

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

YENİDEN YAPILAN GEZEĞEN

JEOMÜHENDİSLİK DÜNYAYI NASIL DEĞİŞTİREBİLİR?

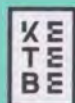


KETEBE
BİLİM



Türkçesi: *Ali Seberci*

OLIVER
MORTON



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

ISBN: 978-625-6495-05-0

© 2018 Ketebe Kitap ve Dergi Yayıncılığı A.Ş.

ketebe.com

Ketebe Yayınları: 957

Bilim



Yayın Yönetmeni

Furkan Çalışkan

Dizi Editörü

Murat k. Murat

Yayıma Hazırlayan

Seçil Alten

Düzeltili

Ayşenur Önler

Kapak

Harun Tan

Mizanpaj

Özkan Kaya

1. BASKI

Temmuz 2023
İstanbul

Ketebe Yayınları

Sertifika No: 49619

Maltepe Mahallesi Fetih

Caddesi No: 6 Dk: 2

Topkapı 34010 İstanbul

Tel: 212 612 29 30

e-mail: ketebe@ketebe.com

Baskı ve Cilt

Sertifika No: 47939

My Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti.

Maltepe Mah. Yılanlı Ayazma Sk.

No: 8/F Zeytinburnu / İstanbul

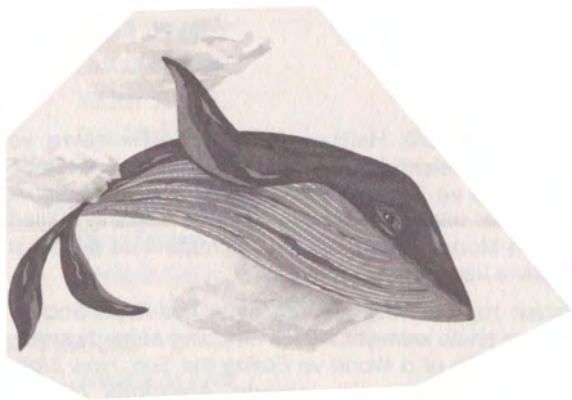
Tel: 0212 674 85 28

Copyright © 2015, Abq72 Ltd

© Özgün adı *The Planet Remade: How Geoengineering Could Change the World* olan bu kitabın Türkiye hakkı The Wylie Agency aracılığıyla Ketebe Kitap ve Dergi Yayıncılığı A.Ş.'ye aittir. İzinsiz yayımlanamaz. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

YENİDEN YAPILAN GEZEĞEN

JEOMÜHENDİSLİK DÜNYAYI NASIL DEĞİŞTİREBİLİR?



OLIVER MORTON

Türkçesi: *Ali Sebetci*



Oliver Morton

İngiliz bilim yazarı ve editörü. Halihazırda *Economist*'in çevre ve yeşil konulu brifing makalelerinden sorumlu editörüdür. Öncesinde ise *Nature*'ın başeditörü ve *Wired*'in genel yayın yönetmeni olarak görev yapmıştır. Bilimsel bilgi, teknolojik değişim ve bunların etkileri üzerinde yoğunlaşan Morton, enerji sektörü, iklimbilimi ve politikası ve diğer yeşil ve çevre konularında uzmandır.

2016 yılında *Yeniden Yapılan Gezegen* adlı kitabı The Royal Society Bilim Kitabı Ödülü için finale kalmıştır. Ayrıca *Mapping Mars: Science, Imagination, and the Birth of a World* ve *Eating the Sun: How Light Powers the Planet* kitaplarının da yazarıdır. Aralarında *Nature*, *Independent*, *National Geographic*, *New Yorker*, *Newsweek*, *Prospect* ve *Wired*'in da bulunduğu pek çok yayın için yazılar kaleme almıştır. Asteroit 10716 Olivermorton, onun adını taşımaktadır.

Ali Sebetci

1994'te Boğaziçi Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'nden mezun oldu. Fizik alanında yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla 1999 ve 2004 yıllarında Boğaziçi ve Orta Doğu Teknik üniversitelerinden aldı. Uluslararası endekslerce taranan makale ve bildirilerine bugüne kadar beş yüzün üzerinde atıf almıştır. Halihazırda OSTİM Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde öğretim üyesidir.

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ: İKİ SORU	9
İklimsel Riskler ve Sorumluluklar	14
İkinci Fosil Yakıt Yüzyılı	17
Yerküre Sistemini Değiştirmek	33
Tasarlanan Gezegenler, Tahayyül Edilen Dünyalar	38

I. ENERJİLER

1. DÜNYANIN TEPESİ	47
Stratosferin Keşfi	50
Nükleer Serpinti	55
Ozon Tabakası	60
Perde Yapanlar	66
2. HAVA ADINDA BİR GEZEĞEN	69
Dünya Şelalesi	75
Trenberth Şeması ve İklimbilimi	78
Buhar Makineleri ve Dünya Uzay Gemisi	84
3. PİNATUBO	97
Volkanlar ve İklim	100
Tahminler ve Sürprizler	107
4. ÖĞLE VAKTİNDE ALACAKARANLIK	115
Kötü Büyü	123
Prometeyen Bilim	128
5. FARKLI DÜŞÜNMEYE BAŞLAMAK	141
Marslılar ve Ahlaki Muadilleri	147
Dünden Önceki Gün	153
Karbondiyoksit Politikasının Doğuşu	157
6. OYUNUN ORTASINDA KURALLARI DEĞİŞTİRMEK	167
B Planından Nefes Alma Alanına	175
Sınırları Geniştletmek	185

II. MADDELER

7. AZOT	197
Nüfus Bombasının Yapılışı	206
Nüfus Bombasının Etkisiz Hale Getirilmesi	213
Sabitlenmiş Olmaktan Çok Uzak	219
Bir Jeomühendis Nasıl Fark Edilir?	225
8. KARBONUN DÜNÜ VE BUGÜNÜ	233
Antroposen	243
Yeşillenen Gezegen	254
9. KARBONUN BUGÜNÜ VE YARINI	269
Okyanus Anemisi	278
Başkasının Bahçesini Geliştirmek	285
10. KÜKÜRT VE ISLAK AYNALAR	295
Küresel Soğuma	301
Bulut Gemileri	311
Kırk Yamalı Parlak Gezegen	316
Gök Gürültüsünün Söylemediği	326

III. İHTİMALLER

11. DÜNYANIN SONU	333
Kontrol ve Felaket	340
Kıyamet ve İnkâr	345
Titanların Gelenekleri	352
İki Klığın Hikayesi	362
Böyle Bir Bilgiden Sonra	368
12. TASARLANAN GEZEĞEN	375
Konser	378
Küçük Etkiler ve Kötü Sonuçları	391
Ve Sabaha Kadar Devam	402
Sonsöz	409
Teşekkür	413
Kaynaklar, Notlar ve Başvurular	417
Bibliyografya	429

Milenyum Kuşığımdan

*Joe Morton,
Dominic Harrison,
Eva Herle Schaffer
ve Jack Bacon için*

GİRİŞ: İKİ SORU

*Gidelim öyleyse, sen ve ben
Akşam göğe karşı serilmiş yatarken
Eterlenmiş bir hasta gibi masada*
T. S. Eliot “J. Alfred Prufrock’un Aşk Şarkısı”, 1915

2012 yılının Mart ayında, Calgary Üniversitesi’nin karlı kampüsündeki geniş pencereli bir konferans salonunda iki basit soru duymuştum. Bu soruları soran adam, iklim değişikliği konusunda harekete geçme zamanı geldiğinde, insanların nerede durması gerektiğine dair net bir anlayış sunarak dinleyicilerinin o günü en istifadeli şekilde geçirmesi için uğraşıyordu. Bu nedenle onlara şu soruları yöneltti:

İklim değişikliğinden kaynaklanan tehlikeler sizce bu riskleri azaltmaya yönelik ciddi tedbirler almayı gerektiriyor mu?

Endüstriyel bir ekonomide karbondioksit emisyonunu neredeyse sıfıra indirmenin çok zor olduğunu düşünüyor musunuz?

Her ne kadar iklim değişikliği konusu bundan daha fazlasını içerse de bu kitabı yazmamın başlıca nedeni, iklim değişikliğinden kaynaklanan çeşitli problemlerdir. O sabah Princeton Üniversitesi fizikçilerinden Robert Socolow'un sorduğu bu iki soru, bana, bu konuda durduğunuz noktayı belirlemek adına oldukça iyi bir yöntem gibi geliyor. Öyleyse, dilerse­niz bu sorulara hangi cevaplar verildiğini görmek için birkaç dakikanızı ayırın. Kitap sizsiz pek bir yere varmıyor, bu yüzden içeriye dalmadan önce bu sorulara yanıt verirseniz daha iyi bir okuma yapacağınızı düşünüyorum.

Kitabın içeriğini kısaca şöyle özetlemek mümkün: Dünya'nın sıcaklığına etki eden en önemli faktörlerden bir tanesi şüphesiz atmosferdeki sera etkisidir. Karbondioksidin bir sera gazı olduğu veya insanların son birkaç yüzyıldır fosil yakıtları yakarak atmosferdeki karbondioksit oranını artırdığı da açık bir gerçektir. 1750'de yani sanayi devriminden önce, atmosferdeki karbondioksit seviyesi, bir milyonda 280 parçacıktı. 1950'de yani yirminci yüzyılın ikinci yarısında büyük küresel patlama başladığında, bir milyonda yaklaşık 310 parçacık oldu. Günümüzde ise bir milyonda 400 parçacıktır. Bu değişimin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu verilerin herhangi birine inanmıyorsanız, aldatılıyorsunuz demektir. Bu kitapta sizi söz konusu yanılgıdan uyandırmaya çalışmayacağım. Haliyle kitabı, söylediklerimin boşa çıkacağını umarak okumaya devam etmeniz gerekiyor.

Ancak, önümüzdeki on yıllar ve yüzyıllar boyunca gezegenimizin tanıklık edeceği iklim değişikliğinin şiddeti konusunda şüpheler mevcut. En güvenilir tahmin, fosil yakıt kullanımının bugünkü eğilimle devam etmesi halinde, Dünya'nın, büyük olasılıkla, sanayi devriminden önceki sıcaklığından en az iki santigrat derece ve belki de daha fazla sıcak olacağını öngörmektedir. Bir yüzyıl boyunca meydana gelen bir ya da iki derecelik bir değişim çok az bir miktar olarak değerlendirilebilir ancak insanlık tarihinde daha önce böy-

le bir duruma rastlanmamıştır. Fosil yakıt kullanımının sınırlandırılmaması durumunda giderek şiddetlenecek iklim değişikliğine dair modeller, on yıllardan yüzyıllara uzanan bir zaman dilimi içinde tarımsal üretimin azalması, ekstrem hava koşullarının görülmesi, biyolojik çeşitliliğin yok olması ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi çeşitli ağır ve yıkıcı sonuçlara işaret etmektedir.

Bununla birlikte, farklı modeller her karbondioksit seviyesi için farklı olası iklimler öngörmektedir –çünkü söz konusu modelleri geliştiren veya kullananların tabiriyle modellerin bazıları sera gazlarına diğerlerinden daha duyarlıdır– ve iklim değişikliğiyle ilgili uyarıların çoğunlukla dayandırıldığı modellerin bazı nedenlerle gerçekçi olmayan yüksek bir duyarlılığa sahip olması mümkündür. Ayrıca insanın ve doğal yaşamın değişen iklimlere, iklim değişikliğinden endişe eden çoğu kişinin zannettiğinin aksine daha kolay, daha ucuza ve daha az acı çekerek uyum sağlaması da mümkündür. Dolayısıyla tartışmasız karbondioksit bir sera gazı olmasına ve her gün atmosfere yenilerinin eklenmesine rağmen insan faktöründen kaynaklanan iklim değişikliğinin nihayetinde gezegeni değiştirecek kadar büyük bir olay olmaması da ihtimal dahilindedir.

Yine de sorun, iyi sonuçların gerçekleşme olasılığıyla ilgili değildir. Kötü sonuçlara hatta felaketlere götürebilecek riskler hakkında bir şeyler yapma isteğimizle ilgilidir. Böyle adımlar atmak için bir felaketin gerçekleşeceğinden emin olmamız gerekmez.

Şimdi ikinci soruyla alakalı bazı konulara dönelim. Hükümetler için bu tür istatistikler derleyen Uluslararası Enerji Ajansı, sanayileşmiş ülkelerin karbondioksit emisyonlarını azaltmayı taahhüt ettiği 1997 Kyoto İklim Değişikliği Konferansı'nın gerçekleştiği yıllarda, dünyanın enerji talebinin yüzde 80'inin fosil yakıtlardan karşılandığını bildirmişti.

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılan enerjinin sadece yüzde 13'ünü karşılıyordu. Bunun yüzde 10'u başka seçenekleri olmayan bir milyardan fazla insanın ocak ve sobalarda yaktığı odunlar da dahil biyolojik kütleden oluşuyordu. Rüzgar, güneş ve su gücünün oranı ise sadece yüzde 3'tü.

İklim konusunda Kyoto sonrası on beş yıllık siyasi eylem planından sonra, 2012 yılında, rüzgar, güneş ve su dünyanın enerji ihtiyacının hâlâ yüzde 3'ünü karşılarken fosil yakıtların oranı yüzde 81 oldu. 2013 yılındaki endüstriyel karbondioksit emisyonları Kyoto zamanındakinin bir buçuk katından fazlaydı. Bu durumda bu iki soruya vereceğiniz cevap ne olur?

Ben ikisine de evet diye cevap veriyorum. Evet, iklim değişikliğinin neden olduğu tehlikeler, geniş çaplı eylemler gerektirecek kadar ciddidir. Ve evet, fosil yakıt ekonomisinden neredeyse hiç fosil yakıt kullanılmayan bir ekonomiye geçmek çok zor olacaktır.

Ne söylediklerine ve hangi politikaları desteklediklerine bakarak karar verecek olursak, iklim değişikliği konusunda eylemden yana olan çoğu insanın evet/hayır kampında olduğunu görürüz. Bunlar risklere göre hareket etmek ister ama fosil yakıtlardan kurtulmanın ne kadar büyük bir sorun olduğunu görmezler. İlerlemek için önerdikleri yol, emisyonların azaltılmasını her zamankinden daha güçlü bir şekilde talep etmektir. Emisyon sahiplerinin kazanılmış haklarını üstlenmeye hazır siyasi bir irade olması durumunda bunun kolaylıkla başarılabileceğine inanırlar.

İklim konusunda harekete geçmeye karşı olanların çoğu hayır/evet kampındadır. İklim meselesinin o kadar da endişe verici olmadığını fakat fosil yakıtlardan kurtulmanın zor hatta imkansız olduğunu düşünürler. Bu grubun önde gelenleri, emisyonlarla ilgili eylem planlarının zeminini oluşturan bilim ve politikalarda gördükleri zayıflıklara ve yenilenebilir enerji sistemlerinin dezavantajlarına odaklanma eğilimi gösterir.

Benim gibi evet/evet kampındaki insanlar için ise bu yaklaşımların hiçbirisi işe yaramaz. Evet/evet kampındakilerin daha farklı cevaplara ihtiyacı vardır: fosil yakıt kullanımında pratik olmayan hızlı kesintiler yapmadan iklim değişikliği risklerini azaltmaya yarayacak cevaplara ya da toplumun bu tür kesintileri mümkün kılacak kadar köklü bir değişimini sağlayacak cevaplara. Bence bilinçli iklim değişikliği –iklim jeomühendisliği– birinci sıradaki türden bir cevap sağlayabilir. Bu kitabı, bu fikrin vadettiklerini ve beraberinde getirdiği tehlikeleri özetlemek, öncüllerini ve sonuçlarını değerlendirmek için yazdım.

Fakat kitapta yapmak istediğim tek şey bu değil. Kitap sadece dünyanın değiştirilebilmesi için belirli bir dizi yolu ele almıyor, aynı zamanda, yeterince açık konuşulmayan birçok şekilde zaten değiştirilmiş bir dünyadan da bahsediyor. Bu dünya, beşeri etkinin önceki zamanlara oranla çok daha büyük olduğu bir dünyadır: Geçmiş nesillerin mirası ile yeni nesillerin arzularının buluştuğu, kasırga ve yanardağların etkilerini gölgede bırakan küresel ekonominin doğal bir güç haline geldiği bir dünyadır. Bazıları bu değişikliğin sonuçlarını kabul etmez ya da kınar, bazıları da şiddetini hafife alarak dertsiz tasasız kabullenir. Mevcut durumun ima ettiği sonuçların açılması, farklı açılardan incelenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi, değerlendirilmesi gerektiğini düşünüyorum. İhtiyaç duyduğumuz yargılamayı ve seçimleri yapmak ancak o zaman mümkün olacaktır.

Jeomühendislik imkanı hakkında düşünmek başlı başına değerli bir iştir. Aynı zamanda dünyanın içinden geçmekte olduğu bu derin dönüşümü kabullenme noktasında ihtiyaç duyulan hayal gücünü geliştirmek için de bir alıştırmadır ve iklimi yeniden tasarlamakla ilgilensin ya da ilgilenmesin var olmayı sürdürecektir. Gezegenimiz daha önce yeniden yapıldı, şimdi yeniden yapılıyor ve gelecekte de yeniden yapılacaktır. Bu yüzden bu kitap, insanların söz konusu değişimin getireceği zorlukları öngörmelerine yardımcı olmaya yönelik bir çabadır.

İklimsel Riskler ve Sorumluluklar

Öncelikle henüz çok ilerlemeden evet/evet dememdeki gerekçeleri sunmama izin verin. Eğer zaten iki soruya da evet diyorsanız ve başlamak için sabırsızlanıyorsanız, dilerseniz bir ya da iki bölüm atlayabilirsiniz. Eğer iki sorudan en az bir tanesine hayır diyorsanız, sizi ikna edip edemeyeceğime ya da en azından neden anlaşılamadığımı açıklayıp açıklayamayacağıma bir bakalım.

Birinci evet, iklim değişikliğinden kaynaklanan ve ciddi önlemler almayı gerektiren tehlikelerle ilgilidir. Birtakım ekonomik analizler, ılıman bölgelerde artan tarımsal üretkenlik, bazı kurak alanlarda artan yağış, yüksek enlemlerdeki soğuk daha az zarar vermesi ve diğer bazı faktörler nedeniyle yaklaşık bir derecelik bir iklim değişikliğinin kesinlikle faydalı olacağını öne sürer. Dolayısıyla bazıları, şayet karbondioksit emisyonlarından kaynaklanan iklim değişikliği dünyaya net bir fayda sağlıyorsa, ülkelerin buna karşı ortak bir eylemde bulunmaması gerektiğini savunur.

Ancak böyle bir senaryoda işler herkes için iyiye gidiyor değildir. Ve gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçiler ya da şehirlerde yaşayan yoksullar gibi durumu iyiye gitmeyenlerin büyük çoğunluğu karbondioksit salımından daha az sorumlu olmalarına rağmen daha çok fakirleşen insanlardır. Ben, şayet karbon salımı bu talihsiz kimselere gerçekten zarar veriyorsa, zengin ülkelerde yaşayan insanlar ile fakir ülkelerdeki zenginlerin – bunlar yaklaşık bir milyar güçlü insandan oluşan ve yaşam tarzları emisyonların sebeplerinin ezici bir bölümünü oluşturan iki gruptur – harekete geçmek zorunda olduklarını düşünüyorum. Bu yükümlülük, emisyonlar zengin dünyadaki çiftçiler ya da soğuk kışlarda ölme riski olan yaşlılar gibi birtakım başka gruplara bir şekilde yardım ediyor olsa bile devam ediyor. Birçok ahlak sistemine göre, sırf bir grup insana iyilik yapmak için başka bir grup insana zarar verme gibi bir durum söz konusu olamaz.

Karbon salımının riske ettiği insanlara yardım etmenin en kolay yolu emisyonları azaltmak değildir. Zengin ülkelere daha kolay göç edebilme imkanı, iyi planlanmış kalkınma yardımları; yoksulların geçim kaynaklarına ağırlık veren siyasi reformlar; daha açık bir ticaret sistemi: Bütün bu politikalar daha dolaysız çözümler sunmaktadır. Ancak bu biçim yardımlar takdiri hak etmesine ve başka ne yapıldığına bakılmaksızın gayet iyi bir fikir olmasına rağmen iklim değişikliklerinden kaynaklanan zararları büsbütün mazur göstermeye yetmez. Nasıl ki bazı insanlara yardım etmek için başka insanlara zarar vermek doğru değilse, insanların üzerlerine önce biraz para saçıp sonra da o paraları yerden toplamaya çalışırken önümüze çıkanı dövüp yere sermenin de masum bir hareket olduğu söylenemez.

Bu düşüncüyü herkes kabul etmez, kabul edenlerin bazıları da bunu pragmatist bir bakış açısıyla, korumasız insanların bir kısmı zarar görecektir olsa bile sonuçta ortaya net bir faydanın çıkıyor olmasıyla gerekçelendirir. Oysa iklim değişikliğinin ciddi bir tepkiyi hak ettiğini düşünmek için başka nedenler de vardır. İklim değişikliği ne bu konuyu çalışanların çoğunun düşündüğü kadar büyük bir sorundur ne de zannedildiği kadar kötü bir şekilde yönetilmektedir fakat durum böyle olsa bile net sonucun bir ihtimal kötü, daha düşük bir ihtimalle ise gerçekten çok kötü olma riski hâlâ devam etmektedir. Net sonucun kötü olma olasılığının yüzde 50, çok kötü olma olasılığının yüzde 5 olduğunu varsayalım. Bence bu ihtimaller bile ciddi bir tepki vermek gerektiğini destekler. Yüzde 5'lik bir ihtimal yirmide bir demektir: Bir çift zar attığınızda altı altı (düşüş) ya da bir bir (hepyek) gelme ihtimaline oldukça yakındır. Gerçekleşme olasılığı düşüktür fakat beklenmedik bir durum olmaktan da oldukça uzaktır. İtimat edilebilir bir otorite, önümüzdeki on beş yıl içinde kalp krizi geçirme olasılığının yaklaşık yüzde 6 olduğunu söylediğinde yaşam tarzımda bazı değişiklikler yapmaya

karar vermiştim. Bir süre sonra gerekli değişiklikleri uygulamayı gerçekten başardım.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneline (IPCC) katılan bilim insanlarının yaptığı son değerlendirme düz bir şekilde okunduğunda, söz konusu risklerin az önce verdiğimden daha yüksek olduğunu düşündürüyor, birçok bilim insanı ve çevre aktivisti bu ihtimallerin çok daha yüksek olduğunu belirtiyor. Ancak siz de benim gibi yüzde 50 ve yüzde 5 gibi düşük rakamların bir eylemi gerektirdiğini düşünüyorsanız, rakamların aslında daha yüksek olması bu tartışmanın amacı bakımından hiç önemli olmayacaktır. Dünyanın bütününe yönelik tehditler size tesir ediyorsa, harekete geçmek için bir yol bulma işine zaten destek veriyorsunuz demektir.

Doğrudan kendinize, sevdiklerinize, torunlarınıza ya da onların nesline yönelik daha spesifik tehditler görmek istiyorsanız işler bu kadar net olmaz. Önümüzdeki yaklaşık yarım yüzyıl boyunca, iklim değişikliğinden kaynaklanan risklerin gelişmiş ülkelerde yaşayan hali vakti yerinde insanlar için çok yüksek olduğunu iddia edecek değilim ve sanırım okurlarımların çoğu bu gruba giriyor. Daha genel tehditler hakkında endişelenmenin bir seçim olduğunun farkındayım. Siz farklı bir seçimde bulunabilirsiniz.

İlk soruya evet cevabı vermemdeki nedenler bunlar. Hayır diyenlerle ilgili ne söylenebilir? Dediğim gibi, bazıları insanlığın tamamına yönelik tehditleri yeterince motive edici bulmayabilir. Hayır denmesinin, diğerlerinin yanında şöyle iki gerekçesi var gibi görünüyor: Ya yirmide bir olasılıkla bir felaket yaşamanın göz ardı edilebilecek kadar düşük bir ihtimal olduğu düşünülüyordur ya da yüzde 5'lik bir ihtimalin aslında riskleri azaltmaya yönelik ciddi girişimler gerektireceği ancak gerçek olasılığın bundan çok daha düşük olduğu, sözgelimi bir felaket yaşama ihtimalinin yüzde bir olduğu düşünülüyordur.

İlk durumda yani risklerden bana kıyasla daha az çekindiğiniz durumda muhtemelen fikrinizi değiştirmek için yapabileceğim pek bir şey yok. Yine de lütfen okumaya devam edin. Okurların, bu kitabın fikirlerini teşvik edici ve hayal güçleri üzerindeki etkisini değerli bulmaları için kitabın tüm öncüllerine katılmak zorunda olmadıklarını ümit ediyorum. Ayrıca bu fikirlerin bir kısmının, pek çok okur için rahatsız edici derecede riskli görülebileceğinden de şüpheleniyorum. Bu yolculuğa söz konusu tehlikelere gülerек karşılık veren birkaç kişinin de katılması güzel olacaktır.

Risklerin yüzde birden az olduğunun düşünöldüğü ikinci durumda, iklimin nasıl işlediğı ve gelecek yüzyılda ne kadar karbondioksit salınacağı konusunda savunulamayacak düzeyde bir kesinlik sergilendiğini düşünüyorum. Bu kadar güvende hissetmenin güzel olduğunu görebiliyorum. Fakat meseleye ciddi bir şekilde yaklaştığınızda bu kesinliğe nasıl ulaştığınızı anlamıyorum. Söz konusu belirsizlikler göz önüne alındığında, bir iklim felaketinin pek ihtimal dahilinde olmadığından emin olmak, çılgınlıktan ayırt edilemeyecek kadar abartılı bir özgüvene işaret etmektedir.

