabileceği öngörülemez etkiler, karbondioksit salımının düşürülmemesi durumunda artacak okyanus asitlenmesi, bir uygulamanın aniden durdurulması durumunda yaşanabilecek ani sıcaklık artışları, geri dönüşü olmayabilecek küresel ya da bölgesel değişimler, güneş ışığının azaltılması durumunda yaşanacak güneş enerjisi kaybı, söz konusu teknolojilerin silah olarak kullanılması ihtimali gibi pek çok riski gündeme getiriyor.

Jeomühendislik yaklaşımlarına yönelik tutumlar farklı bilimsel ve politik çevrelerde çeşitlilik gösteriyor. Ancak bu konulardaki araştırmaların teşvik edilmesini ve desteklenmesini savunan ve alanında söz sahibi bilim insanları, bu yaklaşımın ancak birer acil durum tedbiri ya da uzun vadeli "karbonsuzlaşma" amaçlarımızı gerçekleştirmek için bize zaman kazandıracak yöntemler olarak görülmesi ve karbondioksit salımlarını azaltma politikalarının istikrarlı biçimde sürdürülmesi gerektiği yönünde hemen hemen görüş birliği içinde.



Dünyaya ulaşan güneş ışını miktarını azaltmak için kurgulanan yöntemlerden birisi de uzayda Güneş ile Dünya arasına dev aynalar yerleştirmek.

Hangi iklim senaryoları doğru çıkar ve gelecek ne gösterir bilemiyoruz. Ancak dâhiyane mühendislik çözümleri bir yana, her dünya vatandaşının karbonsuzlaşma hareketlerine daha fazla katılması gelecek kuşaklara daha yaşanabilir bir gezegen bırakmamızın şartı gibi görünüyor.

Kaynaklar

"Geo-Engineering Research", *Postnote, Parliament Office of Science and Technology*, Number 327, Mart 2009.
Bullis, K., "The Geoengineering Gambit", *Technology Review*, Ocak/Şubat 2010.
"Geoengineering the climate", *The Royal Society, RS Policy document 10/09*, Eylül 2009.
Robock, A., "20 reasons why geoengineering may be a bad idea", *Bulletin of the Atomic Scientists*, Sayı 64, Mayıs/Haziran 2008.

"Geo-engineering- giving us time to act?" *Institution of Mechanical Engineers, Report*, Eylül 2009.
"Geoengineering: Challenges and global impacts", *Institute of Physics, Royal Society of Chemistry, Royal Academy of Engineering, Seminer Raporu*, Ekim 2009.