İkinci Fosil Yakıt Yüzyılı

Peki ya diğer evet? Fosil yakıtlardan kurtulmak neden bu kadar zor olsun? Cevap, sorunun büyüklüğünde ve istenen değişim hızında yatıyor ve –baştan söyleyeyim– bu sorunun üstesinden gelmek, ilk evetin üstesinden gelmekten daha uzun zaman alacaktır.

2013 yılında salınan otuz milyar ton karbondioksit, yıl boyunca yakılan üç trilyon metreküp gazdan, her ay yakılan neredeyse üç milyar varil petrolden ve her saniye yakılan yaklaşık üç yüz ton kömürden geldi. Ayrıca tüm bu yakma işlemlerinde ihtiyaç duyulan altyapı gerekli olduğu kadar karmaşıktı.

İklimi, emisyonları azaltarak dengede tutmaya çalışmak, dünya kadar şeyi değiştirmek anlamına gelir.

Dünya, yerden fosil yakıt çıkaran ve sonra da yakan maden ocakları, petrol kuyuları, elektrik santralleri, yüz binlerce gemi ve uçak, bir milyar motorlu taşıt gibi birçok tesis ve araca muazzam miktarda yatırımlar yaptı. Bu tür yatırımların hükmedebileceği siyasi lobinin gücü bir yana, sadece ihtiyaç duyulan böyle bir büyümenin hızını koruyacak mükemmel ikame teknolojilere sahip olsaydık, bu kadar teçhizatın sırf değiştirilmesi bile belirli bir süre alırdı. Her hafta yeni bir büyük nükleer santral yapılırsa dahi mevcut termik santralleri bunlarla değiştirmek yirmi yılı bulur (halihazırda dünyada yılda yaklaşık üç veya dört yeni nükleer santral yapılırken diğer yandan aynı sayıda eski santral de kapatılmaktadır.) Bu termik santralleri güneş panelleriyle değiştirmek, güneş panellerinin 2013 yılındaki kurulma hızı ile yapılırsa yaklaşık bir buçuk asır sürer. Bunların tamamı gaz ve petrolü, araba, ocak ve gemileri değiştirmeye başlamadan önce yapmamız gerekenlerdir.

Karbon salımını azaltmadaki zorluk yalnızca artık tüm dünyayı kaplamış olağanüstü enerji altyapısını değiştirmekten ibaret değildir, hızla gelişen çok daha kompleks bir sistemin değiştirilmesi gerekmektedir. Yirminci yüzyılın başındaki 1.6 milyar nüfusun hiçbir, günümüz modern ve sanayileşmiş devletlerinin vatandaşlarının enerji bağımlı refahına sahip değildi. Mevcut emisyonların büyük bir kısmı iki milyar insanın sürdürdüğü yaşam tarzının sonucudur.

Oysa yoksul ülkelerde aynı şekilde yaşamayan beş milyar insan daha var. Bu insanların yaklaşık dörtte biri hiçbir modern enerji kaynağına düzenli bir erişimleri olmaksızın sadece güneş, ay ve ateşle aydınlanan hayatlar sürmektedir. Fakat kesinlikle daha iyisini hak ediyorlar. Hepsi bol enerjinin mümkün kıldığı endüstriyel ve tarımsal mal ve hizmetlere erişerek halihazırda sadece iki milyar varlıklı nüfusun sahip olduğu

yaşam koşullarına sahip olmalıdır. Kendilerinden sonra gelecek çocukları ve torunları da aynı şekilde.

Bugün¹ yedi milyar olan dünya nüfusunun 2100 yılına kadar yaklaşık on milyara çıkması bekleniyor. O zamana değin zengin dünyanın enerji ayrıcalıklarından yararlanan insan sayısı da on milyara ulaşmalıdır. Dolayısıyla zorluk, yirminci yüzyılda iki milyar insan için elde edilen şeyi yirmi birinci yüzyılda diğer sekiz milyar insan için de elde etmekle ilgilidir. Bu zorluğun üstesinden gelmek ise çok daha fazla enerji kullanmak demektir. 2100 yılında müreffeh bir hayat süren bir kimse, 2000 yılında yaşayan bir Avrupalının kullandığından daha fazla enerji kullanmak zorunda kalmayabilir. Bu daha önce görülmemiş bir şey olsa da imkansız olmayabilir, zira sonuçta bazı yerlerde enerji kullanımı belli bir doygunluğa ulaşmıştır. Fakat bu varsayımın doğru olması durumunda bile yirmi birinci yüzyıl ya zenginler ve fakirler olarak ikiye bölünmüş bu dünya düzeninin devamına ya da gelişmekte olan ülkelerin enerji sistemlerinde muazzam bir genişlemeye şahit olacaktır.

2009 Kopenhag İklim Zirvesi'nde zengin dünyanın büyük bir bölümünün peşinden koştuğu büyük anlaşmayı ulaşılmaz yapan da böyle bir genişlemenin çok yakında gerçekleşeceği beklentisiydi. Garazlarla dolu tartışmaları yönlendiren öneri, gelişmiş ülkelerin emisyonlarını en az yüzde 80 oranında azaltması ve böylece dünya karbondioksit salımının 2050 yılına kadar yarıya indirilmesi idi. Bu önerinin anafikri, zengin ülkelerin yapacağı büyük kesintiler sayesinde gelişmekte olan ülkelere biraz daha uzun bir süre fosil yakıtları kullanma imkanı vererek büyümelerini desteklemeyi içeriyordu. Teklifin bu şekilde ortaya konulması, teklifi yapanların halen gelişmekte olan ülkelerin büyümesini fosil yakıtlarla beslediği gerçeğini kabul ettiği anlamına geliyordu. Nitekim bugün bile sahip oldukları enerji sistemleri göz

1 2013 yılı itibarıyla. (Çevirenin Notu)

önünde bulundurulduğunda, diğer teknolojiler ihtiyaç duydukları ölçek ve maliyetteki gücü sağlayamazdı.

Kopenhag önerisindeki sorun, gelişmiş dünyadaki popülasyonların çoğunlukla sabit olmasına karşın gelişmekte olan dünyadakilerin çoğunun hâlâ büyüyor olmasıydı. Kopenhag Zirvesi sırasında, gelişmekte olan ülkelerde yaklaşık altı milyar insan vardı. Halbuki 2050’de bu ülkelerde sekiz milyardan fazla insan olacaktı. İşte bu gerçek nedeniyle, Kopenhag anlaşması büyüme için gerçek bir alan bırakmamış oluyordu. Gelişmekte olan dünya için öngörülen ekstra fosil yakıt kullanımı, bu ülkelerin sadece artan nüfuslarını dengelemeye yetecekti. Gelişmekte olan dünya, o zamanki mevcut kişi başına düşen karbondioksit salımı oranını korumak zorunda kalacaktı ki bu da Avrupa’dakinin yarısından ve Amerika’dakinin üçte birinden daha azdı. Dolayısıyla beklendiği gibi anlaşmaya varılamadı. Kopenhag Zirvesi’nden bu yana tüm dünyada yeni fosil yakıt yakma kapasitesi daha önce olduğundan daha hızlı bir şekilde büyümeye devam etmektedir.

Gelişmekte olan ülkelere kaynaklanan emisyonların yakın zamanda azalması pek olası olmasa da birçok zengin ülke Kopenhag’da ifade edilen yüzde 80’lik azaltma vaadine bağlı kalmaya devam ediyor. Mesela İngiltere bu vaadi kanunlaştıracak kadar bir yol aldı. Bu hedef emisyonların kırk yıl boyunca yılda yüzde 4 oranında azaltılacağı anlamına geliyor. Bir mukayese yapmak gerekirse, Fransa 1970 ile 1995 yılları arasında elektrik altyapısını neredeyse tamamen nükleer enerjiye dönüştürdüğünden emisyonlarda yılda sadece yüzde birlik bir azaltma gerçekleştirmişti. İngiltere’nin 1980’lerde elektrik piyasasının özelleşmesini takiben kömürden büyük ölçüde uzaklaşmasını ifade eden “gaz atılımı” 1990’larda emisyonları aynı oranda azaltmıştı. Amerika’nın son on yılda kaya gazı devrimine karşı bir tedbir olarak dramatik bir biçimde daha fazla doğal gaz kullanmaya yönelmesi, emisyonların çok küçük bir miktarda azalmasını sağlamıştı. Ekonomik bir çökü-

ş e neden olmadan yılda yüzde 4'lük bir emisyon indirimini mümkün kılabilir çok az örnek var ve bu azaltmalar ancak çok uzun sürelerde gerçekleşebilir.

Bu durum, Viyana'nın hemen dışında bulunan Uluslararası Uygulamalı Sistemler Analizi Enstitüsü'nde görevli akademisyen Arnulf Gröbler'in enerji sistemlerinin tarihini ve özellikle –sözgelimi yük hayvanları ve su çarklarının yerini alan buhar motorları gibi– bir enerji teknolojisinin başka bir teknolojiye değiştirildiği “enerji geçişlerini” incelemek için harcadığı on yıllardan çıkardığı derslerle örtüşüyor. Kendisi, genel bir ilke olarak enerji geçişlerinin yavaş olduğunu ve yaklaşık bir yüz-yıl sürdüğünü ifade ediyor.

Evet/hayır kampında yer alan ana akım çevreciler ile çevreye duyarlı olan politikacılar artık her şeyin eskisinden oldukça farklı olduğunu söylüyor. Onlara göre, önceki enerji geçişleri çoğunlukla kapsamlı bir plan olmadan gerçekleşiyordu fakat bu kez bilinçli bir şekilde olacak. Ve bu geçiş zemin teşkil edebilecek yenilenebilir enerji devrimi şimdiden gerçekleşti bile. Son birkaç yıldır rüzgar ve güneş enerjisi ilk kez endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır. Artık tek başına 100 MW ile 1 GW arasında kapasitelere sahip, en küçüğü gelişmiş bir gaz türbini ve en büyüğü de nükleer bir santral büyüklüğünde olan tesisler var.

(Buraya güç ve enerjiyle ilgili bir not eklemek istiyorum: Güç, bir saniyede kullanılan ya da kullanıma sunulan enerjidir ve vat ve katlarıyla ölçülür. İnsan vücudu, gıdalardan elde ettiği enerjiyi yaklaşık 100 W hız ile yakar. Toyota Corolla gibi küçük bir otomobilin 1.5 litrelik motoru benzinden yaklaşık 50.000 W yani 50 kilovat [50 kW] güç üretir. Gerçekten büyük bir rüzgar türbini, rüzgar enerjisini 5.000.000 W yani 5 Megavat [5 MW] hızıyla elektriğe dönüştürür. Büyük bir elektrik santrali tipik olarak bir milyar vat yani Gigavat [GW] civarında çalışır. Amerika, Avrupa veya Çin gibi büyük

ekonomilerin enerji kullanımı bunun bin katından fazladır yani bir trilyon vat anlamına gelen teravat [TW] mertebesinde. Gücü zamanla çarparsanız enerji elde edersiniz. Bir kilovat gücü bir saat boyunca kullandığınızda bir kilovat-saat enerji kullanmış olursunuz.)

Yenilenebilir kaynakların çekiciliği, sera gazı emisyonlarını büyük ölçüde azaltmanın da ötesine geçiyor. Yanıcı fosil yakıtlar birçok “aerosol” yani havada yüzen küçük parçacıklar üretir (spreyler, içeriklerini bu tür parçacıklara dönüştürdükleri için aerosol sprey olarak adlandırılır). Her yıl milyonlarca insanın hayatı aerosol solumadan kaynaklanan nedenlerle daha erken sonlanmaktadır ve bu durumun en büyük sorumlusu özellikle termik santrallerdir. Jeneratör ve motorların oluşturduğu kimyasal atıklar –nitrojen oksit ve ozon– hem insanlara hem de ekinlere büyük zararlar verir. Ve fosil yakıtların arzı gerek piyasadaki değişiklikler gerekse siyaset nedeniyle çılgınca dalgalanabilir. Halbuki bazı yenilenebilir kaynakların yakıt maliyeti sabit olmakla birlikte çok düşüktür –rüzgar, güneş ışığı veya suyun yukarıdan aşağıya doğru akması ücretsizdir. Ayrıca yakılmak üzere yetiştirilen bitkiler biyokütle olarak oldukça ucuza mal edilebilir.

Bu, yenilenebilir enerjiye dair faydalı bir listedir. Ancak Gröbler’in geçmişte yaşanan enerji geçişlerine ilişkin çalışmalarından çıkarılacak ikinci bir ders daha var: Söz konusu geçişler esasen yeni enerji üretim biçimleri nedeniyle değil, yeni enerji kullanım biçimleri yüzünden gerçekleşmiştir yani insanlar enerji arzı ile geçişe zorlanmamış, insanların enerji talebi geçişi zorunlu kılmıştır. Elektrik motorları veya içten yanmalı motorlar, insanların daha önce yapmadıkları şeyleri yapmalarına izin verdiği için benimsendi ve bu yeni enerji hizmetleri her zamankinden daha fazla talep edilmeye başladı. İhtiyaç duyulan yakıt kaynakları, üretim teknolojileri ve dağıtım sistemleri söz konusu talebe yetişebilmek için birbirleriyle yarıştı. İnsanlara enerji kullanma biçimleri açısından çekici gelen

yeni seçenekler sunmayan –insanların kendiliğinden istemesi yerine zorlandıkları– toptan bir değişimin herhangi bir örneği yoktur. Ve son kullanıcı açısından yenilenebilir elektrik, elektriğin sadece başka bir türüdür –elektriği bu şekilde üretmenin çeşitli iyi yönleri olsa da bir şeyleri çalıştırma bakımından hiçbir avantajı yoktur. Yenilenebilir elektriğin avantajları bireysel alıcı düzeyinde değil, sistem düzeyinde hissedilir. Bu da yenilenebilir enerji geçişin ciddi bir itici güce ihtiyaç duyacağı anlamına gelir.

Grübler’in geçişlerin ne kadar zaman aldığına ilişkin gözlemlerinde olduğu gibi, bu durum karbonsuzlaştırmanın sadece imkansız değil, aynı zamanda eşi benzeri görülmemiş bir durum olduğuna işaret etmektedir. Ancak, hükümetlerin kullanıcı talebiyle gerçekleşmesine izin vermek yerine zorlayarak sağlamaya çalıştığı bir enerji geçişinin yakın tarihli en iyi örneği pek de teşvik edici değildir. 1960 ve 1970’lerde çeşitli ülkelerde hükümetler nükleer enerjiye geçişi bir hayli zorladı fakat bunun arından birçok ülkede başlangıçtaki teknolojik büyüme bir süre sonra durdu.

Duraksamanın nedeni kısmen ekonomikti. Özellikle Amerika’da ucuz ve bol enerji vaatleri yerine getirilemedi çünkü şirketler nükleer santral maliyetlerinin tavan yaptığını ve aynı zamanda talepte beklenen büyümenin gerçekleşmediğini gördü. Ancak bunun da ötesinde, 1970’ler, insanların gelecek hakkındaki düşünce ve konuşmalarına muhtemel felaketlerin yön verdiği bir değişime şahit oldu. Nükleer güç bu değişimde belirli bir rol oynadı ve sonuçta değişimden zararlı çıktı. Sadece enerji geçişlerine dair aktardıkları sebebiyle değil, ana konumuza ışık tuttuğu için de bu sürece biraz daha ayrıntılı bakmaya değer olduğunu düşünüyorum. Bu kitabın muhtelif bölümlerde açıkça görüleceği üzere, dünyayı değiştiren teknolojik etkileri öngörme konusunda çok az şey atom çekirdeğinden kaynaklanan enerjinin yerini tutabilir.

Nükleer enerji ilk yıllarında, dünyayı daha iyi bir geleceğe taşıyacak bilimsel ilerlemenin somut bir örneği olarak özenle hazırlanmış bir imajdan yararlandı. Arka planda sürekli bir soğuk savaş kaygısı olmasına rağmen nükleer enerjinin sunacağı gelecek için genel bir beklenti vardı. Sinsice her yere yayılabilen bir tehdit oluşturduğu ve tıpkı nükleer atıklar gibi varlığıyla dünyayı kirlettiği düşüncesi ise nükleer enerjiye ilişkin ilk çekincelerin kaynağını oluşturuyordu. Bu endişe makul bulunmadığı gibi yeterli desteği de alamadı. Aksine birçok çevreci bu teknolojinin çevresel faydalarına odaklandı. İnsanların soluduğu havanın temizlenmesi açısından nükleer santraller, kömür santrallerine kıyasla ileriye doğru atılacak büyük bir adım olmayı vadediyordu.

Ancak 1970’lerde önce, nükleerle ilgili eski endişeler güçlendirildi ve sonrasında da bu endişelerin yerini nükleer kaza korkusu aldı. Nükleer erime kavramı, nükleerle ilgili kaygıyı belirli olaylara odakladı ve askeri-endüstriyel kompleksler hakkında giderek yaygınlaşan endişelere ve hükümetlerin teknokratik kibrine yasladı. Bu kavram aynı zamanda, radyasyonla ilgili tüm endişeleri bu kadar tedirgin edici ve rasyonel olmayan bir abartıya yatkın kılan görünmez, soyut ve küresel bir tehdidin altında yatan duyguyu besledi. Belli kazaların bir yandan da küresel tehditler oluşturduğu yönündeki çift vizyon, beklenen etkilerin kapsamını yansıtıyordu. Örneğin nükleer bir erime sırasında oluşabilecek radyoaktif cürufun Dünya’nın içinden geçerek diğer taraftan çıkabileceği (Çin sendromu) ya da çevresini bir jeolojik dönem boyunca zehirleyebilen nükleer erimeler olabileceği varsayılıyordu. Bir reaktörün nükleer bombaya benzeyen enerjisi kontrolden çıkarsa ne olacağına dair korkuların yanı sıra, devlet güvenlik organlarının bir felakete yol açmaya çalışan herhangi bir sabotajcıyı durdurmak için halka uygulayabileceği kontrol seviyesiyle ilgili de endişeler vardı. Bazıları için cini şişenin içinde tutmak için gereken güç, salıvermek için gereken kadar, belki daha fazla endişe vericiydi.

Nükleer enerjiye geçişteki duraklamanın arkasındaki tek faktör, bu yeni nükleer enerji korkusu değildi. Söylediğimiz gibi, Amerika'da bu teknolojinin, kısmen çok hızlı bir şekilde piyasaya sürülmesi nedeniyle, onu savunanların beklediğinden çok daha pahalı olduğu ortaya çıktı. Amerikan zihniyetine nükleer karşıtı korkuları doldurma konusunda çok iş yapan 1979 Üç Mil Adası kazası olduğu sırada, Amerika'da üç yıldan fazla bir süredir yeni nükleer santral siparişi verilmemişti. Fakat söz konusu yeni korkular, nükleer santrallerin kurulmasını daha da zorlaştırarak, nükleer enerjinin sorunlarına ve esasında maliyetine yeni yükler ekledi. Mevcut giderler ve kamusal kaygılardan oluşan bir karışım, nükleer enerji programlarına sahip çoğu ülkenin neden elektriğinin yüzde 20'sinden daha azını bu santrallerden ürettiğini ve 1980'lerden bu yana sayılarını neden çok az artırdığını açıklayan uzun bir hikayeye sahiptir. (Bunun en büyük istisnası teknokratik bir planlama kültürüne, hem halk hem de politikacı seçkinler nezdinde mühendislerle karşı bir güvene, enerjide kendi kendine yeterliliğe önem veren bir tarihe sahip olan ve enerji sistemi ve düşük fosil yakıt rezervlerini çalıştırma konusunda hükümetlerinin doğrudan bir rol üstlenmekten daima memnun olduğu Fransa'dır. Fransa elektriğinin neredeyse yüzde 80'ini nükleer reaktörler üretmektedir.)

Şimdi, durmuş olan nükleer geçişi iklim değişikliğiyle mücadelenin bir yolu olarak yeniden canlandırmak isteyen çevreciler var. Nükleer enerjinin bariz sorunlarının –kaza riski, radyoaktif atıklar ve bomba yapımını kolaylaştırması– anlatıldığı kadar endişe verici boyutta olmadığını ve iklim değişikliğinin verebileceği zararlarla karşılaştırıldığında bunların hafif kalacağını savunuyorlar ki bu iddialarında genel itibarıyla haklılar.

Sadece tek bir nükleer kaza –1986 Çernobil kazası– ciddi oranda can kayıplarına yol açtı. Fukushima'daki erimeye ilişkin mevcut değerlendirmeler, erimenin bir sonucu olarak tespit edilebilen ölümlerin olmayacağını gösteriyor. Bu vakayı,

her yıl kömürün mahvettiği akciğerleri sebebiyle ölen bir milyondan fazla insanla karşılaştırın. Kararlarına itibar edilmesini sağlayabilen tecrübeli yetkililerin talep ettiği standartlara uygun inşa edilen yeni nükleer reaktörler eski tasarımlardan çok daha güvenlidir. Atıkların uzun vadeli olarak depolanması çoğu ülkede siyasi bakımdan yanlış yönetilmektedir ancak nükleer atıklar ne tamamıyla acil –onlarca yıl hatta bir yüzyıl sürebilen güvenli geçici depolama çözümleri denenmiş ve test edilmiştir– ne de temelde çıkmaz bir meseledir. Pek çok sivil nükleer enerji programı silah geliştirmeye ilişkilendirilmiş olsa da çoğu zaman bu bağlantıların geçersiz olduğu görülmüştür: Ne Arjantin ne de Brezilya şu anda bir bomba yapımı peşinde değildir. Güney Afrika da bombalarından vazgeçti. Nükleer silahların yayılması ciddi bir risktir fakat nükleer elektriğin olmaması da bize nükleer silahların çoğalmadığı bir dünya vadetmez. Kuzey Kore ve İsrail hiçbir sivil nükleer güç programı olmamasına rağmen nükleer silahlar üretmektedir.

Tüm bunlara rağmen yeşil hareketin kitlesel olarak nükleer enerjiye yönelmesi ya da reaktör sayısının önemli ölçüde artması ihtimali çok küçük görünüyor. Çünkü bu reaktörler fosil yakıtlı santrallerden, çoğu hidroelektrik barajdan ve bazı rüzgar enerjisi tesislerinden vat başına daha pahalı olmayı sürdürmektedir. Ayrıca sadece büyük boyutlarda tesis edildiklerinden, bir seferde on milyarlarca dolar vererek milyar vatlık enerji satın almanız gerekir. Daha küçük reaktörler bu sorunun bir kısmını hafifletecek olsa bile küçük reaktörlerin geliştirilmesi zor olmaktadır çünkü ilgili unsurlar ve düzenlemeler göz önüne alındığında, nükleer enerji yenilik yapılması çok güç bir alandır. Üstelik nükleer enerji daha önceki enerji geçişleri için çok önemli olan talep patlamasına da sahip değildir, evsel veya endüstriyel bir kullanıcı için nükleer elektrik diğer türlerin hiçbirinden daha iyi değildir.²

2 Bu sivil nükleer güç için geçerlidir. Öte yandan askeriyede nükleer elektriğin önemli bir avantajı vardır zira denizaltılara enerji sağlamak için kullanılabilir.

Nükleer bir rönesans için baskı yapanların çoğu bu durumu kısmen ya da tamamen kabul etmektedir. Ancak başarı şanslarının zayıf olduğunu bilmelerine rağmen azimle çalışmayı sürdürmektedirler. Bu durum kısmen, ateşli taraftarlığın gönüllü körlüğüyle açıklanabilir: Bir şeyi değiştirmenin çok zor olduğunu bütünüyle görenler, buna kalkışmayı genellikle denemezler. Ayrıca irrasyonel olandan hoşlanmama ve bunun politikaya egemen olduğunu görmekten kaynaklanan bir endişe de söz konusudur. Nükleer güce karşı olan ana akım yeşil tutumları yönlendiren ve gerçekçi olmayan abartılı radyasyon korkusu, bu insanları şaşkına çevirerek huzursuz etmektedir. Almanya'nın, Fukuşima felaketinden sonra, uzun zamandır devam eden nükleer karşıtı hareketi dinlemeye başlamasına ve güvenli, bol, temiz ve yatırım maliyetleri karşılanmış olduğu için ucuz elektrik üreten bir reaktör filosunu kapatma kararına kuşkuyla bakıyorlar. Nükleer yanlısı olmak, onlar için, yeşil ortodoksiden kopma ve dünyaya olduğu gibi bakma arzularının bir rozeti olarak hizmet ediyor. Ancak buradaki en önemli ayrıntı şudur: Yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle henüz gelişmemiş dünyanın ihtiyacı tamamıyla dikkate alındığında, iklimsel tehlikelerin bertaraf edilmesinin gerektirdiği kadar bir karbon arıtımını sağlayamayacağına dair kesin bir inanca sahipler.

Yenilenebilir kaynakların mevcut maliyetlerin ötesine geçen bazı kısıtlamaları vardır. Rüzgar ve güneş enerjisi kesintilidir. Kolaylıkla tahmin edilebilecek çeşitli nedenlerle kullanılamaz hale gelebilirler –geceleri güneş enerjisi yoktur veya rüzgarlar her zaman yeterince güçlü esmez. Rüzgar bazen oldukça geniş bir alanda günlerce veya haftalarca esmeyebilir. Bunun gelecekte de geçmişte olduğu kadar büyük bir sorun olması gerekmez. Bilgi teknolojileri, enerji talebinin “akıllı şebekeler”,

Aksi takdirde denizaltıların motorin yakabilmesi için bir şnorkelle hava alması gerekir. Elektrik üretebilen ilk nükleer reaktörlerin geliştirilmesine yol açan şey, işte bu küçük ama çok önemli boşluktur.

akıllı cihazlar ve hatta akıllı insanlar tarafından yönetilmesiyle bu tür dalgalanmalarla başa çıkılmasını kolaylaştıracaktır. Tüketiciler, faturaları düşürmesi durumunda, böyle bir yönetime muhtemelen rıza göstereceklerdir. Ancak elektriğinizin çoğunu veya tamamını yenilenebilir kaynaklardan elde etmek istiyorsanız ve büyük bir hidroelektrik kapasiteye –diğer kaynakların kesintilerini dengelemek için çok hızlı bir şekilde artırılıp azaltılabilen neredeyse sıfır karbon salımlı bir kaynağa– erişiminiz yoksa, söz konusu kesintiler güç kaynağının maliyetini ve karmaşıklığını artırır.

Ayrıca rüzgar, güneş ve biyokütle seçeneklerinin hepsi çok fazla yer kaplar. O ya da bu ölçüde iyi seçilmiş bir alana kurulacak bir rüzgar çiftliği, kapladığı alanın her metrekaresi için bir veya iki vat güç üretecektir. Dolayısıyla bir kilometre kare ortalama bir Megavat güç sağlar ki yaklaşık bir depo büyüklüğündeki bir gaz türbininden alınabilecek 100 MW'lık güç için yüz kilometre kareye ihtiyaç vardır. Biyokütle olarak yakılmak üzere yetiştirilen mahsuller daha da seyreltik bir enerji kaynağıdır –ılıman iklimlerde bunları yetiştirmek en iyi ihtimalle metrekaare başına bir vat civarında bir güç sağlarken tropikal iklimlerde bu biraz daha yüksek olabilir. Güneş enerjisi bu seçeneklerden sadece bir miktar daha iyidir, çok daha iyi değildir.

Birleşik Krallık gibi sanayileşmiş bir ülke için bu ne anlama geliyor? İngiliz halkının elektrik kullanma oranı yaklaşık 40 GW'tır. Bunu metrekaare başına bir vatta üretmek, ülke alanının yüzde 20'sini yenilenebilir enerjiye ayırmak demektir. (Dürüst olmak gerekirse, aynı arazide koyun da otlatabilirsiniz ama yine de...) Eğer halkın enerjisini daha fazla oranda elektrik enerjisi olarak iletmek istiyorsanız (örneğin, fosil yakıtla çalışan arabaları elektrikli olanlarla değiştirmek veya gazla çalışan kombileri elektrikli ısı pompalarıyla değiştirmek istiyorsanız), daha çok elektrik üretmek ve dolayısıyla daha çok arazi kullanmak zorunda kalırsınız. Daha verimli sistemler bir miktar yardımcı olabilir –verimlilik her zaman yardım-

cı olabilir- ancak bu durumu başka bir hale dönüştürmek için yeterli değildir. Ayrıca, daha verimli enerji sistemlerinin insanları bir dereceye kadar daha fazla enerji kullanmaya teşvik ettiğini de göz önünde bulundurmalısınız.

Kesintili ve alan kullanımında müsrif olmalarına rağmen yenilenebilir enerjilerin oynayacağı bir rol vardır. Ancak fosil yakıtların varlığı, yakıtlara izin verildiği ve uygun fiyatlı olduğu sürece bu rolü kısıtlayacaktır. 1970 ve 80'lerde yenilenebilir kaynaklar üzerine yapılan pek çok çalışma ise aksine fosil yakıtların az bulunur ve satın alınamaz hale geleceği fikrine dayanıyordu. Benzer fikirler 2000'lerin ortalarında Avrupa'nın yenilenebilir kaynakları onurlandıran bir enerji ve iklim stratejisi oluşturduğu dönemde de yaygındı: Fosil yakıt fiyatlarının uzun vadede hem yükseleceği hem de daha değişken hale geleceği iddia ediliyordu. Kopenhag Zirvesi sırasında, Avrupa'nın yenilenebilir bir süper güç olması halinde bu maliyetlerden kaçınabileceği ve dünyanın geri kalanının önüne geçebileceği ileri sürülmüştü.

Halbuki fosil yakıtlar pahalılaşmayıp daha ucuz hale geldi ve önümüzdeki on yıllar boyunca zengin ülkeler için oldukça uygun bir fiyatta kalacak gibi görünüyor. Karbon vergileri ve benzer planlar yoluyla fosil yakıt fiyatlarını yükseltme girişimleri prensipte bunu değiştirebilir ve alternatiflere daha fazla yatırım yapmaya zorlayabilir. Ancak bu planlar çoğu yerde tutacak kadar siyasi destek göremedi ve uygulanabilirlikleri de kesin değildir fakat uluslararası düzeyde koordine edilen bir dünyada bu planların başarı şansı daha yüksektir. İnsanlar yenilenebilir kaynaklara geçişin düşük bir maliyetle gerçekleşeceğini söylerken bunun böylesi optimal bir dünyada gerçekleşeceğini varsıyorlar. Oysa o dünyaya henüz ulaşılmış değildir.

Hükümetler, fosil yakıt üretim maliyetlerini karbon bedeli veya vergisi yoluyla artırmak yerine yenilenebilir enerjileri sübvans etmeyi tercih ediyor. Bu tercihin problemlerinden

bir tanesi, insanları mevcut tesislerde fosil yakıt kullanmayı terk etmeye teşvik etmek yerine sadece alternatifler ürettikleri için ödüllendirmesidir. Diğer bir sorun da yenilenebilir kaynaklar ne kadar çok inşa edilirse, sübvansiyonların da o denli pahalı hale gelmesidir. Almanya'nın elektrik üretimi sektöründen kaynaklanan karbondioksit emisyonlarını büyük ölçüde azaltmayı ve aynı zamanda ülkenin tüm nükleer santrallerini emekliye ayırmayı hedefleyen ve halen yürürlükte olan ulusal *Energiewende* politikası, bu tür sübvansiyon yaklaşımlarının ne kadar ileri gidebileceğini bulma konusunda kararlı gibi görünüyor çünkü bugüne kadar 100 milyar avronun üzerinde bir harcamaya neden oldular. Genel olarak, elektrik piyasasının yüzde 20'sinden fazlasını rüzgar, güneş veya biyokütleden sağlayan ekonomilerin sayısı çok azdır. (Talep patlaması yerine arz zoruyla başarılmaya çalışılan başka bir enerji geçişinde yani nükleer enerjide de muhtemelen tesadüfen gerçekleşmiş benzer bir oran söz konusudur.) Bu, rüzgar türbinleri ve güneş enerjisi üreticileri ve alıcılarına önemli miktarda para transfer etmek için yeterince büyük bir pay olsa da gezegenimizin ikliminin gidişatını değiştirmek için yeterli değildir.

Mevzubahis durum çevre politikalarıyla ilgili genel bir sorunu yansıtmaktadır. Bu politikalar genellikle belirtilen çevresel amaçlara ulaşmaktan ziyade yeşil kaygıları olan seçmenleri ve lobileri memnun etmeyi amaçlar. İnşa edilen o kadar rüzgar türbinini, çatılardaki güneş panellerini gören insanlar ise bir çözüm arandığını düşünür. Bu etkileyici –ve kimilerine göre çileden çıkaran– manzaralar gerçekte kısmen yenilenebilir enerjinin düşük enerji yoğunluğu nedeniyle, makul seviyede bir refaha sahip on milyar nüfuslu bir dünya için yeterli güç sağlama konusunda çok az şey başarmaktadır.

Yine de buradan yenilenebilir çabaların kıymetsiz olduğu sonucu çıkmaz. *Energiewende* önemsiz bir girişim değildir, ulusal uzlaşmayı sürdürmekte oldukça iyi, zengin ve teknolojik açıdan güçlü bir ülke olan Almanya'yı neredeyse tama-

men yenilenebilir enerjiye yönlendiren yolu açabilir. Bununla birlikte, Kaliforniya Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nın enerji ve çevreden sorumlu eski müdür yardımcısı Jane Long, 2013'te, yine zengin ve teknolojik açıdan güçlü fakat siyasi konsensüs bakımından daha az becerikli olan Kaliforniya'daki emisyonların azaltılmasının başarı şansına dair yapılan bir araştırmaya başkanlık etti. Bu çalışmada, enerji verimliliğinin teşvik edilmesi, fosil yakıtların elektrik üretiminde kullanılmasına tamamen son verilmesi, sanayi ve ulaşımda kullanılmasının ise büyük ölçüde kısıtlanması yoluyla Kaliforniya'nın emisyonlarını kırk yılda yüzde 60 azaltabileceği sonucuna ulaşıldı. Long, eyaletinin yenilikçi ve çevreci karakterinden haklı bir gurur duyarak bundan daha iyisini Kaliforniya'nın başaramaması durumunda başka hiç kimse'nin başaramayacağını iddia ediyor. Ve nükleer enerjinin yanı sıra bol miktarda yenilenebilir enerji kullanan bu senaryoya karşılaştırıldığında, Almanya bir kolu bağlı olarak daha yüksek bir seviyeyi hedefliyor.

Öte yandan karbondan arındırma meselesindeki meydan okuma, emisyonlarını yüzde 60 veya başarılabilirse yüzde 80 oranında azaltan, çevreye duyarlı birkaç ekonomiyle halledilebilecek bir konu değildir. Eğer atmosferdeki sera gazı seviyesinin bu yüzyılda durağan hale gelmesi isteniyorsa elektrik sektörünün daha seri bir şekilde karbondan arındırılması ve tüm büyük karbon yayıcıların emisyonlarını yüzde 100 oranında azaltacak bir yola girmesi gerekiyor. Sadece yarısının bunu yapması bu hedefin gerçekleştirilmesi için yeterli değildir –aksine, talebi azaltmak diğer yarı için fosil yakıtların maliyetini düşürebilir.

Kopenhag'daki heyecanı harekete geçiren, tüm büyük karbon yayıcıların bu işe dahil edilmesi gerektiği gerçeği idi. Ancak dünyanın büyük ekonomilerinin kendi başlarına yapmayı açıkça istemedikleri bir şeyi birlikte yapmayı bir şekilde kabul edebilecekleri inancı yanıltıcıdır. Uluslararası müzakerelerin bir

kıymeti vardır: Ortak bir amaç duygusunun gelişmesine yardımcı olabilir ya da havuç sopa yöntemiyle bir şeyler sağlayabilirler. Fakat uluslararası bir anlaşma, hiçbir hükümeti ideoloji, maliyet veya başka herhangi bir neden yüzünden kendi ülkesinde desteklenmediği çok açık olan bir iklim politikasını izlemeye yönlendirmeyecektir. Ayrıca iklim sorunlarıyla ilgili uluslararası bir anlaşmaya varmak da oldukça zordur.

Bu zorluğun pek çok nedeni vardır. En önemli neden, emisyonların büyük bölümünden sorumlu olan insanların iklim değişikliğinden kaynaklanan risklerin çoğuyla karşı karşıya kalmaması gerçeğiyle ve ayrıca herkesin aksine sadece bazılarınin harekete geçmesi durumunda harekete geçmeyenlerin de geçenler kadar bundan faydalanacağı endişesiyle ilgilidir. Daha da mühimi, söz konusu faydalar ne olursa olsun ve kime tahakkuk ederse etsin, bunların onlarca yıl boyunca hissedilemeyecek olması sorunudur. İklim, kümülatif karbon emisyonuna yani belirli bir zamanda hangi hızla arttığına değil, yüzyıllar boyunca atmosfere eklenen toplam stoğa bağlıdır. Karbondioksit emisyonlarında bugün yapılacak herhangi bir makul kesinti, yüzyılın ortalarına kadar neredeyse hiçbir etkiye sahip olmayacaktır. O zamana kadar harekete geçmemenin maliyeti korkunç derecede kötü olabilir ancak gelecekte ortaya çıkacak bu bilgiden sonra geri dönüp gerekli kesintileri yapmayı sağlayacak bir zaman makinesi olmayacaktır. İklim değişikliğinin etkileri konusunda yetkin bir uzman olan Hans Joachim Schellnhuber'in dediği gibi, "İklim değişikliği, zamanında çözülemeyecek kadar yavaş bir problemdir."

Harekete geçmenin maliyeti ve uluslararası bir mekanizmanın olmaması, önümüzdeki on yıllarda emisyonlarda azalma olmayacağı anlamına gelmez ama bu azalmanın Almanya veya Kaliforniya'da hayal edilen ölçekten ziyade Çin'de gördüğümüz orana benzeyeceğini düşünüyorum. Çin, bir yandan diğer tüm ulusların her birinden daha fazla yenilenebilir enerji tesisi kurarken diğer yandan da büyük bir nükleer programı hızlan-

dırıyor. Aynı zamanda iddialı enerji verimliliği önlemlerini yürürlüğe koyuyor. Ancak bu durum, fosil yakıt kullanımından elde ettiği enerji oranını yalnızca yavaş yavaş azaltıyor. Mevcut planları, 2030 yılına kadar karbondioksit emisyonlarının artmaya devam edeceğini gösteriyor –bu noktada Çin enerjisinin yüzde 80’i hâlâ fosil yakıtlardan geliyor olacak. Bundan sonra ne kadar hızlı düşebileceğini kimse tahmin edemiyor.

Çin nasılsa, dünya da öyledir. Fosil yakıt dışı enerji kaynaklarına yönelik artan talebe ayak uyduracak kadar büyük yatırımlar yapmak çok büyük bir taahhüttür. Fosil yakıtları tamamen ortadan kaldıracak kadar büyük bir yatırım, mevcut koşullar altında olası görünmüyor. İnsanlık, 1750-2000 yılları arasında Dünya’nın fosil yakıtlarda biriktirdiği yarım trilyon ton karbonu serbest bıraktı. Önümüzdeki yüzyılda bir trilyon ton daha salıvermeyeceğine inanmak çok zor.

Yerküre Sistemini Değiştirmek

Bence, evet/evet cevabı zorunludur ve umarım şimdi size de oldukça makul görünüyordur. Ancak Rob Socolow’un o büyük pencereli Calgary Salonu’nda söylediği gibi, bu görüş azınlıktadır.

İklim hareketine karşı olanlar, hayır/evet kampına sıkı sıkıya bağlılar. Bunların bazıları için ilk soruya verdikleri hayır cevabını ikinci soruya verdikleri evet cevabı yönlendiriyor. Evet, fosil yakıtlara karşı harekete geçmenin hem teknik olarak hem de daha yüksek elektrik ve yakıt faturalarına maruz kalan ya da petrol, gaz ve kömüre yatırım yapan insanlar için ne kadar zor olduğunu anladığınızda, böyle bir hareketin gerekli olmadığı sonucuna varmak oldukça kullanışlı hale geliyor. Hayır/evet kampındaki insanlar, eylem çağrılarının arkasındaki bilimden şüphe duymaya sevk edecek nedenler bulmak için oldukça büyük bir motivasyona sahiptir ve bazı organize lobiler bu konuda onlara yardımcı olmaktan mutluluk duyar.

Evet/hayır kampı, söz konusu risklerde büyük bir değişiklik yapmak için gereken ölçekte bir enerji geçişinin pratik olmadığına işaret eden insanların bu şüphesini ortadan kaldırıyor. İklim eyleminin gerekliliğini kabul eden politikacılar, bunun nispeten acısız hatta belki de istihdam ve büyüme yaratacak keyifli bir gelişme olacağı konusunda ısrar ediyor. Fosil yakıt kullanımındaki keskin düşüşlerin gerçekten de maliyetli olacağını kabul eden yeşiller, genellikle bu maliyetlerin ağırlıklı olarak büyük işletmelere düşeceğini varsayıyor. Bazıları ise söz konusu maliyetlerin bir şekilde yanıltıcı olduğunu iddia ediyor. Pahalı enerji ve buna bağlı olarak azalan tüketim, ekonomistlere bir “maliyet” gibi görünse de bazı çevreciler özellikle tüketimin azalmasını bir fayda olarak görüyor.

Zengin dünyada, daha az eşyayla daha mutlu bir hayat sürebileceklerini keşfeden birçok insan var ve eğer bunu nasıl yapabileceğimizi görebilseydik aynı şey başka birçok insan için de geçerli olabilirdi. (Burada “biz” diyorum zira kökleşmiş tüketim zihniyetimiz yüzünden, bizi daha mutlu edebilecek bir yaşam tarzını benimseyemeyenler arasında olabileceğimi kabul ediyorum.) Ancak Kanadalı çevre grubu ETC’den (ismi sırasıyla Erozyon, Teknoloji ve Konsantrasyon ifadelerini karşılar ve *et cetera* şeklinde telaffuz edilir) Pat Mooney’nin birkaç yıl önce bana söylediği gibi, düşük tüketim yolunu seçmenin kendilerini daha mutlu edeceği konusunda bazı delilleri fark eden ancak yine de bu yönde hareket etmeyen insanların bu seçimi başkaları için yapma olasılığı çok düşüktür. Bununla birlikte, seçmedikleri bir hayat tarzını benimsemeye zorlanmayı kabul etmeleri de pek olası değildir. “Yaşamamı istediğim hayatı yaşa yoksa gezegen hayatını alır,” pozisyonu sadece sevimsiz değil, aynı zamanda etkisiz de bir pozisyonudur.

Dünyanın siyasi liderleri kararlı bir şekilde ya evet/hayır ya da hayır/evet kampında yer alırlar, halkın büyük kısmı ise bundan memnun görünüyor. Fakat Socolow’un Calgary’de hitap ettiği kişilerin çoğu bunu basit bir evet/evet’e çevirmişlerdi.

Eğer hem iklim değişikliği risklerine bir cevap verme işini ciddiye almamış hem de fosil yakıtlardan kurtulmanın zor olduğuna inanmamış olsalardı, iklim değişikliği çevrelerinde “havadan doğrudan yakalama” olarak bilinen, havadaki karbondioksidi çekmeye yönelik yeni kimya mühendisliği teknikleri üzerine bir toplantıya katılma zahmetine girmezlerdi. Havadan doğrudan yakalama tekniği, atmosferik karbondioksit seviyesinde kayda değer bir etkiye sahip olacak kadar büyük bir ölçekte kullanıldığında bir jeomühendislik türü olacaktır –jeomühendisliği, yerküre sisteminin bilinçli bir şekilde küresel ölçekte değiştirilmesi olarak tanımlıyorum.

Bu “yerküre sistemi” ifadesi de nereden çıktı? Neden sadece Dünya’yı değiştirmek demiyorsunuz? Çünkü kullanılan dilin genişletilmesinin bazen insanlara, olaylara başka açılardan bakabilmesi için olanak sağlayabileceğini düşünüyorum ve bu da o anlardan biri. Dünya, bir nesne gibi geliyor ve öyle hissettiriyor. Böyle bir bağlamda Dünya dediğimde ise –veya siz bu kelimeyi okuduğunuzda– uzayda yüzen mavi-beyaz bir küre düşünmemeye alışkınsınız. Bunun yerine yerküre sistemi dediğimde, muhtemelen aklınızda hiçbir şey canlanmayacak. Fakat kullandıkça zamanla sizin de bir şeyler hissetmeye başlayacağınızı ümit ediyorum.

Umarım hissettiğiniz, teninize çarpan rüzgar, yakınınızdaki bir şelalenin yeri titretmesi veya gözünüz kapalıyken çıktığını duyduğunuz bir şimşek kadar canlı bir şey olur. Yerküre sisteminin özü sadece kaya ve suda ya da hava ve bitkilerde değil, aynı zamanda Dünya’nın tüm enerjik ve maddi etkileşimlerinde yatmaktadır. Bu öz; karbon, su, azot ve yaşamın diğer temel unsurlarının gezegende yüzyıllar boyunca durmadan devam eden döngülerini yönlendiren enerji akışlarında yatmaktadır. Ve ayrıca, bu döngülerin ve neden oldukları dönüşümlerin onları harekete geçiren enerji akışlarının gidişatını şekillendirmesinde yatmaktadır. Söz konusu akışlar ve döngülerin tamamı yerküre sistemini tanımlayan süreçlerdir.

Bu enerji ve madde akışları arasındaki kuvvet ve etkileşimler, tıpkı diğer karmaşık sistemlerde olduğu gibi, yerküre sisteminin değişmesini sağlar. Sistemdeki süreçler oldukça hızlı bir şekilde bir halden diğerine geçebilir. Jeologların dünyanın kayalarında kaydedildiğini tespit ettiği büyük geçişlerden bazıları, gezegenin tarihinin bir dönemini diğerinden ayırt etmede kullandıkları geçişler, yerküre sisteminin çalışma biçimindeki değişimler ve bir durumdan diğerine geçişler olarak anlaşılabilir.

İnsanlığın günümüzde ulaştığı teknoloji, gezegenimizi, geçmişte gerçekleşen büyük geçişlere benzer büyüklükte bir değişime yönlendiriyor. Bilim çağının başında Francis Bacon'un "insanlık imparatorluğu" dediği şey –güç ve bilginin tüm dünyaya birbirinden çok zor ayırt edilebilen bir şekilde yayılması– doğal bir kuvvet haline geldi. Barajlar nehirlerin akışını, mühendislik çalışmaları erozyon süreçlerini değiştiriyor; tarım, küresel besin döngüsünü, türlerin yok olma biçimlerini ve hızını yeniden tanımlıyor. Ve insan kaynaklı sera gazları, enerjinin gezegendeki canlı sistemlerden geçiş hızını değiştiriyor. Yerküre sisteminin üzerindeki bu etkiler, artık o kadar belirgin bir hal almıştır ki bazı bilim insanları insan çağının mevcut dönemini, gezegenin tarihinde yeni bir jeolojik aşama olarak tanımlama fikrini desteklemekte ve bu aşamaya Antroposen demektedirler.

Dünyadan bir sistem olarak bahsetme isteğimizin nedenlerinden biri de budur. Zira insanoğlu Antroposen'i, yedi milyar primattan oluşan bir küme olarak değil, bir sistem olarak gezegene dayatmaktadır. İçinde yaşadığımız sosyal, ekonomik, politik ve duygusal güçler dünyasını oluşturan bu sistem, yerküre sisteminin fiziksel güçleri kadar gerçektir ve geribildirim ve durum değişikliklerine onlar kadar tabidir. Çevreyi sırf bir nesne, bir gezegen, kaya, su ve havadan oluşan bir yığın olarak düşündüğünüzde, bir insan için daima öznel deneyimlerin rengiyle boyanan ve sosyal olaylara aracılık eden bu dünya,

ister istemez, performansın sahneden ayrı tasavvur edilmesinde olduğu gibi, çevreden farklı bir şey olarak görünecektir. Oysa beşeri dünyanın bağlamını yerküre sistemi olarak görürseniz, o zaman bu iki sistem iç içe girmeye, sosyal olanı doğal olandan ayıran sınırlar bulanıklaşmaya başlar. Eylemi, bunlardan ne biri ne de ötekisi tek başına belirler. Birbirlerini karşılıklı olarak etkilerler. Ekonomik ve iklimsel geribildirimler, siyasi ve radyoaktif güçler farklı referans sistemlerine ait değildir. Doğru ayarları hep birlikte belirlerler. Beşeri dünya, gezegenin jeofiziksel gerçeklerini yerküre sistemi ve bu sistemin süreçleriyle değiştirir. İnsan kendisini yerküre sisteminin değişen şartlarına bir cevap veriyor olarak bulur.

İnsanoğlu yerküre sistemini böyle yeni bir Antroposen durumuna kasten getirirse bunun bir jeomühendislik olacağını düşünüyorum. Bu terim, bu kitapta, sadece insanların iklim üzerinde farkında olmadan yaptıkları değişiklikleri düzeltmeye veya iyileştirmeye yönelik müdahalelerini değil, yerküre sistemine bilinçli bir şekilde küresel ölçekte uyguladıkları teknolojileri de kapsayacaktır. Tasarlama kavramı önemlidir. Tesadüfen ortaya çıkan bir değişiklik ile planlanarak gerçekleştirilen bir değişiklik yerküre sistemi açısından bir fark oluşturmaz ancak beşeri dünya için istemeden neden olduğunuz bir değişiklik ile planladığınız bir değişiklik veyahut gelecek üzerinde, gerçekleşmesini istemeseniz de kaçınılmaz olarak gerçekleşeceğini öngörebildiğiniz bir etkiye sahip olmak ile gerçekleşmesini umduğunuz bir etkiye sahip olmak arasında fark vardır. Dodonun³ neslinin tükenmesi ile çiçek virüsünün yok olması aynı şey değildir.

Atmosfere giderek daha fazla karbondioksit yığmanın ne gibi etkilerinin olacağını tüm hatlarıyla ortaya koymak mümkün olmasa da öngörülebilir. Ancak tam olarak amaçlanan da bu değildir. Eğer söz konusu etkiler, o sabah Calgary'de tartışıldığı

3 Nesli tükenmiş, güvercin cinsinden uçamayan büyük bir cins kuş. (ç.n.)

gibi, atmosferdeki karbondioksidi emebilen makineler yoluyla azaltılabilirse, bunun tüm sonuçları önceden tahmin edilemese bile ortaya çıkacak değişiklik amaçlanmış bir sonuç olacaktır. Dolayısıyla, doğrudan havadan yakalanan büyük ölçekli karbondioksit, beşeri faaliyetlerin yaydığı miktar göz önüne alındığında, dünyaya beklenenden farklı bir iklim sağlamanın yollarından biri olacaktır. İklim jeomühendisliğinin istediği de genelde budur. İklim jeomühendisliği çok farklı şekillerde yürütülebilir fakat amaç her zaman iklim ile insanoğlunun kümülatif karbondioksit emisyonunu birbirinden ayırmaktır. Çok sınırlı bir çerçevede olsa da geleceği geçmişin zincirinden kurtarmaktır.

Tasarlanan Gezegenler, Tahayyül Edilen Dünyalar

Karbondioksidi havada bir şekilde doğrudan yakalama işlemi güvenli bir şekilde yeterince büyük ölçekte gerçekleştirilebilirse, bu ayırmanın olmayacağını düşünmek oldukça zordur. Karbondioksidi atmosfere pompalandığı hızla geri emmek, emilen karbondioksidi koyacak bir yer bulunabildiği takdirde, iklim sorununu o ya da bu ölçüde çözecek gibi görünüyor. Emilen karbondioksit muhtemelen yeraltındaki rezervuarlarda depolanabilir, karbonatlı katı kayalara dönüştürülebilir ya da tekrar hidrokarbon yakıtlara dönüştürülebilir ve böylece bu tür yakıtlar hiç bitmez.

Havadan doğrudan karbondioksit yakalama, ne yazık ki halen yeterince büyük ölçeklerde uygulanamıyor zira bu iş için pratik veya ekonomik açıdan uygun olduğu ispatlanmış bir teknoloji henüz yok. Ve şayet nihai hedefiniz, karbondioksidi atmosferden mevcut pompalama hızıyla geri çekmek ise böyle bir teknolojinin hiç var olmayacağına bahse girebilirsiniz. Bunun nedenlerinden bazılarını ve –böyle bir hedefe asla ulaşılmasa bile– havadan doğrudan yakalamanın sunabileceklere ilerde tartışacağız. Burada dikkatinizi çekmek istediğim

husus, bu teknolojinin ayrıntılarından ziyade bunu gerçeğe dönüştürmeye çalışan insanlarla ilgilidir.

Calgary konferansında bu fikir üzerinde aktif olarak çalışan dört gruptan üçünün çarpıcı bir ortak noktası vardı. Hepsi-ne karizmatik Kuzey Amerikalı fizikçiler önderlik ediyordu: fiziğin cevaplar bulma konusunda neredeyse hiç bitmeyen yeteneklerini göstererek ve öğrencileri gerçekten ilginç cevapları olan sorular sormaya teşvik ederek onlara ilham veren türden fizikçiler. Onlar bilgiyi –hem kendilerinininkini hem de onlardan öğrendiğinizde sizinkini– bir güç gibi hissettiren insanlardır. İnsan imparatorluğunun adamlarıdır.

Aynı zamanda daha zengin ve daha güçlü insanların ilgisi-ni ve hayranlığını çekebilecek insanlardır. Çalışmaları Cal-gary’de tartışılan üç fizikçinin üçü de prestijli üniversitelerde çalışan profesörlerdi ancak havadan karbondioksit yakalama çalışmaları çoğunlukla zengin sponsorların yatırımlarıyla bu amaç için kurdukları şirketlerin bünyesinde yapılıyordu. Havadan doğrudan yakalama üzerinde çalışan ilk kişi olan Columbia Üniversitesi’nden Klaus Lackner, “yapay ağaçlar” hakkındaki fikirlerini *Lands’ End Clothing*’i kuran merhum Gary Comer’ın desteğiyle geliştirmeyi başardı. Yine Colum-bia’da çalışan ve havadan yakalanan karbondioksidi tekrar yakıta dönüştürmek için güneş enerjisini kullanmayı plan-layan Peter Eisenberger, *Seagram*’dan Edgar Bronfman’ın ilgisini çekti. En büyük balığı o sırada Calgary Üniversite-si’nde ve şimdiyse Harvard’da çalışan David Keith yakaladı. Havadan doğrudan karbondioksit yakalama şirketi *Carbon Engineering*’in ana yatırımcısı Bill Gates’tir.

Bu durum bazılarını iklim jeomühendisliğinin tehlikeli bir kapitalist komplo olduğunun yeterli bir delili gibi görünecek-tir. Gerekirse bir başka delil olarak Richard Branson’un bu tür planlara duyduğu büyük ilgi gösterilebilir (kendisi atmos-ferden karbondioksit çekmede kaydedilen ilerlemeleri teşvik

eden bir ödöl ihdas etmiştir). Branson, 2009'da "Bir jeomühendislik çözümü bulabilseydik Kopenhag'a gerek kalmazdı. Uçaklarımızı uçurmaya, arabalarımızı sürmeye devam edebilirlik," demişti. Bir havayolu sahibinin ağzından bu tür bir yeşil öfkenin yükseldiğini ancak bu şekilde duyabilirsiniz. Ama eğer bütün bunlar bir plutokratın⁴ komplosuysa, bu çok kötü bir kurgudur. Calgary toplantısını, söz konusu planların maliyetini tartışmak için Keith düzenledi. Amerikan Fizik Derneği'nin hazırlattığı ve başkanlığını enerji ve iklim araştırmalarında uzun bir geçmişe sahip olan Socolow'un yaptığı panelde sunulan bir raporda, havadan karbondioksit yakalama işinin maliyetinin ton başına yaklaşık 600 dolar ya da muhtemelen bundan çok daha fazla olacağı hesaplandı. Bu rakam Eisenberger ve Lackner'ın açıkladığı rakamlardan çok daha yüksek, Keith'in şirketinin verdiği daha az iddialı rakamların ise iki katından fazlaydı. O toplantı, bu farkları ortadan kaldırmayı amaçlıyordu.

Toplantı bu hedefe ulaşmayı bir şekilde başardı. Socolow'un yönettiği panele katılan üyeler, bunun söz konusu teknolojinin uygulanabilirliğinde herhangi bir fark yaratacağını düşünmeseler de tahminlerinin bir miktar yüksek olabileceğini kabul ettiler. Keith hâlâ bu görüşün yanlış olduğunu ve kamyonlarla getirilebilecek olandan çok daha fazla karbondioksit ihtiyacı duyulan endüstriyel alanlarda ve hükümetin karbona çok yüksek bir fiyat belirlediği yerlerde, havadan doğrudan yakalama teknolojisinin kâr getirebileceğini düşünmektedir. Ama bahsettiği on milyarlarca değil, on binlerce tondur. Havadan doğrudan yakalamanın büyük ölçekli iklim jeomühendisliği için uygun bir araç olmaya yakın olduğunu düşünen hiç kimse Calgary'den uzak kalmazdı. Havadan doğrudan yakalamaya iklimi ele geçirme planının bir parçası olarak yatırım yapan herkes bir yanılma içindedir.

4 Zenginlerin idaresinden taraf olan. (ç.n.)

Havadan doğrudan yakalama gerçekten önemli değilse, bunun hakkında kafa patlatmaya neden devam ediyoruz? Çünkü zaman içinde önemli hale gelebilir ki bunun yardımcı olabileceği fikri, bugünü bağlama oturturken geleceği daha eksiksiz bir biçimde tasarlamamızı sağlar.

Geleceğin ayrıntıları evet/hayır ve hayır/evet kamplarında pek önemli değildir. Kötü sonuçlarla karşı karşıya kalma korkusu hem iklim aktivistlerini hem de bunların düşmanlarını motive ediyor fakat ince ayrıntılar bir önem arz etmiyor. Her iki taraf da kendini, sevdikleri bir geleceğin tasarlayıcısı olmaktan ziyade sevmedikleri bir geleceğin önleyicisi olarak görüyor.

Evet/evet pozisyonu daha zengin bir hayal gücü talep ediyor –geleceğin oldukça farklı olmasına izin verebilen bir hayal gücü. Dünya ekonomisini, günümüz liberal demokrasilerinin hatta Almanya gibi yeşil görünümlü olanların bile güçlkle desteklediği bir seçenek olarak artık sürekli büyüme talep etmeyecek ya da sağlamayacak veya çoğu insanın doğayla ilişkisini tekrar toprak merkezli hale döndürecek şekilde kökten değiştirmek gerektiği düşüncesine açık insanları bulabileceğiniz yer evet/evet dünyasıdır. Doğrusunu söylemek gerekirse, maalesef iklim değişikliğinden kaynaklanan riskler konusunda yapılabilecek tek şeyin bunlardan en çok etkilenen insanları, tehlikeleri azaltacak araçlarla donatmak olduğunu ve bu durumda dahi milyarlarca kişinin intibak edemeyebileceğini düşünen insanları bulacağınız yer de evet/evet dünyasıdır.

Yerküre sisteminin, iklim ile karbon emisyonlarının birbirine bu denli sıkı sıkıya bağlı olmayacak şekilde manipüle edildiği bir gezegen hayal eden insanları bulacağınız yer de yine evet/evet dünyasıdır. Böyle bir düşüncede eleştirilebilecek çok şey olabilir. Bu düşünce korkunç derecede basit gelebilir. “Doğanın kontrol edilmesine” yönelik makul ve makbul olmayan fikirlerin doğmasına ve beslenmesine yol açabilir. Harekete geçmemeyi haklı çıkarmak için kullanılabilir. Fakat bunlarla birlikte hem pratik hem de ütöpik kapılar da açabileceğine

inanıyorum. İklim jeomühendisliğiyle zararın gerçekten azaltılabileceği yollar olduğunu düşünüyorum. Ayrıca insanların normalde olabileceklerinden daha güvenli ve mutlu olabilecekleri ve içinde iyi yaşamlar sürebilecekleri jeomühendislik tasarımı dünyalar hayal etmeyi değerli buluyorum. Bir ütopyanın ulaşılabilir olması gerekmez; aslında tanımı gereği ulaşılabilir de değildir. Ancak bu, ütöpik düşünceyi reddetmek için bir neden değildir. Aksine onu benimsemeyi gerektiren nedenlerden biridir.

Bununla birlikte, hayal eden grup çok küçük olduğunda ütöpik düşüncenin imkanları daralır hatta ihanete uğrar. Bence jeomühendislik için durum şu an için budur. Konu üzerinde halen devam eden tartışmaları dinlediğinizde yeni fikirleri dikkatle takip ve merak eden ancak bunları pratik hale getirme çalışmalarıyla gerçek bir ilgisi olmayan doğa bilimcileri, bu söylemleri şekillendiren düşünce kalıplarını eleştirmekle uğraşan sosyal bilimci ve filozofları, merkezi eylem, kapitalizm ya da mekanik dünya görüşü hakkında sevmedikleri her şeyi jeomühendislik gören veya ona yansıtan çevrecileri, zengin ve güçlülerin fantezilerini, korkutulanların ve kuramcılarının endişelerini duyacaksınız. Bu hayali paylaşılanların sesi çok küçük bir küme oluşturmaktadır.

Bir toplumun geleceğini nasıl tasavvur ettiği önemlidir. Ve kimin tasavvur ettiği de önemlidir. Bu kitabın amacı, yeniden tasarlanmış bir yerküre sistemini tasavvur etmek için gereken araçları biraz daha geniş bir alana yaymaktır. Bunu yaparken, tartışılmakta olan bilimsel imkanlara bakıyor. Ayrıca bu tartışmanın tarihine, insanların iklim ile insanoğlu arasında olması gerektiğine inandığı ilişkiye ve bu inançlar etrafında gelişen siyasi bağlamlara da bakıyor. Bunun kulağa en kuru hayallerden birisi gibi gelmesinden korkuyorum. Umarım bu kitap bunun aksini ortaya koymayı başarır. Hiç değilse, sırf nasıl değiştirilebileceğini tasavvur etmekle kavranabilecek yerküre sistemine yönelik bir hayranlığın takdire şayan olduğunu düşünüyorum.

Asıl zor olan, yalnızca belli bir düzeyde bilinçli bir tasarıma tabi tutulacak yerküre sisteminin neye benzeyeceğini ortaya koymak değil, böyle bir tasarımın gerçekleşmesinden mutluluk duyacağınız bir dünyayı tasvir etmektir. Bu, mutluluğu gezegenin tamamında bulmak ve şefkati gezegenin tamamına göstermekle ilgilidir, dolayısıyla bilimsel veya teknolojik olduğu kadar politik de olması gereken bir projedir. Amaç, pek çok kişinin kabul edebileceği kadar çekici fakat kurulması için herkesin her konuda hemfikir olmasını gerektirmeyecek kadar da sağlam ve şartlı bir dünya hayal etmenize yardımcı olmaktır: ne tekdüze bir bakış açısı ne de muhalefetin bastırılmasını gerektiren ancak adalet ve sempatinin beşeri dünyaya ve ötesindeki yerküre sistemine yayılması için imkanlar sunan bir dünya.

I

ENERJİLER

DÜNYANIN TEPESİ

Uçsuz bucaksızlığın, düşlemenin felsefi bir kategorisi olduğu ileri sürülebilir. Düşlemenin çeşitli manzaralarla beslendiğine kuşku yok fakat doğuştan gelen bir tür eğilimle, büyüklüğü temaşa eder düşleme. Büyüklüğün temaşası da öyle özel bir tavrı, öyle tikel bir ruh durumunu belirler ki düşleme, düşçüyü yakınındaki dünyanın dışına çeker, sonsuzluk işareti taşıyan bir dünyanın önüne koyar.

Gaston Bachelard, *Mekânın Poetikası* (1958)

Güneş parıl parıl parlarken bile aslında yukarılarda gökyüzü zifiri siyahla kaplıdır. Sadece aşağıya doğru renklenir, önce koyu mor, sonra dünyayı kuşatan ufkun hemen üzerinde mavi ve beyaz bir şerit halinde. Aşağıya doğru parıldayarak yayılan renkler, gökyüzüne gittikçe genişleyen bir kavis verir. Bu kuşatıcı mavi-beyaz şeridin içinde, aşağıda parıldayan Dünya da kavislidir. Mavi kenarlarına doğru her yönde bükülür.

Bu uçsuz bucaksız, yuvarlak ve boşluktaki dünyadaki tek düz çizgi kanatlardır.

Yerin yüzeyinden yirmi iki kilometre yukarıya çıktığınızda stratosfere ulaşırsınız. Burası Dünya'nın en dış bölgesi olmasına rağmen anlatacağımız hikayede merkezi bir rol

oynamaktadır. İklim jeomühendisliği bir gün gerçekleşirse, bunun burada, Dünya'nın çatı katında olması muhtemeldir. Fakat gerçekleşmezse de nedeni, bu parlak ışıklı boşluğa verilebilecek zarardan korkmak olabilir.

Stratosfer, jeomühendislik tasarıları için kritik önemi haiz bir yer olmasaydı bile çevre, çevrenin korunması ve çevre siyasetiyle ilgili bir kitaba onunla başlamak için birçok geçerli sebep olurdu. Ancak 1902'de keşfedilen stratosferin kısa tarihi bilimsel keşif, askeri hırs ve çevresel kaygı konularını bir araya getirmektedir. Fakat stratosfer bence, bunun da ötesinde, yerküre sisteminin nasıl çalıştığını ve farklı şekillerde nasıl çalışabileceğini inceleyen, gerçek gezegenler ile hayali dünyalar arasındaki sınırlarla ilgilenen bir kitaba başlamak için mükemmel bir yer gibi görünüyor.

Belki de Dünya'nın atalarınızın hayal edebileceğinden çok daha büyük bir kısmını görmüş sakinlerinden birisiniz, muhtemelen tatil için bir okyanusu geçme planları yapıyor ve bu yüzden de Dünya'yı tanıdığınızı düşünüyorsunuzdur. Ancak gezegeniniz size, dikey olarak bir günlük yürüyüş mesafesinden daha az bir mesafede, bildiklerinizin ötesinde bir ortam sunmaktadır: yerel farklılıkların ya da solunabilir havanın olmadığı, fırtınalar veya bulutlar olmaksızın ekvator'dan kutba doğru kayan, rüzgarlı ama garip bir şekilde hava koşullarından yoksun bir atmosferik katmanlar yığını. Atmosferin alt katmanlarının işleyişini yöneten kurallar burada tersine dönmüş durumdadır ve yeryüzündeyken dünya hakkında edindiğiniz doğal düşüncelerin hiçbir faydası olmaz. Bilim, aşağıdaki dünyayı anlama konusunda isteğe bağlı ekstra bir seçeneğe benzer, burada ise vazgeçilmezdir.

Stratosfer, tabanı ve tepesi iyi tanımlanmış sınırlarla çevrili, yaklaşık on beş milyar kilometreküplük kapalı bir hacimdir. Bununla birlikte, sonlu olmasına rağmen her şeyi kapsar; aşağıdaki dünyada, yukarıda stratosferi olmayan bir yer yoktur

ve dünyanın ötesine yapılacak hiçbir yolculuk onu geçmeden gerçekleşemez. Bu haliyle, bilim tarafından basitçe tarif edilen bir yer değil, tuhaf bir şekilde bilimin kendisine benzeyen yani sınırlı olduğu halde her şeyi kapsayan bir alandır. Stratosfer gibi bilim de kendi içinde herkese yabancıdır ama bir yandan da herkes için aynı ölçüde ortaktır; adil olanlar ile adil olmayanları aynı oranda korur. Stratosfer, Dünya'nın, yüzeyden görüldüğünden daha büyük ve daha garip görüldüğü bir bakış açısı sağlar. Bu şekilde açığa çıkan dünya daha soyuttur ve bir şeylerin kaybolduğu inkar edilemez. Yine de bir tür evrensellik ve özgürleştirici bir köksüzlük elde edilmiş olur.

Bu köksüzlüğe çok değer vermekle birlikte bundan endişeleniyorum da. Bu nedenle, bilimsel malumatlara dayanan tasavvurlarımızın, aklımızın içinde dans eden devler gibi, bu geniş kıvrımlı balo salonunda hiçbir sınır tanımadan vals yapmasını istemem. Mavi-beyaz parlak ufka bakarken, doğru gerçek kanadı da görmenizde ısrar etmemin nedeni budur. Zira bir kanat olmak zorundadır. İnsanlar, balonlar dışında sadece kanatlarla stratosfer yüksekliğine çıkabilirler. Ve sizden, böyle bir şeyi görmenizi sağlayacak yollar olmadan, bu soyut ve özelliksiz yeri tasvir etmenizi beklemiyorum.

Diğer gezegenlerin etrafında da stratosfer vardır; Mars'ta var; Jüpiter ve Satürn'de de; Satürn'ün uydusu Titan da bu kulübe dahil. Uzay araçları, bu stratosferlerin kalınlık ve sıcaklıklarını ölçtü ve profillerini Dünya'ya gönderdi, tıpkı daha yakınıımızdaki uyduların Dünya'nın kendi stratosferi için yaptığı gibi. Fakat Dünya'nın stratosferi, diğerleri gibi sadece dışarıdan bilinmiyor; onu burada, kanatlarda, içeriden de görüyor ve dünyayı izlediğimiz gibi izliyoruz. Dünyanın o bölgesinde hiç doğum olmadı ancak ölümler oldu ve çok az insan orada uzun zaman geçirdi. Ancak bu çok az insanın orada başardığı şey tüm insanlığı etkiledi. Yukarıdan görülenler, soğuk savaşın seyrinin erken dönemini tespit etmeye yardım etti. Bu en zayıf hava tabakasına verilebilecek zararlar, 1970 ve 80'lerde

gelişen küresel çevre bilincinin oluşmasında çok işe yaradı. Bu ihtişamın içinde yer almak için o yüksek aleme çıkmak gerekmez. Stratosferin mavi ışığı, günbatımından hemen sonra kendini gösterdiğinde bu manzaradan etkilenen herkes, o muhitin kendi dünyasına dokunduğunu hissetmiştir. Tüm stratosferler gibi Dünya'nınki de yerçekimi, radyoaktif transferler ve atmosferik dinamiklerle altında yatan gezegene bağlıdır. Fakat aynı zamanda tarihi, siyasi ve hayranlık bağları da vardır.

Bu bağların en muhteşem ifadesi kanatlar ve kanatların gerektirdikleridir; kalıp ve perçinleri yapan, kesitleri tasarlayan, görevleri belirleyen, uçağı yapan şirketi oluşturan, yapılacak uçağın sözleşmesini onaylayan politikacıları seçen insanlar. Bu insanların hepsi olmadan, bütün bunları göremezsiniz. Neredeyse bomboş olan, uçsuz bucaksız bir gündüz düşü için bile şu ilkede ısrar ediyorum: Yolları tasavvur etmeden yolun sonunu tasavvur edemezsiniz. Ve yollar insanlardır.

Kanatların ucu yukarı kalkar. Sert güneş gökyüzünde nazikçe kavis çizer.

Stratosferin Keşfi

Kanatlar incedir ama güçlü omuzlara sahiptir çünkü sizi bu kadar yükseğe çıkarmak için gereken budur. Bir yolcu uçağı yerden ne kadar yukarıdaysa, stratosfer de o yolcu uçağın o kadar yukarisındadır. Oldukça aşağıda kalan yeryüzü geniş bir alana yayılır. Ufuk, sis ve bulutlarla örtülü değilse aşağı yukarı 600 kilometre ötede olacaktır. Bu engeller de sizin çok altınızda kalır. Hiçbir normal bulut bu yüksekliğe ulaşamaz, hiçbir dağ ise yaklaşamaz bile; öyle olsaydı gezegenin kabuğu, o kadar yüksek bir zirvenin ağırlığı altında ezilirdi. Yazın görülen fırtına bulutlarının üzerinde yükselen bir dağ silsilesi olsaydı, doruklarının üzerinden bile kolaylıkla geçebilirdiniz.

Stratosferde sadece karadan, denizden ve bulutlardan çok uzakta değilsiniz, aynı zamanda havanın da büyük bir bölümünün

üzerindesiniz. Atmosferin onda dokuzu altınızda kalır. Geriye kalan kısım ise nefes alamayacak, sıcaklığı taşıyamayacak ve kapkara gökyüzünü aydınlatamayacak kadar zayıftır. Daha alçak yerlerde gökyüzü, atmosfer moleküllerinin güneş ışığını kırma biçimi nedeniyle mavidir. Daha uzun dalga boylarına sahip kırmızı, yeşil ve sarı renkli ışıklar havadan nispeten kırılmadan geçer; fakat kısa dalga boylu ve uçarı mavi ışık, dağılır. Işığın geri kalanı güneşten dünyanın yüzeyine doğrudan giderken saçılan mavi ışığın bir kısmı gök kubbeye doğru yayılır. Ancak 22 kilometrelik bir yükseklikte, gün ışığı saçılma için yeterince molekül bulamaz. Bu yüzden yukarıdaki gökyüzü siyahtır ve yıldızlar titremeden sabit ve düzgün bir şekilde parlar. Siz sadece, uzayın bu tarafında kalırsınız.

Ancak tek fark bu değildir. Alt atmosferde, hava yükseldikçe soğur. Bilim insanları yüzyıllar boyunca bunun sabit bir eğilim olduğuna, havanın uzay boşluğunda tamamen yok olana kadar inceldiği ve soğuduğuna inanmışlardı. Yirminci yüzyılın başında stratosferi keşfedip isimlendiren Léon Teisserenc de Bort, gökyüzüne balonlarla gönderdiği aletler belirli bir yüksekliğin üzerinde havanın soğumadığını gösterince, bu derin inanç yüzünden çok şaşırılmıştı. Hatta bazen ısınıyordu bile, şüphesiz bir hata olmalıydı? Ancak onlarca balon aynı şeyi söyledikten sonra herhangi bir hata olmadığına karar verdi.

De Bort'un 1902'de ilan ettiği keşif, bir nesil sonra bir İngiliz bilim adamının sözleriyle, "meteorolojide o zamana kadar yapılmış en büyük keşif" olarak görülmeye başlandı çünkü sıcaklığın yükseklikle nasıl değiştiği, atmosferin davranış biçiminin temelini oluşturur. Isınan hava yüzerek yükselir. Yüzeye yakın yerlerde aşağıdan ısınan havanın sahip olduğu bu kaldırma kuvveti her şeyi bir akış halinde tutar; sıcak hava sürekli yukarıdaki soğuk havaya doğru yükselir, ortalığı karıştırır ve hava durumunu ilgilendiren olaylara neden olur. Ancak de Bort'un balonlarını gönderdiği diyarda, bu soğuma trendi sadece durmakla kalmaz, tersine de döner. Bu kez sıcak

hava, soğuk havanın üzerine oturur ve istikrarsızlık yaratan kaldırma kuvveti için bir alan bırakmaz. Bu nedenle stratosferdeki sirkülasyon, yukarı ve aşağı yönlü değil, yatay yönlerde cereyan eder. Dolayısıyla burada havanın katmanlaşması sadece mümkün olmakla kalmaz, aslında kaçınılmazdır. De Bort, keşfettiği bu yeni aleme bu yüzden stratosfer adını vermiştir çünkü *stratos* “katman” anlamına gelir. Alt atmosfere ise, bunun aksine, döndürmek veya karıştırmak anlamına gelen *tropos*’tan hareketle troposfer demiştir.

On dokuzuncu yüzyılın sonunda, Dünya’yı Yunanca öneklerle eşmerkezli kürelere bölmek popüler hale gelmeye başlamıştı; bu, insanların gezegen hakkında düşünme ve konuşma biçiminde gerçekleşen derin bir değişimin terminolojik bir ifadesiydi. Dünya’yı kendi özel inceleme alanı olarak ele alan ilk bilim insanları jeologlar oldu ve hayranlık uyandıran, müzeler için toplanan ve para kazanmak için yeryüzüne çıkarılan kayalar onların payına düştü. Bunların Dünya’sı öncelikle bir tarihi çünkü hangi kayanın nerede bulunacağını gösteren şeyin tarih olduğu anlaşıldı. Dünya tarihini, bir delil olarak gördükleri olayların sıra ve doğasını tartışa tartışa hem mekan hem de zaman bakımından hiç olmadığı kadar ince dilimlere ayırdılar.

Hayal güçlerini bir bütün olarak gezegenimize (ve diğer gezegenlere) çeviren fizikçiler, on dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru farklı bir yaklaşım benimsediler. Değer verdikleri sayısal yaklaşımlar, yeni konularına ancak, parçalar üzerinde bütünün ve spesifik olan üzerinde idealleştirilenin vurgulanmasıyla uygulanabilirdi. Dünya’yı basit kürelere bölmeyi, Dünya tarihini algılanması zor dönemlere bölmekten çok daha uygun buldular. Böylece, atmosferin altında (bu, önceleri Ay çevresinde olduğu varsayılan gazlar için kullanılan ancak daha sonra Dünya’yı çevreleyen havayı tanımlamaya başlayan bir terimdir) bir litosfer (Dünya yüzeyinin sert kayalık kabuğu) ve bir de hidrosfer (okyanuslar) oldu. Yirminci yüzyılın

başlarında farklı uzmanlar sadece kendilerine ait olan alanlar istiyordu; glasiyologlar dünya buzullarını kriyosfer olarak adlandırdı, toprak bilimciler pedosferi kendi alanları olarak belirledi. Sismologlar Dünya’da yeni küreler keşfettiler, atmosferik fizikçiler gökyüzünde yeni küreler buldular ve sonunda, stratosferin üzerine çok daha zayıf olan üç kabuk daha –mezosfer, termosfer ve ekzosfer– istiflediler.

Ancak bu yüksek diyarlar kolayca başka bir âleme dönüşür. Buralara kanatlarla ulaşamaz, balonlarla da çok zor ulaşılır; bu yüzden roketlerin icadından önce incelenememişlerdir. Stratosfer, insanoğlunun içinden sadece geçip gitmediği, ziyaret edebildiği en yüksek diyardır. Bu ziyareti ilk kez yapan insanlar, stratosferin keşfinden otuz yıl sonra, büyük balonlara asılmış metal sepetlerdeki küçük pencerelerden dışarı bakmışlardı. Bu insanlar kısmen macera, kısmen zafer, kısmen de bilim için o yüksekliklere kadar çıkmışlardı. Dünyanın tepesinde, alt atmosferde görülmeyen şiddetli ultraviyole ışık ve bazılarınca yeni maddenin doğum sancısı olarak görülen ve yeni keşfedilen “kozmik ışınlar” gibi garip radyasyonlar vardı. Bu ziyaretleri herkese duyuran hayalperest vakanüvisler, stratonotları, insanlığın dar gerçekliğinin sınırlarına doğru itilen insanlar olarak gördüler. 1930’larda BBC için bilim yorumları yazan Gerald Heard, stratonotların, “dış evrenin vahşi enerjisini” hissetmeye, “bütün güneş ve kızgın yıldızların, sis ve serpintiden ibaret olduğu o enerji okyanusuna yaklaşılmaya” hazır olduğundan bahsetti.⁵ Bu, bir enginliğin kenarında olma duygusu, yüceliği deneyimlemenin kalbinde yer alır ve Edmund Burke’ün ifadesiyle doğanın “zihni büyük fikirlerle dolduran ve ruhu kendine döndüren” güç ve kapsamına verilen bir tepkidir. Stratosfer gerek o zaman gerekse şimdi, yüceliğin baş döndüren tasarımlarını sunmaktadır.

5 Heard, hayatının sonraki dönemlerinde, Kaliforniyalı arkadaşı ve çok yönlü yazar Aldous Huxley’in LSD ile yaptığı deneylere katılarak kendini bu sınırların aşılmasına adanmıştı.

Stratosfere uçuşlar, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, çok daha yaygın hale geldi ve kanatlı uçuşlar başladı. Ötede ne olduğu hakkında daha az, aşağıda ne olduğu hakkında daha fazla ilgili hale geldiler; ayrıca çok daha ağırlıklı olarak Amerikan oldular. Manhattan Projesi'nin, Heard'ın enerji okyanusunun bazı damlalarını kısmen evcilleştirmesi, strateji uzmanlarının küresel boyutta güçle ilgili düşüncelerini değiştirdi. Stratosferi, nükleer silahlardan sorumlu savaşçıların aşağıya doğru bakabileceği, yeni, hudutsuz ve yüksek bir yer olarak görmeye başladılar. Amerikan küresel gücünün ilk büyük örneği olan B-52 bombardıman uçağı, bu nedenle Stratosfer Kalesi olarak adlandırıldı. Nükleer çağ, ordu ve bilim insanlarının ilgi alanlarını da değiştirdi. Diğer fizikçilerin aksine laboratuvarlardan büyük ölçüde yoksun olan jeofizikçiler, üst atmosferi, yerdekilerin yerini alacak doğal bir laboratuvar olarak görmeye başladılar. Fizikçilerin Stratosfer Kalesi'nin bomba hazinesine koyduklarından etkilenen ordu, onlara roket ve yeni uçaklarla stratosfere daha kolay ulaşım sağlamakdan mutluluk duydu ve orada deneyler yapmaları için yeni fırsatlar sundu.

Bu dünya görüşünün bir amblemi varsa, bu, Amerika'nın ulusal güvenliğine hizmet etmesi için yaratılan ve elli yıldan fazla bir süre sonra, artık bilim adına uçmaya devam eden Lockheed U-2'dir. Bu, mutlak bir gizlilik içinde tasarlanan, inşa edilen ve uçurulan, pilotlarını bir B-52'den çok daha yükseğe, stratosferin başladığı yüksekliklere, en azından ilk başta, herhangi bir avcı uçağı veya uçaksavarın erişemeyeceği yüksekliklere çıkarabilen olağanüstü bir keşif uçağıdır. U-2 pilotları, orada, SSCB'nin nükleer silahlarını sayma ve saptama girişimleriyle soğuk savaş döneminin en önemli görevlerinden birini gerçekleştirdi. Seçkin U-2 pilotları, nüfuz edilemeyen bir yükseklikten, sınırsız gibi görünen bir dünyaya neredeyse her şeyi görecektir şekilde bakmak için daha önce yapılmış olanlardan çok daha hassas kameralar kullandı.

Ancak pilotlar bunu yaparken çok zorlu koşullar altında kalıyordu. Dünya üzerindeki bütün ülkeleri görebildikleri halde kendi burunlarını bile kaşıyamıyorlardı, yüzleri, kendilerinden önceki hiçbir pilotun ihtiyaç duymadığı basınçlı giysilerin kaskları içinde hapsolmuştu. Uçaklarının kanadı kırk metre genişliğindeydi; ama kendi kol ve bacaklarını açamıyor hatta eğreti aletler olmadan kokpitlerindeki bütün kontrol düğmelerine bile erişemiyorlardı.

Uçuşları, milyonlarca insanı temsil eden hükümetlerin emriyle ve aşağıda binlerce insanın çalışmasıyla mümkün oluyordu. Oysa U-2'nin ilk günlerinde, pilotlar olabildiğince yalnızdı; düşman topraklarında telsizlerini açmadan saatlerce ve binlerce kilometre uçuyor, elmasa benzer sabit yıldızların yanında seyrediyorlardı (kokpitlerine yerleştirilmiş sekstantları vardı). Ve uçuşları, o seviyenin engelsiz havasız tüm boşluğuna rağmen en kısıtlı aerodinamik çerçevelerle sınırlıydı. Bu kadar zayıf bir havanın içinde, çok hızlı uçarak türbülans yüzünden devrilmek ile çok yavaş uçarak oylanmak arasındaki fark yalnızca saatte yaklaşık yirmi kilometreydi. Çok dik uçtuğunuzda kanatlardan biri titremeye başlar ötekisi ise hiç kaldırma kuvveti sağlamazdı. Pilotlar bu kısıtlamaya bir ad verdiler. Buna tabut köşesi diyorlardı.

Üzerlerinde baskı oluşturan tüm bu koşullara rağmen oradaki güzelliği takdir edebilirlerdi ve öyle de yaptılar. Kendilerini, tabut köşesinde bile, belli bir enginliğin içinde rahat ve mutlu hissediyorlardı.

Nükleer Serpinti

U-2 sadece görmek için donatılmış değildi. Aynı zamanda, yukarıdaki havanın bazı aerosollerini tespit edecek ve topladığı numuneleri daha fazla çalışmak üzere aşağıya indirecek şekilde koklayabiliyordu da. Bu, stratosfere sonradan eklenen nükleer serpintiyi ölçebilmek içindi.

Amerika Birleşik Devletleri ve SSCB, 1945 ile 1963 yılları arasında yüzlerce nükleer silahı, savaşçı fizikçilerin yürüttüğü ve o zamana kadar gerçekleştirilen en rahatsız edici deneylerle test ettiler. Bu patlamalarda ortaya çıkan ve yükselen nükleer serpinti, o vakitler kan damarlarının fotoğraflarını çekmek için kullanılmaya başlayan radyoaktif izleyiciler gibi, daha önce görünmeyen süreçlerin incelenmesine imkan sağladı. 1950'lerin ortalarında, Scripps Oşinografi Enstitüsü'nün müdürü Roger Revelle, bu serpintiyi, okyanusların karbondioksit emişini araştırmak için kullandı. Yaptığı çalışmalar önce onu, sonra da meslektaşlarını, endüstriyel karbondioksit emisyonlarının iklimi değiştirme kapasitesine sahip olduğuna ve bunu yapacağına ikna etti. İnsan kaynaklı bu değişime, jeofizikçilerin Dünya'yı bir laboratuvar olarak görme eğilimine uygun olarak, "geçmişte hiç gerçekleşmemiş, gelecekte de bir daha gerçekleşmeyecek türden büyük bir jeofizik deneyi" olarak atıfta bulundu.⁶

U-2'ler, bombaların radyoaktif serpintilerini düşmeden önce örneklemek üzere gönderildi ve bu böylece bilim insanlarına hem test edilen silahlar hem de stratosferdeki dolaşım hakkında bilgi sağladılar. Bazı pilotlar bu görevi foto-keşif çalışmalarına tercih ettiler. Keşif görevinde amaç, istihbarat örgütlerinin önceden belirlediği güzergahlardan mümkün olduğunca sapmadan uçmaktı. Oysa örneklemeye görevinde, radyoaktif tabakaların en kalın kısımlarını arayan pilotlara inisiyatif veriliyordu; kılavuzları yalnızca Geiger sayaçlarının tıklaması olan pilotlar, bazen stratosferin görünmez taneciklerine paralel, bazen onlara karşı uçarak akıp giden nükleer serpintinin yoğunlaştığı ince tabakayı ararken nazıkçe yükselip alçalıyordu.

Stratosfer yoluyla tüm dünyaya yayılan nükleer serpinti, sonunda toprağa, sığ denizlere ve buzullara yerleşir. Bu serpinti

6 Güzel bir tesadüf olarak, Revelle'nin bu makaledeki ortak yazarı Hans Suess, 1870'lerde Dünya'yı litosfer, hidrosfer ve diğer bölümlere ayırma fikrini ilk kez ortaya atan Avusturyalı yerbilimci Eduard Suess'in torunuydu.

tabakası, doğru aletler kullanıldığında, bundan on binlerce yıl sonra bile tespit edilebilir olacaktır. Bunun, insanoğlunun Dünya üzerinde bıraktığı en uzun ömürlü iz olması gerekmez ancak en yaygın olanlarından birisidir ve atmosferik testler, ilk nükleer patlamadan sonraki yirmi yıl içinde son bulduğundan, zaman çizgisinde oldukça dar bir alana sıkışmıştır. Antroposen resmen onaylanmış jeolojik bir terim haline gelirse –daha çok retorik bir kıskırtma olarak kullanılmaya başlanmış olsa da, jeoloji mesleğinin titiz sınır belirleyicileri artık sıkı ve resmi bir tanım vermeye çalışıyorlar– tüm jeolojik dönemlerde olduğu gibi bunun da bir stratigrafik işarete, öncesinde Dünya’nın Antroposen’e girmediği sonrasında girdiği bir sınır tabakasına ihtiyacı olacaktır. Bu tabakaya genellikle 1950’ler boyunca zenginleşen serpinti tortulları aday gösterilir.⁷

Nükleer serpintilerin küresel ölçekte yayılması sadece geleceğin jeologlarını ilgilendirmiyordu; nükleer karşıtı kampanyacılar için de doğrudan önemliydi. Nükleer testlerden kaynaklanan serpinti, 1950’lerin sonu ve 60’ların başında, yaygın protesto ve siyasi tartışmalara yol açan ilk gerçek küresel çevre sorunu haline geldi.

Milli bombaları yapmak ve test etmekten sorumlu Amerikan Atom Enerjisi Komisyonu (AEC), nükleer testlerle ortaya çıkan serpintilerin insan sağlığına yönelik risklerinin, test sahasından belli bir uzaklıktaki mesafelerde çok küçük olduğuna karar verdi. Kimyager ve AEC komiseri Willard Libby’nin ortaya attığı argümanlardan biri, serpentinin uzun mesafeler katedebilmesi için, kendisinin boş ve temelde durağan olarak gördüğü stratosfere girmesi gerektiği idi. Bu argümana göre, stratosfere çıkan serpinti, on yıl kadar orada kalacak ve bu da onun tüm dünyaya eşit şekilde yayılması için yeterli olacaktı; o kadar yavaş ve o kadar seyreklik bir biçimde geri dönecekti ki, ciddi hiçbir sorun teşkil etmeyecekti.

7 Daha iyi bir aday olduğuna inandığım şeyi sekizinci bölümde sunacağım.

Diğerleri, stratosfer hakkında daha dinamik, serpinti hakkında da daha temkinli bir görüşe sahipti. 1957’de başlayan U-2 uçuş programı, tartışmayı kendi taraflarına çekmeye yardım etti (sonuçlar gizli tutulduğu için tartışmanın tüm tarafları bu sonuçlardan yararlanamamış olmasına rağmen). Öncelikle, serpintilerin çoğunlukla, stratosferin başladığı yirmi kilometrelik yüksekliğin üstüne, bazen dünya ötesi olarak bilinen o bölgeye girmediğine dikkat çektiler. Nükleer serpinti genellikle alt stratosferde ve Libby’nin iddia ettiği on ya da daha fazla yıldan ziyade, tipik olarak sadece birkaç yıl kalıyordu.

Üstelik aşağıya eşit oranlarda inmiyordu. 1940 ve 50’lerde, atmosfer çalışan bilim insanları, tropopoz davranışının –troposfer ile stratosfer arasındaki sınır, yükseldikçe hava sıcaklığının artık düşmemeye başladığı yer olarak tanımlanır– bölgeden bölgeye nasıl değiştiğini kavramaya başlamışlardı. Tropopoz, ekvator da yaklaşık yirmi kilometre yükseklikte, dünya ötesinin tabanında ve bir U-2 kadar yetenekli olmayan hiçbir uçağın ulaşamayacağı bir yerde bulunur. Ancak kuzey ya da güney kutba doğru gittiğinizde tropopoza ulaşacağınız yükseklik azalır; yüksek enlemlerde bu mesafe yaklaşık on iki kilometreye kadar düşer ki bu, sıradan uçakların stratosfere çıkabileceği anlamına gelir. Söz konusu olan bu eğim, stratosferin batıdan doğuya ve doğudan batıya doğru esen rüzgarlara muhatap olmasının yanı sıra ekvatordan kutuplara doğru dolaşmasıyla da ilgilidir. Hava, ekvatordaki troposferden içeri girer ve sanki yokuş aşağı gidiyormuş gibi kutuplara doğru akar. Bir nükleer patlamadan doğan mantar bulutuyla alt stratosfere yükselen serpinti bu akışla taşınır.

Kutuplara doğru giden bu akış, hâlâ eşit bir biçimde dağılmış değildir. Troposferin yükselen ve alçalan hava kütleleriyle sürekli çalkalanması, tropopozun düzensiz olduğu anlamına gelir. Amerikalı meteorolog Oliver Wulf’un dediği gibi, stratosfer hem zaman hem de mekanda iniş ve çıkışları

olan “taşlı bir nehir yatağında” akar. Ve bu akış aynı zamanda kıvrım kıvrımdır. Ekvatordan kuzeye veya güneye doğru hareket eden hava akımı ilerledikçe, Dünya’nın kendi eksenini etrafındaki dönüşü yüzünden, yarımküreye bağlı olarak doğuya veya batıya döner ve bu burulma tropopoza baskı yapar. Bu baskı, troposferin tepesinde akan hava nehirleri –jet akımları– şeklinde gezegenin etrafında dolanan yüksek hızlı rüzgarlarla ortaya çıkar. Bu jet akımlarının olduğu bölgelerde, stratosferden gelen hava, troposferden gelen hava ile başka yerlerde olduğundan daha rahat bir şekilde karışır. Bu durum, serpintilerin yalnızca alt stratosferden Libby ve AEC’nin düşündüğünden daha hızlı indiği anlamına gelmez; aynı zamanda bunu Kuzey Amerika, Avrupa, Rusya ve Çin’in belirli bölgelerinde yani üzerinde kuzey jet akımlarının estiği topraklarda yapmayı tercih ettiği anlamına da gelir.

Stratosferin nükleer serpintinin yavaş yavaş boşalmasını sağlayan bir rezervuar yerine, seçici bir dağıtım mekanizması olduğu yönündeki bu yeni düşünce, 1960 ve 70’lerin önde gelen çevre aktivistlerinden biri olacak biyolog Barry Commoner tarafından ustaca yayıldı. Commoner, 1970’te yayımlanan *The Closing Circle* [Kapanan Çember] adlı etkili bir kitapta, ekolojinin dört kuralını formüle etti. Bunların ilk ikisi şunlardır: “Her şey birbirine bağlıdır” ve “Her şey bir yere gitmek zorundadır”; bu ikincisini açıklayan bir sonuç ise: “İçine bir şeyler atabileceğiniz uzak bir yer yoktur.” Serpintilerin stratosferden geçişi bu kuralların her ikisine de bir örnek teşkil eder. Pasifikte gerçekleştirilen nükleer silah denemeleriyle Amerika’daki çocukların kemiklerindeki radyoaktif stronsiyumu birbirine bağlayan şey stratosferdir. Orası, bazı şeylerin fırlatılıp tutulabileceği uzak bir yer değildir; yerküre sisteminin, kendi karmaşık davranış tarzı olan bir bileşenidir ve aşağıda olup bitenlere sadece iklimsel dinamiklerle değil, aynı zamanda siyasi rüzgarlarla da bağlıdır.

Ozon Tabakası

Stratosfer, ilk büyük küresel çevre sorunu olan nükleer ser-pintide destekleyici bir role sahipti. İkinci sorun olan DDT gibi organik böcek ilaçlarının küresel yayılımının dışında kaldı. Ancak üçüncüde yani ozon tabakasına verilen zararda öncü rolü üstlendi.

Bilim insanları, Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışığında dalga boyu kısa olan ultraviyole radyasyonun olmamasının, atmosferdeki ozon tarafından emilmesine bağlı olduğunu on doku-zuncu yüzyılın ikinci yarısından beri biliyordu ve içlerinden bazıları, ozonun yüksek irtifalarda yoğunlaşmış olduğundan şüpheleniyordu. De Bort'un stratosferi keşfinden kısa bir süre sonra, daha çok kıtaların kayması teorisiyle ünlenen Alfred Wegener, yeni keşfedilen bu kürenin ozona ev sahipliği yapabileceğini öne sürdü ve bunun gerçek doğru olduğu ortaya çıktı.

Stratosfer sadece ozonu içermiyordu, ona sahip olduğu ters karakteri veren şey de ozondur. Ultraviyole radyasyonu em-mek ozonu sıcak tutar. Ultraviyole ışınlar yüksekte daha güç-lüdür; hava, yukarıda daha az yoğundur ve daha kolay ısınır; bu nedenlerle ozonun ultraviyole ışığı emmesi, stratosferin üstünü altından daha sıcak yapar.

Ancak ozon, stratosferin üstte stabilize edici sıcak yapısını ko-ruyarak orada öylece durmaz. Sürekli olarak bozulur ve yeni-den oluşur. Ultraviyole radyasyon, bildiğimiz iki atomlu oksijen moleküllerini, oldukça faal olan oksijen atomlarına ayırır. Bu atomlardan bazıları, iki atomlu oksijen molekülleriyle reaksiyona girerek üç atomlu oksijen moleküllerini yani ozonu oluşturur. Bazıları, daha kararlı olan iki atomlu molekülleri yeniden oluşturmak için mevcut ozon molekülleriyle reaksiyona girer. Ozon moleküllerini, olup biteni daha karmaşık hale getirecek şekilde, ultraviyole ışık da parçalar ve bu eğ-lenceye katılacak yeni oksijen atomlarının salınmasını sağlar.

Birbirine bağılı bu reaksiyonlar ilk olarak 1930'da İngiliz fizikçi Sydney Chapman tarafından açıklandı. Chapman, bazıları sıcaklığa bazıları da ultraviyole miktarına bağılı olan tüm bu reaksiyonların farklı hızlarda devam etmesinin, belli bir zamanda veya mevsimde stratosferin belli bir bölümünde bulunan ozon miktarını nasıl etkilediğini gösterdi. Ozonu oluşturan süreçlerle onu yok eden süreçler arasındaki denge koşullara bağılı olarak değişiyordu.

Chapman'ın olağanüstü derecede etkileyici olan bu çalışması, "ozon tabakası" fikrine yol açtı. Aslında o, iyi tanımlanmış bir tabaka değildir. Ozon, stratosferin büyük bir kısmına dağılmıştır ve en yoğun olduğu yükseklikte bile –dünya ötesinin üzerinde yani yüzeyden yaklaşık yirmi beş kilometre yukarıda– çok zayıf olan havanın dört yüz binde birinden fazlasını oluşturmaz. Buna rağmen eğer iyi tanımlanmış bir tabaka olsaydı, oda sıcaklığı ve deniz seviyesindeki kalınlığı 2.5 mm olan ve insanları büyüleyen oldukça ince bir katman olurdu. 1930 ve 40'larda gerek akademik metinlerde birbirlerine gerekse popüler makalelerde kamuoyuna ozon tabakasından bahseden bilim insanları bu incelikten bahsetme fırsatını hiç kaçırmadılar. Eşmerkezli jeofizik küreler çağında, Dünya'nın bu kadar ince bir kabuğa sahip olabileceği ve insanoğlunun bunu tam olarak ölçebileceği fikri hayranlık yaratıyordu.

Ozon aynı zamanda belli bir kozmik öngörünün delili olarak görülüyordu. *Associated Press*'in, 1933'te, *Smithsonian* Enstitüsü astronomu ve başkanı Charles Abbot'ın çalışmaları hakkında yayımladığı bir rapor, *New York Times*'de heyecanlı başlıklar altında taşı gediğine koydu: "1/8 inçlik ozon tek başına hayat kurtarıyor –Dr. Abbot'ın Dünya'dan 40 Mil Uzak-taki Gaz Duvarına İlişkin Çalışmalarının *Smithsonian* Raporu– öldürücü güneş ışığı engelleniyor." Ancak bu konuyla ilgili böylesine dramatik bir yaklaşım alışılmış bir şey değildi ve bazılarınca hoş karşılanmadı. *The Times*'in bilim editörü Waldemar Kaempffert, bir sonraki haftalık köşe yazısında

meslektaşlarını haber sayfalarında bu rapora verdikleri anlamsız önem yüzünden fırçaladı. Kaempffert, atmosferin birçok yönünün yaşam için gerekli olduğuna dikkat çekti; ozon tabakası özel bir şey değildi. Abbot'ın *The Sun and the Welfare of Man* [Güneş ve İnsanoğlunun Refahı] başlığıyla yayımlanan ve halk için kaleme aldığı yazıda ozon tabakası olmadan yaşamın imkansız olduğu konusu bir paragraf kadar bir yer aldı. Benzer şekilde, aynı dönemin zevkle eklektik bir İngiliz yazarı olan Dorothy Fisk'in *Exploring the Upper Atmosphere* [Üst Atmosferi Keşfetme] adlı kitabında da bu konu çok kısıtlı bir şekilde ele alındı.

Fisk ve Abbot, aslında, ozon tabakasının daha kalın olmaması üzerinde çok daha fazla durdular, zira öyle olsaydı, insanlar daha uzun ve daha yumuşak ultraviyole dalga boylarından da mahrum kalacaklardı. Bu radyasyonun, insan derisinin D vitamini üretmesine neden olan güneş ışığının bir bileşeni olduğu yakın zaman önce gösterilmişti; daha az ultraviyole ışın yüzünden daha fazla kemik hastalığı (raşitizm) oluyordu. 1930'larda raşitizm ve vitaminler, gezegenimizin yaşanabilir olmasıyla ilgili bazı soyut kavramlardan çok daha fazla ilgi görüyordu. Bayan Fisk, ozon tabakasının beşeri herhangi bir etkinin ötesinde olduğuna dikkat çekti; vitaminlerse, gide rek daha fazla mutfakta yer alan gazlı ocaklarda aşırı pişirme yüzünden yok olabiliyordu. İnsanların odaklanması gereken türden tehditlerin birisi buydu.

Bunların hiçbirinin hiçbir yerinde, bugün ozon tabakasıyla neredeyse eşanlamlı görülen "kırılğan" kelimesi, kimse tarafından kullanılmadı. Evet, tabaka inceydi ama sağlam olduğunu düşünmemek ve kalıcı olmasını beklememek için hiçbir neden yoktu. Chapman, evreni, ultraviyole ışınların ortaya çıkaracağı şekilde görmenin çok şey öğreteceği düşüncesiyle gökbilimcilerin yararına ozon tabakasında geçici delikler açma olasılığıyla ilgili spekülasyonlar yaptı fakat bu pek de ciddi bir öneri değildi ve zamanla, ultraviyole teleskopları uy-

dulara yerleştirme ihtimali çok daha pratik görünmeye başladı. 1950’lerde, yaşamın erken dönemleriyle ilgilenen birkaç bilim insanı, fotosentezin atmosfere önemli miktarda oksijen sağlamasından önce ozonun olamayacağı ve dolayısıyla çok daha fazla ultraviyole ışın olması gerektiğini düşündü. Ancak ozon tabakasının nasıl başladığının işaretlerini görmüş olsalar da sonunun nasıl geleceğine dair herhangi bir öngörde bulunmadılar.

Bu durum 1960’larda değişmeye başladı. Yeni veriler, Chapman’ın parlak kimyasal analizinin bütün hikayeyi kapsamadığını gösterdi; güneşten gelen ultraviyole ışınların gücü (artık doğrudan uydular tarafından ölçülebiliyordu) göz önüne alındığında, stratosferde Chapman kimyasının öngördüğünden daha fazla ozon üretilmesi gerekiyordu. Chapman’ın kararlı ozon düzeyine ilişkin açıklaması, üretim hızı ile yıkım hızı arasındaki dengeye bağlı olduğundan, daha yüksek bir üretim düzeyi, fazladan yıkım süreçlerinin de olması gerektiği anlamına geliyordu. Stratosferde bol miktarda bulunan gazların hiçbirisi bundan sorumlu gibi görünmüyordu, dolayısıyla suçlu, ozonun kendisinden bile daha düşük konsantrasyonlarda bulunan bir eser gaz olmalıydı.

Bu, her şeyden çok, ozon tabakasının gerçekten de kırılgan olabileceğine dair endişelere kapı araladı. 1960’ları ozonu yok etmekten sorumlu eser gazları aramakla geçirenlerden biri olan Harold Johnston, daha sonra, başlangıçta insanların sırf atmosfer çok büyük olduğu için “insan müdahalesine karşı dayanıklı olduğunu varsayma eğilimi” gösterdiklerini düşündüğünü söyledi. Ne de olsa o zamanlar kişi başına bir milyon tondan fazla atmosfer düşüyordu (nüfus artışı yüzünden bu rakam şimdi bir milyondan biraz daha azdır). Her insan için yüzlerce ton karbondioksit vardı ve çoğu zaman inceliğiyle öne çıkan ozon tabakası bile her birine bir tondan fazla düşüyordu. Bu miktarlar yerküre sistemini dokunulmaz kılıyor gibiydi çünkü bu sistem, kımıldamayacak kadar büyük görünüyordu.

Fakat Johnston'ın ilgilendiği eser gazlar –bilim insanlarının NO_x olarak kısalttığı nitrojen oksitler– kendi ağırlıklarının üzerinde bir yumruk atmayı başardılar. Her NO_x molekülü, stratosferin kimyasal dengesini, birçok ozon molekülünü ortadan kaldıracak şekilde değiştirebiliyordu. Dolayısıyla, kişi başına sadece birkaç kilogram NO_x bir fark yaratabilirdi; Johnston, beşeri endüstrinin kasıtsız bir biçimde ürettiği küçük ama yeterli bir miktar NO_x 'in küresel bir değişime yol açabileceğini belirtti. Burada genel bir ders vardır: İnsanoğlu yerküre sisteminin işleyişinde fark yaratacak iki yol bulmuştur. Bunların ilki, ya özverili bir şekilde çiftçilik yaparak geçirilen bin yıl ya da fosil yakıtların yakılmasına adanmış bir yüzyıl gibi büyük ve tüm insanlık çapında bir çabayı gerektirir. Diğer ise NO_x 'in stratosferde yaptığına benzer büyük bir fark yaratan küçük bir şey, bir kaldıraç bulmayı gerektirir. Aynı şey, ileride göreceğimiz gibi, bu tür farklılıkları bilinçli bir şekilde yapmak istediğinizde de geçerli olacaktır. Yerküre sistemini değiştirmenin anahtarı güçlü bir kaldıraç bulmaktır.

1960'lara gelindiğinde Amerika, SSCB, İngiltere ve Fransa'da daha hızlı uçabilmek için daha yükseğe çıkacak yeni uçaklar geliştirme planları vardı; bu sırada ozon tabakasına egzozdan NO_x enjekte etmiş olacaktı. (O zamanlar birçok uçak, şimdi olduğu gibi, tropopozun alçak olduğu yüksek enlemlerde stratosferden geçiyordu ancak bu trafik, neredeyse tamamı daha yüksek irtifalarda bulunan ozon için kendi başına bir tehlike oluşturmuyordu). Bu arada roketler stratosferde ilerlerken arkalarında NO_x ile birlikte başka gazlar da bırakmaya başladı ve eğer Dünya gerçekten bir “uzay çağına” eşitindeyse, çok daha fazla roket olacaktı. Roketlerin ve jetlerin ozon tabakasına küresel ölçekte zarar verme olasılığı, bilim insanları, askeri planlamacılar ve ilgili çevreciler tarafından 1960'ların ortalarından bu yana araştırılmaktadır.

Amerika 1970'de süpersonik uçakların geliştirilmesine devam etmeme kararı aldı. Bu, çevre tarihi için çok önemli bir andı.

Popüler bilim ve bilimkurgu dergilerinin kapaklarını uzun süredir süsleyen türden bir fütürist teknoloji, ilk kez, kısmen çevreyle ilgili kamusal endişeler yüzünden terk edilmişti. Stratosferin sıhhatiyle ilgili korkular bunda yalnızca belli bir rol oynamıştı. Söz konusu uçaklardan çıkan egzoz gazlarının vereceği zararla ilgili inandırıcı bilimsel deliller toplandığı sıralarda, bu program, yüksek maliyeti ve sonik patlamalarla ilgili daha az küresel olsa da daha acil bir çevresel kaygı yüzünden zaten kaderine terk edilmişti. Ancak, Johnston ve Paul Crutzen'in – birkaç on yıl sonra, "Antroposen" terimini bilim sözlüğüne sokacak olan, cin fikirli ve keskin zekalı bir atmosfer kimyacı– NO_x ile ilgili keşifleri üzerine kurulan sonraki tüm araştırmalar, 500 süpersonik uçaktan oluşan bir filonun stratosferik ozon seviyesini dünya çapında yüzde 10 ila 20 oranında azaltacağını gösterdi. Ozon tabakasının kırılgan olduğu ve beşeri faaliyetlerin yerküre sisteminin temel bir bölümünü önemli ölçüde etkileyebileceği düşüncesi kesin bir biçimde yerleşmişti.

Ancak sonuçta, insanların ozon tabakasına ciddi zararlar vermeye başlaması, jet egzozlarının ürettiği nitrojen oksitler yüzünden olmadı. Bu, buzdolaplarını soğutmak, saç sprelerini fişkırtmak ve başka birçok endüstriyel kullanım için üretilen kloroflorokarbonlar (CFCler) nedeniyle oldu. CFCler, ozon tabakasına Bayan Fisk'in vitaminleri yok eden gazlı ocakları kadar uzaktı.⁸ Ancak stratosfere yükselecek kadar uzun ömürlü ve kimyasal olarak atıllardı ve oraya ulaştıklarında ultraviyole ışınlar klor atomlarını ozon yıkımında rol alan güçlü bir katalizörler haline getirecek şekilde parçalıyordu. Bu reaksiyonlar onlara inanılmaz bir avantaj sağladı: Tek bir CFC molekülü 100 bin ozon molekülünü yok edebiliyordu. Dünya çapında yılda kişi başına birkaç yüz gram üretilmesi, yerküre sistemi üzerinde gerçek bir etki yaratmak için

8 CFClerin donanımlı mutfaklarda söz konusu gazlı ocakların yanında bulunan buzdolaplarını çok daha güvenli hale getirdiğini belirtmekte fayda var; daha önceleri soğutucu olarak amonyak kullanılıyordu ve bazen sızarak insanları öldürüyordu. CFCler maliyeti azaltmanın yanında hayat da kurtarıyordu.

yeterliydi. CFCler 1970’lerde birçok kişi tarafından muhtemel çevresel bir felaket olarak görölmeye başladı.

1985’te ozon tabakasında Antarktika üzerinde bir delik keşfedilmesinin ardından, sivil araştırmalara adanmış bir NASA U-2 uçağı bu deliğı araştırmak üzere gönderildi ve uçuş tarihindeki en uzun ve en tehlikeli görevlerin bazılarını gerçekleştirdi. Bu çalışmaya öncölük eden atmosfer kimyacılardan Jim Anderson, kendisinin ve meslektaşlarının Antarktika semaları için yaptığı aletleri oraya getirmek için birkaç adamın hayatlarını nasıl riske attıklarını bilmenin yükünden bugün hâlâ dokunaklı bir şekilde söz etmektedir. Elde ettikleri veriler, Anderson ve meslektaşlarının, söz konusu deliğın CFCler tarafından açıldığını kanıtlamalarını sağladı. Bu uçuşlar devam ederken, diplomatlar CFC üretimini ortadan kaldırmak için bir anlaşma –Montreal Protokolü– üzerinde müzakere ediyorlardı. Bu protokol, belki de bugüne kadar yapılan en başarılı küresel çevre anlaşması haline geldi.

Stratosfer, yirminci yüzyılın başında keşfedildiğinde, sadece sayılarla tarif edilen ve yalnızca araçların ziyaret edebildiğı saf bir bilim alanıydı. Ortalama bir insan ömrü kadar sonra, kendine has özellikleri, cesur pilotlar tarafından kelimenin tam anlamıyla Dünya’nın en uç noktasına kadar tespit edildi, alt kısmından yüz binlerce hava yolcusu geçti, bütönlüğünü savaş ve sanayi ürünleri tarafından tehdit edildi ve devletler korunmasını üstlendi.

Perde Yapanlar

Bir sonraki insan ömrü başka ne gibi değışiklikler getirebilir? şimdi onu görelim. Yirmi iki kilometre yüksekte, U-2’ye benzer ancak daha hantal, uzun ve gergin kanatları için daha güçlü omuzlara sahip bir uçak hayal edin. Bu uçağın her seferinde havadan örnekler toplamak yerine havaya, arkasından görünmez bir şekilde çıkan birkaç tonluk bir sıvı püskürttüğünü, bu

sınının sabit hava katmanlarına yayılarak tozdan daha ince bir aerosol tabakası oluşturduğunu düşünün. Rüzgarın yönüne bakın ve uzakta başka bir uçağın da bunun aynısını yaptığını görün. Bu uçaklar, buraya, araştırma ya da casusluk yapmak için değil, ufuktaki sisi bir yöne doğru biraz parlatarak ve aşağıdan görülen gökyüzünü hafifçe aydınlatarak yayılan bir perde oluşturmak için uçan küçük bir filonun parça olsun. Bu, stratosferden Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışığını bir miktar azaltan bir tabaka olacaktır.

Bu büyük yuvarlak dünyada bu yeni kanatlar bir çizgi çizmeye gelirler.

İklim jeomühendisliğinin en çok tartışılan biçimi, dünyayı aksi takdirde olacağından daha serin hale getirecek böyle bir perde ile kaplama konusudur. Buna benzer bir fikre bağlı olarak korkulması gereken pek çok şey vardır. Bu kanatlar ve taşıdıkları pilotlarla ilgili hikayeler –stratosferi, altındaki dünyanın geleceğine bağlayan hikayeler– kandırılmış budalaların, süpersonik taşımada (SST) uçak kanatlarının gövde ile yaptığı açının geriye doğru (ters) olacağı veya imparatorluk hikayeleri gibi masallar olabilir. Eğer bu uçak pilotlara ihtiyaç duyacak şekilde tasarlanmışsa, o perdeleri oluşturan pilotlar, bir ülkenin tek başına karar verdiği bu işi askeri üniforma içinde, disiplinli bir şekilde yapıyor ve yaptıklarının şimdi ya da gelecekte başkalarına verebileceği zararı umursamadan çevreyi, o ülkenin kendi çıkarlarına göre değiştirmeye çalışıyor olabilirler. Kendilerine yapılacak olası saldırılardan korunmak için önlemler alıyor olabilirler. Kendi jeomühendislikleri, başkalarına karşı bir saldırı teşkil ediyor olabilir.

Fakat bu pilotlar sadece, Federal Express veya easyJet için uçağı A şehrinden B şehrine götüren üniformasız profesyonel çalışanlar gibi, becerikli görevliler de olabilir. Haklı bir konumu olan ve yaptıklarına ilişkin ikna edici nedenler sunan bazı uluslararası kuruluşlarla sözleşme imzalamış olabilirler. Yaptıkları işi tatsız bir zorunluluk olarak görmelerine rağmen bundan gurur ya da sevinç de duyabilirler. Buraya gelmek

için para ödeyen turistlere gülümseyip sohbet etmekten hoşlanıyor olabilirler, bu perdeyi oluşturanları tarihi ve kurgusal isimlerle renklendirebilirler –*Beagle and Challenger* [Tazı ve Meydan Okuyan], *Pequod and Surprise* [Pequod ve Sürpriz], *Eagle and Discovery* [Kartal ve Keşif], *Tannhauser Gate and The Ends of Invention* [Tannhauser Kapısı ve İcadın Sonu] ve *But the Sky, My Lady! The Sky!* [Fakat Gökyüzü, Leydim! Gökyüzü!] Ya da uçuş takımı veya gömlek değil de bir cübbe giyiyorlardır. Belki de Dünya’da yaşayan insanları aşırı iklim şartlarından koruyan bir tarikatın müntesipleridir.

Ve ister birer rahip ister savaşçı ister fanatik ister görevli olsunlar, hepsi kandırılmış da olabilir.

Kitabın bu bölümünün geri kalanı, enerjinin yerküre sisteminde nasıl aktığı, stratosferdeki küçük parçacıklardan oluşan perdelerin bu akışı nasıl değiştirdiği ve bu tür perdeler kullanmanın ne gibi sonuçlar doğurabileceğiyle ilgili mevcut bilimsel anlayışı inceliyor. Anlatılanlar, detay, soyutlama, tarih, teori, bilgisayar modelleri ve ahlak felsefesi içerecektir.

Bununla birlikte ara sıra, uzayın kenarında duran dağınık bir ışık oyunu, bir sınır, bir koruma ve bir kırılmanlık olarak stratosferin kendisine de değineceğiz.

Oradaki insanları düşünün. Onları kaldıran kanatları ve kanatları oluşturan hikayeleri düşünün. Fakat o kanatlara bakmaya verdiğim değeri anlamak için, böyle bakmanın bir öncelik hakkı olduğunu unutmayın. Çoğu insan kanatlara bakmayacaktır; onları, çok çok uzaklardaki melekler gibi dokunulmaz göreceklerdir. Bugün kanatlara bakanların çoğu, nereye uçacakları veya kimin emriyle uçacakları konusunda çok az söz sahibi olabilir. Bazıları merakla bakarken diğerleri endişe, korku ve öfkeyle bakıyor olabilir.

O kanatları kim yaptı? Bunu neden yaptılar? Başka hangi amaçlar için kullanılabilirler?

Uçak yeni bir rotaya girerken güneşi başka hangi sembol yakalar?

HAVA ADINDA BİR GEZEĞEN

*İnsanlığın dünyaya yeniden entegrasyonunu
ima etmekten çok uzak olan küresel çevre kavramı,
bir ayrılık sürecinin doruk noktasını işaret ediyor.*

Tim Ingold, "Globes and Spheres:
The Topology of Environmentalism" (1993)

Amerikalı test pilotu Tony LeVier'in ilk U-2 uçağıyla havalanmasından altı yıl sonra, Yuri Gagarin stratosferin öteki tarafına çıkan ilk insan oldu. U-2'lerin gözetleyeceği roketler, isteğe göre insanları ya da silahları gezegenin etrafına ya da yörüngesine fırlatacak kadar güçlendi. Süper güç olma yarışı, bu füzelerin yeteneklerinin rekabetçi bir şekilde ortaya konmasını gerektiriyordu ve öyle de oldu. Gagarin'in uçuşunun ardından henüz on yıl geçmemişken Amerikalılar aya kadar gittiler ve dünyayı sona erdirmeye endişesi doğuran bu çatışma, başka bir şekilde anlaşılmaya başlandı.

Bu bölüm, bu yeni anlayış ve beraberinde getirdiği değişiklikler hakkındadır. Bu, yerküre sisteminin nasıl çalıştığıyla –onu nasıl değiştireceğiniz konusunda çok derin düşünmeden önce anlaşılması gereken bir şey– ve insanların bu konuda ne düşündüğüyle ilgilidir. Dolayısıyla hem iklimbilimi hem de kendi çevreleri hakkında ne düşündükleriyle ilgilidir.

Uzay çağından önce çevre, tanımı gereği, hep kişinin içinde bulunduğu yerdi. Çok yakındaydı; düzenlenmesi gerektiğinde göze batıyor, ipe asılan çamaşırları kirletiyor, çeşmeden su içen çocukların midesini bulandırıyor. Uzaktaki yabani doğanın korunmasının siyasi bakımdan merkezi bir önemi yoktu fakat temel çevresel kaygı, insanların yakın çevrelerinin niteliğini korumaktı. Temiz havayla ilgili yasal düzenlemeler, havanın kendisi için değil, onu soluyan insanlar için yapıldı.

Ancak 1960’larda çevrecilik, alanını uzaklara ve tespit edilmesi zor olan şeylere kadar genişletti. Nükleer serpinti ve böcek ilaçlarından kaynaklanan yeni tehditler ancak uzmanlık bilgisiyle algılanabilirdi ve üstelik bu tehditler bütün dünya ölçeğinde faaldti. Birbirine bağlı gıda ağları, DDT’yi Iowa’daki mısır tarlalarından alıp Antarktika foklarının yağlarına kadar götürebiliyordu, tıpkı stratosferin Bikini Mercan Adaları’na bırakılan nükleer atığı Almanya’daki bebeklerin diş minesine iletebilmesi gibi. Bu tehditleri görmek ve bunlarla mücadele etmek, herkesin yakın çevresini aşan ve tüm dünyayı kapsayan bilimsel bir bakış açısı gerektiriyordu. Bu, dünya çapındaki soğuk savaş mücadelesinin kendi amaçları için benimsediğine benzer bir bakış açıсыydı –küresel bütünü daha net görmek için gündelik hayatın dışında kalan bir bakış açısı.

Bu yeni bakış açısı çevreciliği güçlendirdi. Aynı zamanda değiştirdi de. Çevreye verilen zarar eskiden apaçıkken şimdi belirsizleşmişti; sağlıklı görünümü değiştirmeyen bu gizli tehditler karşısında duyulara güvenilmemeliydi. Çevre kirliliği artık dünyanın üzerinde açıkça görülen bir leke değil, dünyanın içindeki gizli bir hastalıktı: dünyanın içini boşaltıp kendisinin zehirli bir kopyasına dönüştürebilecek bir hastalık. Kanserın çevreci düşüncedeki yeni rolü, bu endişeyi daha da güçlendirdi. Serpintiyi korkutucu yapan ilk şey kanserdi ve kısa bir süre sonra aynı şeyi böcek ilaçları için de yaptı –Rachel Carson, bu benzerliği, pestisit kalıntılarını küresel bir çevre sorunu haline getiren 1962 tarihli *Sessiz Bahar* adlı kitabının

hemen başında kurdu. Seni öldürdüğünü henüz bilmiyorken vücudunu içeriden yiyip bitirmeye devam eden kanser, dünyada yaygın bir yanlışlık olduğu duygusuyla bedensel bir bağ kurulmasını sağladı. Tüketim ekonomisinin kontrolsüz bir biçimde büyümesi korkusuyla içerideki kontrolsüz büyüme korkusunu eşleştirdi.

Çevresel bir eylem için, sakinlerinin deneyimlediği dünya yerine bilimin ortaya koyduğu dünya eskiden olduğundan daha önemli hale geldikçe, bu bilimsel gezegen bir çevresel kaygı konusu haline geldi. Zira Dünya'nın kendisinin korunması gerekiyordu. Bu şaşırtıcı görünebilir. Sonuçta bu gezegen çok büyük bir yerdir. Beşeri sakinlerinin her birine sadece bir milyon ton atmosfer değil, bir milyar ton okyanus ve bir trilyon kez trilyon ton litosfer sunmaktadır. Böyle bir dev kendi kendine bakamaz mı?

Ama belki de Dünya'nın büyüklüğü, havasının temizliği gibi, sadece başka bir yanılsamaydı. Belki de Dünya, insanın basit algılarının aksine küçüktü.

Dünya'nın küçüldüğü hissi pek yeni sayılmazdı. Bu, Avrupalıların gezegenin uzak diyarlarını kendi çıkarları için ilk kez ilhak etmeye başladığından beri, Avrupa düşüncesinde öyle ya da böyle tekrarlanan bir tema olmuştu. Yirminci yüzyıla gelindiğinde, gezegenin küçülmemekte olduğu gerçeğini belirtmek dışında herhangi bir nedenle gezegenin büyüklüğünden bahseden birini bulmak zorlaştı. Sürekli olarak bu öngörünün şaşırtıcı olduğu söylendi ama aslında değildi. Dünya önce vapurlar, kablolar ve tarifelerle, ardından radyolar, uçaklar ve genel kurmaylıklarla birbirine bağlanmıştı. 1960'lara gelindiğinde, bir dünya savaşı için seferberliğe geçmek ve gerekirse gerçekten savaşmak aylar değil, dakikalar meselesi haline gelmişti. John F. Kennedy, 1963'te atmosferik testlerin yasaklanmasını ve böylece ilk küresel çevre sorununun geride kalmasını sağlayan konuşmasında, küçülen bu küreyi insanlığın

geleceğine ilişkin tartışmaların ana gerçeği haline getirdi: “Son tahlilde, temel ortak bağımız, hepimizin bu küçük gezegende yaşıyor olmasıdır.”

Kennedy’nin iki yıl önce başlattığı Apollo programı, bu düşüncenin belirleyici ve ikonografik bir delilini sağladı. Apollo astronotları deneysel ve fotoğrafik deliller elde ettiğinden herkes dünyanın küçük olduğunu söylemeye başladı. U-2’den bakıldığında gökyüzü kadar büyük görünen Dünya, Ay’dan bakıldığında bir barın diğer ucundaki kül tablası gibi görünüyordu. *Apollo 8*’in pilotu ve *Apollo 13*’ün komutanı Jim Lovell şöyle demişti: “Dünyayı, bildiğiniz her şeyi, sevdiklerinizi, işinizi, Dünya’nın kendi sorunlarını, başparmağınızın arkasına saklayabilirsiniz.”

Dünya’nın artık bir yüzü ve bir kişiliği vardı. 1970’lerde Amerika’da başlayan Dünya Günleri’nde bir kutlama ve koruma nesnesiydi. Olağanüstü, eşsiz, küçük ve kırılmalı. Lowell’ın, *Apollo 8*’den aldığı, bir başparmakla kapatılabilen bir disk şeklindeki çarpıcı Dünya imajı, bilinçaltında olsa da akla başka bir disk ve tuşu getirdi: Bir parmakla, binlerce küçük roketi daha düz ve daha ölümcül rotalarda harekete geçirecek “nükleer” düğmeyi. Soğuk savaş ve çevre hareketi, yalnızca dünyayı bir bütün olarak izleme ve anlama konusuna duyulan yeni ilgiyle bağlantılı değildi; küçüklüğünün kırılmalıyla eşit sayılabileceğini anlamalarıyla da ilgiliydi.

Kırılmalı basit bir şekilde küçük boyutlu olmanın bir sonucu gibi görünebilir ama öyle değildir; bir bilyeye basmayı deneyin. Veya 1930’larda insanların ozon tabakasıyla ilgili ne söylediklerini düşünün. Çarpıcı derecede ince olması onu ilginç kılan şeyin daima bir parçasıydı. Kırılmalı olduğu düşüncesi ortaya hiç çıkmadı bile. Yerküre sisteminin zengin, parlak, büyüleyici filigranları olan girdap ve desenlerinin, 400 bin kilometre öteden bakan insanlara, sözgelimi, imkanlar ve umutlarla dolu olması yerine kırılmalı görünmesi, bu insanların ona nasıl baktığını yansıtıyordu.

Beşeri dünyanın kırılğan olduğunu kabul etmek hiçbir şekilde yanlış değildir. Ancak Apollo programını takip eden yıllarda çevreci retoriğin yaptığı gibi, bu kırılğanlık duygusunu geze- gene aktarmak en azından bana itici geliyor. Gezegenin, üze- rinde yaşayan insanlara sunduğu nimetleri korumak ve ge- liştirmek yerine “gezegeni kurtarmaktan” söz etmek, çevresel söylemleri, ahlaki nedenlerden ayırıyor ki bu nedenler beni daha çok ilgilendiriyor. Bunu bir kelime oyunu olarak görebilirsiniz: İnsanların “gezegeni kurtarmaktan” bahsettiğinde aslında sadece “çevreyi korumayı” veya “doğayı korumayı” kast ettiklerini düşünebilirsiniz ve tabii ki bir dereceye kadar haklısınız. Ancak gezegeni kurtarma retoriği, odak noktası- nın, ustaca ve yaygın bir şekilde kaymasına neden oluyor.

Doğayı hem dışarıda hem de içeride, hem toplumsal alanın ötesinde hem de insan doğası gibi bireyin kalbinde bulunan bir şey olarak birbiriyle örtüşen ve çelişen biçimlerde düşün- mek, yüzyıllardır sanatın, felsefenin, tartışmaların ve sessiz te- fekkürlerin malzemesi olmuştur. Gezegeni kurtarma retoriği çevresinde böyle birikmiş bir nüans yoktur. Gezegeni kurtar- ma retoriği, “kahrolası, bu tüm gezegenle ilgili” diyerek çıta- yı yükseltmeye çalışarak doğal ve beşeri olan arasındaki bağı zayıflatmaktadır. Kaygıyı, sizin veya başkalarının hayatından, soyut bir jeofizik varlığın iyi durumda olmasına doğru kay- dırmaktadır. Bir uzay gemisinde olduğu gibi, çevresel kaygıyı dünyanın dışına taşımaktadır.

Ayrıca, gezegenin kendisi için endişe etmek, açıkçası yersiz- dir. İnsanların ve toplumların aksine, insanların sevdiği ve bağlandığı birçok yer ve canlının aksine gezegen hiçbir şe- kilde kırılğan değildir. Dört milyar yıldır sakinlerini galaktik toz bulutlarının içinden geçiren, nükleer silahlarınkine denk enerji açığa çıkaran asteroit çarpmalarından sağlam çıkaran, yakın süpernovaların şok dalgalarını kazasız belasız atlatan ve bu zaman zarfı içinde parlaklığını yüzde 40’tan fazla ar- tıran güneşin meydan okumalarına uyum sağlayan Dünya,

yaşanabilir bir gezegen olmaya devam ediyor. Dünya, muaz-
zam bir deneyime sahiptir zira tarihi, evrenin yaşanın üçte
birine kadar uzanmaktadır. Bu süre zarfında karşılaştığı
tehlikelere bakılırsa kırılğan bir gezegen olmaktan çok uzak
görünüyor.⁹

Apollo'dan çekilen fotoğrafların yorumlarında vurgulanan
bir başka şey, Dünya'nın izole görüntüsüydü. Dünya'yı kü-
çük ve kırılğan görmek onu nasıl ilgilenilmesi gereken bir
nesne gibi gösteriyorsa, yalnız görmek de destekten yoksun
gösteren ve dolaylı olarak değerini artıran bir vizyondur.
Ancak Dünya, uzayın kadife arka planında, kadife bir yas-
tık üzerindeki bir inci tanesi gibi gösterildiğinde tam bir
yalnızlığa bürünen bu izolasyon, hayati ölçüde yanıltıcı-
dır. Maddi olarak doğrudur, başka hiçbir dünya insanların
yaşadığı dünyaya baskı yapmaz. Dünya'ya uzaydan çok az
miktarda madde gelir: çiseleyen tozlar, bazı yıldızlardan ge-
len çok küçük parçacıklar, rahatsız edici ama iyi ki nadir
görülen asteroitler. Ve daha az miktarda madde de ayrılır.
Güneş rüzgarının ekzosferden kapıp götürdüğü sürekli bir
gaz fısıltısı vardır ve son birkaç on yılda yüzlerce uzay ara-
cı fırlatılmıştır (ancak düşük yörüngelerde bulunanlarının
çoğu sonunda Dünya'ya geri döner). Bu uzay araçlarının
tonajları önemsiz olsa da askeri, bilimsel, ekonomik ve kül-
türel değerleri çok büyüktür.

Ancak, madde yerine enerjiyi düşündüğünüzde her şey çok
farklılaşır. Enerji, gezegenden dışarıya ve dışarıdan gezegene
doğru olağanüstü bir hızla akar. Bu kozmik enerji akışının
anlaşılması, yerküre sistemini, iklim değişikliği bilimini ve ik-
lim jeomühendisliğinin potansiyelini idrak etmenin temelini
oluşturur.

9 Belki Dünya'nın, evrenin yaşının kayda değer bir kısmından beri var olma-
sı sizin için önemli değildir ama eğer Dünya'nın nispeten büyük yaşı önemli
değilse, kozmik olarak ihmal edilebilir boyutu neden önemli olsun ki? Dünya
hakkında, ne kadar hayret verici olduğu gerçeğinden hareketle karar verin.

Dünya Şelalesi

Enerji, Dünya'ya 170 bin trilyon vatlık güneş ışığı şeklinde gelir. Bu sağanağın üçte birinden biraz azı uzaya doğrudan geri yansır. Bu geri yansımanın bir kısmından, ışığın atmosferin moleküllerine çarparak saçılması sorumludur; aşağıdan baktığında gökyüzünü mavi yapan şey işte bu saçılmanın bir sonucudur. Aerosollere çarparak saçılma da bir rol oynar ve güneş ışığının yaklaşık yüzde 7'si uzaya bu şekilde geri döner. Ancak gezegenimizden yansıyan güneş ışığının büyük kısmı bulutlardan saçılır.

Gezegenimizi kendi dünyamızdan anlatmak bakımından, uzay çağından önce işlerin böyle tasavvur edilmediğini belirtmek ilginç gelebilir. Yirminci yüzyılın ilk yarısında, bilimkurgu dergileri, *National Geographic* ve astronomik gözlemevleri için çalışan sanatçılar ve konuyu önemseyen ileri görüşlü diğer kuruluşlar, insanların Dünya'ya uzaydan baktığında göreceği şeyin gezegenin insanlar için önemli olan yönleri yani kıyıları, şehirleri, coğrafya derslerinde öğrenilen özellikleri olacağını varsaymışlardı. Farz ettikleri bu Dünya, öğrencilere sınıflarda gösterilen, seyrek bulutlar altında kalan önemli yerlerin görüldüğü kürelere benziyordu. Halbuki gezegenimizin uzayın uzak mesafelerinden çekilen fotoğraflarında manzaraya hakim olan şey coğrafya değil meteorolojidir. Alçak yörüngelerde parlak çöller, karanlık denizler ve yemyeşil ormanlar görürsünüz fakat aya doğru çıktıkça, sürekli değişen bulutlar tüm manzaraya hakim olmaya başlar, ekvator çevresinde kırık bir şerit, ılıman bölgelerde beyaz bir dalga dizisi, okyanusların üzerinde tayfun düğümleri görürsünüz. Müzmin bir deniz romantiği olan bilimkurgu yazarı Arthur C. Clarke, Dünya eğer uzaydan keşfedilmiş olsaydı, yüzeyinin çoğunun sularla kaplı olduğu göz önüne alınırsa, Toprak (*Earth*) yerine Okyanus diye adlandırılırdı diyerek latife yapmayı severdi. Fakat denizler çok az ışık yansıtır. Ay mesafesinden görülen

manzara açısından Dünya için en uygun isim Bulut veya Hava (*Weather*) olacaktır.

Bulutlar, aerosoller ve yerin yüzeyi, güneş ışığının toplamda yüzde 30'unu geri yansıtır. Artakalan miktar dikkate değerdir: 120 bin teravat, gezegenin endüstriyel uygarlığında akan gücün neredeyse 10 bin katıdır; dünyadaki tüm reaktörler, türbinler, arabalar, fırınlar, kazanlar, jeneratörler ve ocaklar yaklaşık 15 teravatlık bir güç oluşturur. Buna rağmen söz konusu 120 bin teravatlık akış o kadar yumuşaktır ki, neredeyse hiç fark etmezsiniz; sadece dünyanın olduğu gibi hissedilmesini sağlar.

Bu kadar büyük bir enerjinin ne anlama geldiğini anlamamanın bir yolu şudur: Niagara'nın en tanıdık, en güçlü ve en dramatik çağlayanı Horseshoe Şelalesi, on dokuzuncu yüzyıl Amerika'sında, doğanın büyük gücünün belki de en ünlü temsilcisiydi. Bu şelaleyi bir bütün olarak hayal edin; püskürüşünü, kükremesini ve sonsuzluğunu hissedin. Şimdi şelalenin yüksekliğini yirmi kat artırın; Venezuela'daki Angel Şelalesi'nden daha uzun, yüksekliği bir kilometreye kadar ulaşan bir çağlayanınız olur. Sonra su akışını on kat artırın. Bu, şelalenin ağzının her bir metresinden saniyede üç yüz ton su akacağı anlamına gelir ki Niagara'da bu miktar otuz tondur.

Ve sonra bu şelaleyi genişletin. Üzerine her saniye milyarlarca ton su düşecek şekilde bir kıtayı boydan boya kaplayana kadar genişletin. Sonra 40 bin kilometre uzunluğundaki ekvatoru, bir kilometre yüksekliğinde bir su duvarıyla çevreleyene, uçurumun içinde yaşayan dev bir deniz canavarı gibi aralıksız, sağır edici bir gök gürültüsüyle dünyayı ikiye bölene kadar genişletmeye devam edin. 120 bin teravat işte böyle görünecektir. Yaşadığımız dünyanın işleyişini sağlayan güç işte böyle bir şeydir.

Dünya genişliğindeki böyle bir şelaleyi gerçeğe dönüştürmek için, Dünya'nın emdiği bütün güneş ışığının, şelalenin dibindeki okyanustan şelalenin tepesindeki okyanusa su pompalayan korkunç motorları çalıştırmak için kullanılma-

sı gerekir. Gerçek dünyada, güneş ışığının büyük bir kısmı gerçekten de fizikçilere göre motor sayılan şeylere güç sağlar ancak bunlar boyut ve etki bakımından çok daha çeşitlidir. Bunların en büyüğü, Dünya genişliğindeki şelalenin korunç motorlarının yaptığı yapıyı yapar yani suyu yükseklerle kaldırır. Suyun yeryüzünden buharlaşarak bulutlara dönüşmek üzere yoğunlaşması ve ardından başka yerlere düşmesi, gezegenimizin ısı olarak emdiği enerjinin yaklaşık üçte birini kullanır. Alize rüzgarları ve büyük okyanus girdaplarından bir yaz akşamının tatlı deniz meltemine kadar bütün rüzgarları ve okyanus akıntılarını ise daha küçük motorlar sağlar. Bunların hepsi, ısıyı, sıcak ekvatorlardan alarak soğuk kutuplara götürür. Dünya'nın motorları daima sıcaklık farklarını birbirine bular. Ve en küçük ama en hayati motorlar olarak yerküre sisteminin bitkilerindeki moleküler motorlar, algler ve fotosentetik bakteriler, bu güneş ışığının yaklaşık binde birini, hidrojen iyonlarını hücre zarlarından geçirmek için kullanır. Fotosentezin motorları bunlardır ve onların bu fonksiyonu sayesinde güneş ışığının küçücük bir parçası kimyasal enerjiye dönüştürülür. Şimdiye kadar gördüğünüz bütün canlıların enerjisini sağlayan iş, işte budur.

Bütün bu motorlar, herhangi bir yerdeki diğer tüm motorlar gibi, ortak bir özelliği paylaşır. Enerjiyi dağıtırken yok etmezler. Motorlar enerjiyi, kullanılamayacak bir biçimden kullanılabilir bir biçime dönüştürür –bir mühendisin “iş” derken kastettiği şey budur– fakat enerji sonunda hâlâ oradadır. Ancak yapılan iş, “atık ısı” olarak çevreye yayılır. Dünya'ya çarpan 120 bin teravatlık güneş ışığının bir bölümü iş yapar, bir bölümü yapmaz. Ama hepsi sonunda ısıya dönüşür.

Bunun dışında başka bir son yoktur. Termodinamik yasalar, sıcaklığı olan her şeyi radyasyon yaymaya zorlar. Dünya sıcaklığındaki nesneler bu radyasyonu kızılötesi dalga boylarında yayar. Ve bu 120 bin teravatın nihai kaderidir: kızılötesi radyasyon olarak güneş ışığı kadar hızlı bir şekilde

kozmosa geri dönmek. Hiçbir enerji kaybolmaz çünkü enerji yaratılamaz veya yok edilemez. Sadece gelir ve gider. Ancak bunu dolambaçlı bir yolla yapabilir. Atmosferi olan bir gezegen olmanın harika yanı budur.

Dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığı yaklaşık 14°C 'dir. Ancak, Dünya'ya Ay'dan kızılötesi ışıkla bakacak ve gezegenin sıcaklığını gördüklerinizden hareketle hesaplayacak olsaydınız, sıcaklığı aşağı yukarı -15°C olarak bulurdunuz. Bunun nedeni, Dünya'dan yayılan kızılötesi ışığın bir kısmını atmosferin emmesidir. Bu emmede bilhassa önemli olan su buharı, karbondioksit ve metan gibi gazların sera gazı olduğu düşünülür.

Atmosferin her parçası kızılötesi ışığı soğurmanın yanı sıra bir miktar da yayar çünkü termodinamik yasalar, sıcaklığı olan her şeyin o sıcaklığa uygun bir radyasyon yayması gerektiğini söyler. Bu emisyon yukarı, aşağı ve yanlara doğru her yöne gerçekleşir. Böylece kızılötesinin bir kısmı yüzeye geri inerken bir kısmı yukarı çıkar. Ardından, yukarı çıkan kızılötesi radyasyonun bir kısmı daha yüksek katmanlar tarafından yeniden emilir ve bu, kızılötesi ışığın kayda değer bir bölümünün uzaya serbestçe bırakıldığı bir katmana kadar devam eder. Kızılötesi ışığın kozmosa geri salındığı bu noktaya gelene kadar hava soğumuş ve sıcaklık -15°C civarına gelmiştir. Ama aşağıda sıcak bir dünya vardır.

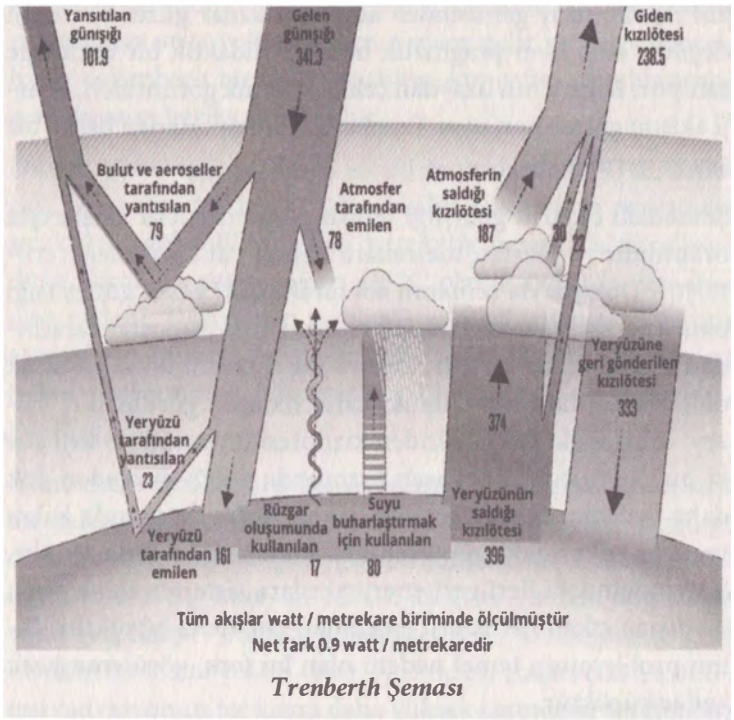
Trenberth Şeması ve İklimbilimi

Bütün bu etkilerin net sonucunu bir sonraki sayfada yer alan Trenberth Şeması'nda görebilirsiniz. Hâlâ Boulder, Kolorado'daki Ulusal Atmosfer Araştırma Merkezi'nde (NCAR) çalışan Yeni Zelandalı atmosfer bilimci Kevin Trenberth'in üzerinde onlarca yıl çalışarak ve birçok meslektaşının yardımıyla oluşturduğu bu şema, yerküre sistemindeki enerji akışını görselleştirmenin bir yoludur. Bu şema, gezegenimi-

zin Apollo uzay gemisinden alınanlar kadar güzel bir resmi değildir ama hem pragmatik hem de didaktik bir çekiciliğe sahiptir. Dünya'nın uzaydan çekilen ikonik görüntüleri, enerji akışını göstermez, oysa Trenberth Şeması bundan başka bir şey göstermez.

Şemadaki okların genişliği temsil ettikleri enerji akışlarıyla orantılıdır ve akışlar, metrekaşe başına vat cinsinden verilmiştir. Dolayısıyla şemanın sol tarafındaki gelen güneş ışığı oku, enerjiyi yansıtan bulutlar veya emen atmosfer tarafından kullanıldıkça inceler. Dünya'nın yüzeyinin neden sıcak olduğu, sağ taraftaki büyük, kalın oklarda görülebilir. Yüzey, üzerindeki gökyüzünden kızılötesi formunda enerji alır ki bu doğrudan güneş ışığı formunda aldığı enerjiden çok daha fazladır. Benzer şekilde, alt atmosfer de altında kalan yerden, yukarıdaki güneşten aldığından daha fazla ısı alır. Sistem içindeki ileri geri enerji akışları, sistemin içine giren ile dışına çıkan net enerji farkından çok daha büyüktür. İklim probleminin temel nedeni olan bu fark, görülemeyecek kadar küçüktür.

Yüzey tarafından emilen ve daha sonra atmosfere geri gönderilen enerjinin tamamı kızılötesi radyasyon şeklinde yayılmaz. Bir kısmı konveksiyon yoluyla havayı doğrudan ısıtır ve troposferdeki çalkalanmaların büyük bölümünden sorumlu olan aşağıdan ısıtmayı sağlar. Sonra söz konusu enerjinin, emildiğinde suyun buharlaşmasına neden olan, su döngüsünün motorlarını çalıştıran ve her saniye on sekiz milyar ton suyu gökyüzüne kaldıran bir kısmı vardır. Bu su buharı, bulut damlacıkları halinde tekrar sıvıya dönüştüğünde –ki bunu hep yapar– buharlaştırmak için kullanılan enerji atmosfere tekrar salınır ve onu ısıtır. Dünya toplamında, suyun yoğunlaşmasıyla troposfere pompalanan ısıнын hızı, her saniye bir Hiroşima bombası atıldığında elde edilebilecek hız kadardır. Yani dünya çok büyük bir miktarda havaya sahiptir.



Trenberth Şeması'nda gösterilen akışlar basit değildir ama temeldir. Öyle olmalılar çünkü bunlar yerküre sisteminin çalışma şekliyle ilgili temel gerçeklerdir. Ancak bu, söz konusu gerçeklerin ölçüklerinin açık olduğu veya ölçülmelerinin kolay olduğu ya da tartışmasız bir biçimde bilindikleri anlamına gelmez. Bu şema, neredeyse tüm iklimbiliminin en son halini temsil ediyor. Genel şekli oldukça iyi kurgulanmıştır. Ancak bazı ayrıntılarının anlaşılması bazı yönlerden yetersiz kalmaktadır ve o ölçümler yaklaşık olarak verilmiştir.

Bunun nedeni, bir şeyi küresel ölçekte ölçmenin çok zor olması ve bu ölçümün nasıl yapılacağına dair ayrıntıların, iklimbiliminde olduğu gibi sonuçların siyasileştirilebileceği bir arenada anlaşmazlık konusu olabilmesidir. Örneğin geçtiği-

miz yıllarda, atmosfer sıcaklığının uydudan kızılötesi aletlerle ölçülmesi, farklı gruplar arasında, uyduların tam oryantasyonu, yörüngelerinin zamanlaması ve kesin yükseklikleri hakkında hararetli ve yoğun tartışmalara neden olmuştu. Yere dayalı ölçümler beraberinde başka sorunlar getirir. Gezeğimizin yüzeyinin ortalama sıcaklığı, tüm iklim ölçümleri arasında elde edilmesi en basit olanı gibi görünebilir. Ancak, binlerce yerde farklı ekipman ve titizlik derecelerinde yapılan gözlemlere dayanarak hesaplama yapmak berbat bir karmaşadır. Bu iş, birleşik ve keskin görüşlü tek bir yönetim altında çalışan, büyük, iyi finanse edilmiş ekipler tarafından değil, kısmen seçilmiş kısmense bu yükü sırtına almış olan kurumlarda parça parça yapılmaktadır. İnternet günlüğü yazarları ve diğerlerinin bu işin büyük bir bölümünün kötü yapıldığını öne sürmeye hevesli kapalı devre küçük bir endüstrisi var ve şüphesiz bazı hatalar mevcut. Ancak veriler dürüstçe incelendiğinde ısınmanın gerçek olduğunu görülüyor ve söz konusu ısınmanın hızı konusunda birçok insan belli bir değer civarında hemfikirler: Küresel ısınma hızının dünya çapındaki ortalama değeri, 1970'lerden bu yana her on yılda 0.16°C 'dir.

Bu sonuçlara güvenmeyi gerektiren nedenlerden biri, yerküre sisteminin bağlantılı yönlerinin bazen çok farklı şekillerde ölçülebilmesidir. Küresel sıcaklıktaki artış eğilimine güvenle inanılabilir çünkü okyanusların yüzey sıcaklığı ölçümleri bunu kıtaların üzerinde yükselen hava sıcaklığı ölçümleri kadar net bir şekilde göstermektedir. Aynı şeyi uydular da gösteriyor. Farklı sapmaları ve farklı enstrümantal gariplikleri olan çeşitli ölçüm sistemleri benzer sonuçlar veriyorsa, bu sonuçlara inanmak çok daha kolaydır.

İklim bilimcilerin yerküre sisteminin nasıl çalıştığını araştırmak için kullandığı modellerde de sorunlar var. Bilgisayar da casus uçak ve uydu gibi, yerküre sisteminin nasıl çalıştığını görmenin yeni bir yolunu sağlayan soğuk savaşın bir ürünüydü. Elektronik hesaplamanın ilk günlerinden itibaren, bilgisayar

reticilerine ilham veren hedeflerden biri, atmosferi, hava durumunu ve daha sonra iklimi tahmin edecek şekilde modelleme fikriydi. Bilgisayar modelleri, Şimdi de o zamanki gibi, yerküre sistemini parçalara ayırıp okyanusu ve atmosferi bir dizi katman olarak inşa ederek, her katmanı aşağı yukarı enlem ve boylam çizgileri boyunca hücrelerden oluşan bir ızgaraya (bu işlem, kutuplarda daha fazla beceri gerektiriyor olsa da) böler. Her hücrenin belli bir andaki durumu, o hücrenin içinden geçen radyasyon, içerdiği bulutlar ve hemen öncesinde komşu hücrelerde neler olup bittiğine bağlı olarak temel fizik kurallarına göre hesaplanır. Yeni modeller, dünyayı öncekilerden çok daha fazla hücreye, zamanı ise çok daha kısa aralıklara blebilirler. İngiliz Meteoroloji Dairesi’nin HadGEM3 iklim modelleri, kullanıcılara 85’e kadar atmosfer katmanı, 75’e kadar da okyanus katmanının yanı sıra, enlem ve boylam ölçüleri bir dereceden daha küçük olan hücreler sunabiliyor. Bu, yüzlerce “teraflop” yani saniyede neredeyse bir milyon kere bir milyar hesap yapabilen bir bilgisayar gerektirir.

Modeller, bütün bu matematiksel by için, mkemmelenmektan uzaktır. İngiltere’nin önde gelen iklimbilimcilerinden biri olan Brian Hoskins, geliŐiyor olmalarına rağmen pek çok açıdan “oldukça dandik” olduklarını zevkle kabul ediyor. Bu modelleri çalıştırmak karanlık bir sanattır; bazı Şeyleri iyileştirmek için yapılan değişiklikler onları daha kötü bir hale getirebilir. Ve ortaya koydukları simülasyonlar birçok yönden gerçek iklime benziyor olsa da –sıcaklık ve yağış açısından gerçek iklimle aynı türden bölgesel iklimlere, doğru yerlerde çıkan alize rüzgarlarına sahiptirler; atmosferi gerçekçi bir şekilde troposfer ve stratosfere bölerler, vesaire– başka yönlerden gerçekle uyuŐmaz. El Nino olayları –dünyanın ikliminde, tropikal Pasifik boyunca ileri geri ısı transferiyle ilişkili değişimler– bazılarında makul derecede, bazılarında ise daha az gerçekçi bir şekilde yakalanmaktadır. Güney Asya ve Afrika musonları genellikle gerçekçi bir şekilde tasvir edilemez.

Milyarlarca insanın tarımsal geçim kaynağı için önemli olan El Nino olayları ve musonlar küçük ayrıntılar değildir.

Modeller bu fenomenlerin özelliklerini yakalayamadığına göre, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun artışıyla ısınan bir dünyada bu olayların nasıl değişeceğini öngörmek konusunda tabii ki güvenilemezler. Ancak güvenilir bir öngörünün iklimbilimi için yakın vadede ulaşılabilecek gerçekçi bir hedef olduğunu düşünmek de doğru değildir. İklim modelleri, öngörmekten çok olasılıkları anlamak ve süreçleri araştırmakla ilgilidir. Sera gazı seviyeleri yükseldikçe ne tür şeylerin olabileceğini söylemek için kullanışlıdır. Belli bir zamanda olacak belli olayı tespit etmeye uygun değildirler.

Bu kısmen, iklim konusunun zemininde, bazıları rastgele, bazıları ise henüz anlaşılamayan yerküre sistemi süreçleri nedeniyle çok fazla değişkenin olması yüzünden böyledir. Örneğin, iklim değişikliğinden kaynaklanan riskleri azaltmak için harekete geçmek gerektiğini savunanlara karşı çıkan insanların, bir eksiklik ve modellerin yanlış tahminler yaptığının, dolayısıyla güvenilmemesi gerektiğinin bir delili olarak gördüğü, yeryüzünün 2000'lerde, 1990'lara kıyasla daha az ısındığının gözlemlendiği gerçeğini ele alalım. Bu yavaşlamanın olası bir nedeni, derin okyanuslarda daha fazla ısının depolanması gibi görünüyor. Isının okyanusların derinliklerine doğal bir biçimde ulaşma hızı, zamanla, modellerin yakalayamadığı bir şekilde değişiyor olabilir; ya da erken ısınmanın yeterince anlaşılmamış bir sonucu yüzünden değişiyor olabilir. Bunlardan hangisinin geçerli olduğunu bulmaya çalışmak, sıcaklık farkına sadece işaret etmekten çok daha ilginç bir girişimdir zira bu tür süreçleri anlamak, önümüzdeki on yıllarda ne kadar ısınmanın beklenebileceğine dair tahminleri iyileştirecektir.

Bu, ünlü istatistikçi George Box'ın vaktiyle söylediği şeyi doğruluyor: "Bütün modeller yanlıştır (...) ama bazı modeller kullanışlıdır." İklim modelcileri bu düşüncayı çok sever fakat

toplum içinde söylemekten çekinebiliyorlar. Yaptıkları iş büyük önem taşıdığı için –sera gazı seviyeleri yükseldikçe yerküre sisteminin neye benzeyeceğine dair daha iyi bir kılavuzumuz yok –yanlış yorumlanmaları çok caziptir. İklim değişikliği risklerine karşı güçlü bir cevap verilmesini isteyenler, çok yüksek emisyonlardan sonra ortaya çıkacak korkunç sonuçları gösteren belirli modelleri işaret ederek bu sonuçların, bir dizi olasılığın en uç noktası olmasından çok, hemen harekete geçilmezse kesinlikle gerçekleşecek durumlar olduğunu söylerler. Diğer taraftan hiçbir şey yapılmamasını tercih edenler, ihtilaf ve çelişkileri vurgularlar. Yerküre sistemini ve verdiği tepkileri gerçekten anlamak isteyenler ise korkutucu bir sonuç ile daha az rahatsız edici bir sonuç arasındaki veya gerçek dünyadan elde edilen verilerle modellerin çıktıları arasındaki uyumsuzlukları, daha iyi anlaşılması gereken süreçlerin ipuçları olarak görürler. Her şeyi hem endişe verici hem de en azından entelektüel anlamda heyecan verici, hem hayati hem de gelişmekte olan geçici bir çalışma olarak görerek saygı duyarlar.

Buhar Makineleri ve Dünya Uzay Gemisi

Artan sera gazı seviyelerinin, Trenberth Şeması'nda, gökyüzünden yeryüzüne inen oku kalınlaştıran etkisinin yanı sıra, başka beşeri faaliyetler de yerküre sistemi üzerinde bir rol oynamaktadır. Bunların sayısı o kadar çoktur ki gelen güneş ışığının ilk sütunu hariç aşağı yukarı diğer tüm oklar, artık kayda değer düzeyde insan etkisi altındadır. Bu, Dünya'nın Antroposen'e girdiğini söylemenin haklı olduğunu düşündüren diğer argümanlar kadar güçlü bir argümandır.

Bir gezegenin veya parçasının uzaya geri yansıttığı güneş ışığı miktarı, albedo (yansıtılabilirlik) olarak bilinen özelliği tanımlar. Yukarıda gördüğümüz gibi, Dünya'nın albedosundaki baskın unsur bulutlardır ancak yerin yüzeyi ve insanların o yüzeyde yaptığı değişiklikler de önemlidir. Ağaçlarla kaplı bir

toprak parçası, çim ve tahıllarla kaplı olandan daha az yansıtıcıdır. Bu düşük albedo, oranın güneşten emdiği ısı miktarının daha yüksek olduğu anlamına gelir. İnsanlar, eskiden ormanlık olan alanların çoğunu ekip biçmeye başlayarak küresel albedoda küçük bir değişiklik meydana getirdiler; asfalt ve camla doldurdıkları şehirlerde, yerel bakımdan önemli olan daha küçük değişikliklere neden oldular.

Atmosfere su buharı formunda verilen ısı miktarında da ağır bir insan bileşeni vardır. Burada da ağaçlarla ekinler arasındaki denge önemlidir çünkü ağaçların yaprakları aracılığıyla atmosfere dönen su miktarıyla ekinler vasıtasıyla dönen miktar arasında fark vardır. Bu ekinlerin sulanıp sulanmadığı ve nasıl sulandığı sorusu da önemlidir. Rüzgar söz konusu olduğunda, beşeri etki çok daha az belirgindir ancak yerin yüzeyindeki değişimlerin etkileri mevcuttur. Daha büyük etkiler geliyor olabilir; yeterince büyük rüzgar çiftlikleri inşa edildiğinde, rüzgarlar, bölgesel ve hatta kıta ölçeğinde yavaşlayabilir.

Sonra atmosferdeki etkiler söz konusudur. İnsan aktivitesinden kaynaklanan çok uzun vadeli sera etkisinin büyük bölümünü oluşturan gaz karbondioksittir ve bu, gezegenimizin yüzeyine düşen kızılötesi akıyı metrekaresine başına neredeyse iki vat kadar artırır. Ancak metan, azot oksit, CFC ve CFClerin yerini alan ozon dostu HCFC salınımlarının da bir rol oynadığı ve bunların metrekaresine başına bir vat daha eklediği söylenmektedir. Bu tür eklemelere “radyasyonel seralar” denir. Bunları, radyasyon miktarında, yerküre sistemine, daha geniş veya daha dar bir ok yerleştirmeyi gerektiren değişiklikler olarak görünüz.

Tüm bu sera gazları, yüzeyi ısıtarak buharlaşmayı teşvik eder, böylece atmosferdeki su buharı miktarını artırır. Su buharının kendisi de bir sera gazı olduğundan ilave su buharı, sera gazlarından kaynaklanan ısınmayı biraz daha artırır ki bu fenomen su buharı geri beslemesi olarak bilinir.

Su buharı, gezegenin yüzünün belirleyici özelliği olduğu kadar iklimi karmaşıklaştıran en büyük faktör olan bulutların da ham maddesidir. Dünyanın sıcaklığının sera gazlarına karşı ne kadar hassas olduğu konusunda belli bir kesinliğin olmaması –karbondioksit seviyesinin iki katına çıkması, gezegenimizi 2°C’den daha az ısıtabileceği gibi 4°C’ye kadar da ısıtabilir– büyük ölçüde, Trenberth Şeması’nda bulutlara giren ve çıkan oklarla ilgili bir argüman olarak görülebilir. Hangi ok kalınlaşacak: Bulutlardan yüzeye doğru giden mi, yoksa uzaya doğru geri dönen mi? İki de kalınlaşırsa hangisi daha kalın olacak? Ve bu değişiklikler, daima birbirlerini dengelemek zorunda olan diğer oklar için ne anlama gelecek?

İnsanların atmosfere saldıgı tek şeyin sera gazları olmadığını hatırladığınızda işler daha da karmaşıklaşır. Sera gazlarının yanı sıra çeşitli türden aerosoller de salınıyor. İs parçacıkları güneş ışığını emer ve kızılötesi radyasyon yayar, böylece atmosferde bulundukları yeri ısıtır. Diğer parçacıklar daha çok ayna gibi davranarak güneş ışığını yansıtır, saçar ve ısınmayı azaltır. Üçüncü gruptakiler, bunların her ikisini de bir miktar yapar. Ve bunların hepsi bulutların bu sinir bozucu, kafa karıştırıcı davranış biçimini etkiler.

Bu değişiklik ve zorlamaların hiçbirisi Trenberth Şeması’nda çok büyük görünmez; şurada hafif bir kalınlaşma, burada hafif bir incelme olarak görünür. Ama büyük görünmek zorunda değiller. Genel akıslara kıyasla küçük kalan değişikliklerin buna rağmen büyük etkileri olabilir. Günümüz koşullarıyla buzul çağının koşulları arasındaki fark o kadar büyük görünmüyor. Buzul çağında, günümüze göre atmosferde biraz daha az olan karbondioksit, sera etkisini zayıflatırken zeminde biraz daha fazla olan buz albedoyu artırıyordu. Ama bu küçük değişiklikler size, Montreal ve Manchester’ın tepesinde bir kilometrelik bir buzun oturduğu, insanların Asya’dan Amerika’ya yürümesine izin veren yolların olduğu, kıtalardaki bitki örtüsünün üçte birinden yarısına kadar azaldığı bir dünya

sunuyordu. Ciddi bir etki yaratmak için bu kadar büyük bir makineyi o kadar bozmaya gerek yoktur.

Bu bir makine mi? Trenberth Şeması onu tabii ki bir makineye benzetiyor. Trenberth'in yaptığı gibi, enerji akışının büyüklüğünü bir okun genişliğiyle temsil etmek, on dokuzuncu yüzyılın sonlarında Anglo-İrlandalı bir mühendis olan Matthew Sankey'nin buhar motorlarını karşılaştırırken kullandığı görsel bir gelenektir.¹⁰ Bir mühendisin, buhar makinelerini temsil etme biçiminin diğer tüm sistemlere ve iklimbilimcileri tarafından, yerküre sistemini tasvir eden enerji akışlarına da uygulanması şaşırtıcı gelmemelidir. Enerji, ısı, iş ve güç bilimi olan termodinamik, buhar makineleriyle başladı ve on dokuzuncu yüzyıl boyunca geliştikçe, bu makineler ve çalıştıkları ortamları ilgili bir şey yani bir sistem ve akış bilimi olduğu ortaya çıktı.

Termodinamik ve onun sistem yaklaşımı kullanılabilir hale geldikten sonra, diğer bilimlere yeniden düzenlemek ve tasarlamak isteyen insanlar, ekonomideki para akışı veya bilinçaltındaki libido akışı gibi birçok başka akış türünü incelemek ve anlamak için bu fikirlerden yararlanmaya başladı. 1930'larda İngiliz botanikçi Arthur Tansley, organizmaların belirli bir çevre içinde birlikte yaşama biçimlerinin, sadece o çevrenin sakinleri tarafından değil aynı zamanda o sakinleri birbirine bağlayan kimyasal ve enerji akışlarıyla da tanımlanan bir "ekosistem" olarak düşünülmesi gerektiğini öne sürdüğünde fizikçilerin yaklaşımıyla özel bir paralellik kuruyordu.¹¹

10 Sankey, İngiliz ordusunun haritalama hareketi olan ordu donatım araştırmasında çalıştı; baskı makinesini çalıştırmak için bir buhar motoruna ihtiyaç duyunca, bu işe hangisinin en uygun olduğunu anlamak için alternatiflerin enerji akışının haritasını çıkarmaya karar verdi. Orijinal diyagramlarında, bir ok genişliğinin her bir inci (2.54 cm), dakikada 100.000 İngiliz ısı birimi gücünü temsil ediyordu.

11 Tansley'nin sistem yaklaşımını benimsemesi, Sigmund Freud ile birlikte üstlendiği eğitim analizi dersiyle de ilgiliydi. Freudyen psikolojiye duyduğu hayranlık ve bu psikolojinin çizdiği, baskı ve engelleme sistemi tarafından şekillendirilen insan zihni tablosu, bu düşünce tarzının geçerli olduğu alanı genişletir.

Rus jeokimyacı Vladimir Vernadsky, 1926 tarihli *The Biosphere* [Biyosfer] adlı kitabında büyük makinelerden oluşan, gezegenimizin yüzeyini yeniden şekillendirmek için güneşin kozmik enerji akışını kullanan ve fizik, kimya, jeoloji ve biyoloji arasındaki çizgileri bulanıklaştıran bir sistemden söz etti. Aynı dönemde benzer bir çizgide düşünen Amerikalı Alfred Lotka bu karışıma evrimi de ekledi ve doğal seçilimi canlılar dünyasında akan enerjinin verimliliğini sürekli iyileştiren bir güç olarak yorumladı. 1970'lerde, çoğu zaman olduğu gibi, Vernadsky ve Lotka'dan habersiz olan İngiliz bilim insanı James Lovelock, yine termodinamik argümanlar kullanarak canlılığın, Dünya'nın büyük döngülerini yönlendirmede ve çevresini kendi yararına gibi görünen biçimlerde yeniden şekillendirmede çok önemli bir rol oynadığını savundu ki buna Gaia hipotezi denir.

Doğanın birbirini şekillendiren ve koşullandıran sistemlerden oluştuğu fikrinin ana akım düşünceye girmesi zaman aldı. Ama artık "yerküre sistemi biliminden" söz etmek çok yaygındır. Soğuk savaşa bağlı olarak gelişen, dünyaya, radyoaktif izleyiciler, bilgisayar modelleri ve Dünya'nın uzaydan nasıl görüldüğü gibi farklı biçimlerde bakma yolları, bu sürece katkı sağladı.

Bu askeri-endüstriyel ortamda başka bir gelişme de insanları dünyadan izole etme yollarına yeni bir ilginin doğması oldu. Nükleer denizaltılar haftalarca veya aylarca kapalı kalmak zorundaydı. Uzay kapsülleri, geri dönüştürülmeyen her şeyin tükendiği kendi kendine yeten mikro dünyalar olmalıydı. Nükleer serpinti barınaklarının da kapatılması ve bağımsız olması gerekiyordu. Bu tür sistemlere duyulan ihtiyaçtan "kabin ekolojisi" denen yeni bir ekolojik bilim dalı doğdu. Bu adın çifte yankısı vardı: denizaltı veya uzay araçlarının kapalı kabinleri ve bu kabinlerin geçici koşullardan bağımsız oluşu. Tüm malzemelerin geri dönüştürüldüğü, tüm akışların dengelendiği ve her şeyin kapatıldığı Ay üsleri ve Mars uçuşları için Sankey diyagramları çizildi.

1950'lerin sonlarında, Scripps Oşinografi Enstitüsü'nde Roger Revelle için çalışan genç bir araştırmacı olan Dave Keeling, kabin ekolojisinin fiziksel araçlarını bir bütün olarak Dünya'ya uyguladı. Denizaltılardaki karbondioksit seviyesini ölçmek (ve böylece havalarını solunabilir tutmak) için geliştirilmiş cihazları, atmosferdeki karbondioksidi ölçen aletlere uyarladı. Takip eden yıllar ve on yıllar boyunca bulduğu artış, antropojenik küresel ısınmanın belki de en önemli delili haline geldi. Başka araştırmacılar da bu sistem düşüncesini, kapsül den gezegene, donanımdan ziyade teori yoluyla aktardılar. Üzerinde yaşadıkları dünyayı, gördükleri kapsüllere eşdeğer kapalı bir "Dünya Uzay Gemisi" olarak tasavvur ettiler. Bu fikri muhtemelen ileri görüşlü bir düşünür olan R. Buckminster Fuller icat etmiş ve şüphesiz o yaymıştı. "Dünya Uzay Gemisi" düşüncesi, bir toparlanma çağrısı, insanlığın ortak çıkarlarını ifade etmenin bir yolu, küresel çevreyi bir yaşam sistemi olarak anlama biçimi haline geldi. Doğal ve endüstriyel enerji ve madde akışlarını simüle eden bilgisayar modelleri, bu uzay gemisinin taşıdığı yükün envanterini çıkarmak ve başlangıçta bir buharlı gemiye binebilecek insan sayısı için kullanılan ancak daha sonra bir ekosistemin destekleyebileceği yaşam sayısı olarak yeni bir anlam kazanan bir terim olarak "taşıma kapasitesini" belirlemek için kullanıldı.

Dünya uzay gemisi, güçlü bir metafordur fakat aynı zamanda rahatsız edicidir de. Gemiler bir amaç için inşa edilir ve belirli bir disiplin modeliyle birlikte gelirler, özellikle onları imparatorluğun araçları olarak kullanmaya alışık olan kültürlerde. Oysa bunların hiçbiri Dünya için geçerli değildir.

Yıldızların arasında bağımsız bir biçimde durduklarını gördüğünüzde, bir uzay istasyonunu aya, bir gezegeni de bir uzay gemisine benzetmek kolaydır. Halbuki farklılıklar gösterirler. Dünya'nın artık bir amacı olsa da –insanlar bu dünyayı bir amaç için doldurmaktadırlar– bir gemide olduğu gibi baştan belli bir amaçla gelmemiştir. Yerküre sisteminin nasıl işleyeceği

önceden belirlenmemiştir. Bu işleyiş sadece nasıl geliştirse öyle oluşmuştur. Bu bakımdan o da sakinleri ile çevre arasındaki etkileşimlerden ortaya çıkan Tansley ekosistemlerinin işleyişi gibidir. Bu süreç, ekosistemlere, sistemsel özellikler kazandırır yani onları belirli bir yöne doğru iter ve bazen tahmin edilebilir cevaplar alır. Fakat bu özellikler önceden belirlenmemiştir. Gerçekten de Tansley'nin ekosistem fikrini ortaya atmadaki amacı, tam da, doğa hakkında, her şeyin önceden belirlenmiş bir yere sahip olmasını ve tüm ilişkilerin belirlenmiş normlara uymasını gerektirmeyen bir konuşma biçimi oluşturmaktır. Gerekçelerinden biri, eski (ve müstakbel) Güney Afrika Başbakanı Jan Smuts'u ve onun yeni "bütünsellik" felsefesini takip edenlerin 1930'larda Oxford'da desteklediği bu tür görüşlerin, insanları hiyerarşik bir doğa anlayışına ve dolayısıyla farklı insan ırklarının, herkesin kendi "doğal" yerinde olduğu uygun bir hiyerarşiye teşvik etmesiydi.

Uzay gemisi metaforu, bütünselliği vurgulamakta ve yerküre sisteminin koşullara bağlı oluşunu gizlemektedir. Dünya'nın tek bir gemi şeklinde yol olmak zorunda olduğunu ima eder. Tıpkı bir geminin ancak belli bir sayıda mürettebatı olabileceği gibi, Dünya'nın taşıma kapasitesinin de bir sınırı olduğu fikrini teşvik eder ve bu, nüfus kontrolüyle ilgili acımasız düşünceleri haklı çıkarmak için kullanılan argümanlardan biridir. Ayrıca insanları subaylar, mürettebat ve süper kargo kategorilerine ayırmak için de kullanılabilir. Bu metaforu 1960'larda geliştiren insanlar, kendilerini subay olarak görmeye yatkındı ve sadece bazıları güvertenin altında ne olup bittiğiyle azıcık ilgilendi. *Apollo 14*'ün Ay modülü pilotu Edgar Mitchell 1970'lerde "Dünya uzay aracının mürettebatı, evrenin düzenine zahiri bir isyan halindeydi," diye yazmıştı. Bu isyanın bir cezası vardı ve subay sınıfından yetkililer önce hareket etmezse Dünya bu cezayı uygulamaya başlayacaktı. Etkin bir çevreci olan Garrett Hardin, problemleri olan bir uzay gemisi dünyası argümanını, hümanist ahlaki değerlerin,

deniz hukuku ve uygulamalarının katı bölümlerinden türetilen “cankurtaran sandalı etiği” lehine askıya alınmasını savunmak için kullandı.

Sonuçta, Dünya Uzay Gemisi metaforunun zayıflığı ve tatsızlığı, Apollo görüntülerinin çevre ikonları olarak kullanılmasının teşvik ettiğini düşündüğüm sorunla aynı problemden kaynaklanmaktadır: Bu metafor da insanları, fiziksel gezegeni beşeri dünyadan ayırmaya yönlendirmektedir. Böyle bir ayırım, Hardin’in bahsettiği kadar korkunç görünmek zorunda değildir. “Gezegенimiz sınırları” olduğu ve bu sınırların, yerküre sistemini endüstri öncesi statükoya yakın tutmak için sistemi etkileyen bir dizi spesifik beşeri müdahaleyi kısıtlamayı gerektirdiği düşüncesi, son birkaç yıldır yerküre sistemi bilim insanlarından oluşan etkin bir grup tarafından ele alınmakta ve makul bir sağduyuyu somutlaştırıyor gibi görünmektedir. Ancak, gezegenin, insan davranışlarına, değiştirilebilecek pratik kısıtlamalardan çok, uyulması zorunlu olan yasa benzeri sınırlar dayattığı duygusu devam etmektedir.

Bu duyguyu gerek insan dünyasının gerekse yerküre sisteminin, iki yüzyıl içinde, daha önce hayal bile edilemeyecek bir biçimde, yeryüzünde yaşayan iki milyar insandan on milyar insana ve neredeyse küresel çapta bir köylülükten zenginlik, güvenlik ve kişisel özerkliğe geçişin gerektirdiği biçimde yeniden şekillendirilmesiyle bağdaştırmak çok zordur. Bu, çevreyi değiştirmeden gerçekleşmesi mümkün olmayan bir geçiştir ve bu değişikliği, söz konusu kavramsal küresel sınırların çok ötesine geçecek şekilde çoktan yapmıştır. Soru, “gezegenimizi bir önceki haliyle nasıl kurtaracağımız” değil, üzerinde yaşayan insanların haklarına ve gezegenimize verdikleri değere saygı duyarak, onu yeniden nasıl çalıştıracacağımızdır. Bu, denizciliktekinden çok daha büyük bir hayal gücü ve uzlaşma gerektiren bir görevdir. Bu, bir gemiyi idare etme değil, bir ev yapma görevidir.

İnsanlar ile gezegen arasındaki ilişki, mürettebatla gemi veya parazit ile ev sahibi ya da yasaya tabi olanlarla yasa veya aslında kanserle vücut arasındaki ilişki gibi değildir. Antroposen çağında bütün oklara insan elinin karıştığı düşüncesi, beşeri girişimin artık yerküre sisteminin akış ve döngülerinin çoğunun bir parçası olduğu ve bu sistemin, beşeri bileşenin politik ve ekonomik yapılarına giderek daha fazla bağımlı hale geldiği anlamına gelir; yerküre sisteminde, dünyamız ile gezegenimiz birbirinden giderek ayırt edilemez hale gelmektedir. Bu, Alfred Lotka'nın ilk kez 1925'te yayımlanan (ve büyük ölçüde ihmal edilen) *Elements of Physical Biology* [Fiziksel Biyolojinin Unsurları] adlı eserinde sunduğu vizyona yakındır. İstisnai bir öngörüyle, yerküre sisteminin, karbon, nitrojen ve benzeri büyük kimyasal döngülerinin anatomisini çıkarmakla kalmamış, her birindeki insan katkısını ve bu katkının son zamanlardaki çarpıcı büyümesini kaydetmiştir. Tarihçi Sharon Kingsland'ın dediği gibi, onun "evrim hakkındaki düşünce tarzı (...) insan ile doğanın birliğini ve beşeri etkinliğin devasa dünya makinesinin işleyişiyle yakından bağlantılı olduğunu göstermeye yöneliktir."

Dünyayı bu şekilde görmek, derin bir ironinin altını çiziyor. Bazılarının sahip olduğu ve daha fazla insanın arzuladığı varlıklı, daha çok kentleşmiş yaşam tarzı, genellikle doğadan bir kopuş olarak deneyimleniyor. Bu kopuşun açtığı alan, çevreyi insandan bağımsız bir kurban haline getirmeye çalışan gezegen kurtarıcı sloganlara çok uygundur. Ancak, bu yeni ve zengin hayat onları doğada yaşama deneyiminden uzaklaştırıyor olsa da söz konusu zenginliğin gerektirdiği, yerküre sisteminin kendi Dünya çapındaki şelaleleri ölçeğinde bile hissedilebilen enerji ve kaynak akışı, insanları bir bütün olarak, "bu devasa dünya makinesinin işleyişine derinden, her gün biraz daha fazla bağlamaktadır."

Bu yakın ilişki, yerküre sistemine dışarıdan değil, içeriden bakmanın önemini gösterir. Trenberth Şeması'nın okları,

sayfada, havanın olmadığı bir mesafeden bakınca görülen bir gezegen gibi sabit durmaz. O sayfadan çıkarak size ulaşır. Güneş olur yüzünüzü ısıtır, rüzgar olur vücudunuza çarpar, yağmur olur teninizi ıslatır. Güneş ışığıyla metabolizmanızı ısıtır ve alnınızdaki ter buharlaştıkça gökyüzünü nemlendirir.

Endüstriyel insanlık ile yerküre sisteminin nasıl bir araya geldiğini gösteren bir gezegen ya da bir diyagram aramayı- nız. Endüstri devriminin en büyük görsel sanatçısı J. M. W. Turner'dan ilham alabilirsiniz. Devrimin buhar makinesinin dünyayı bu kadar değiştirmesini sağlayan şey kısmen, etrafındaki dünyayı sadece mekanik, ekonomik ve nesnel olarak değil, öznel olarak da değiştirmesiydi. İnsanlar dünyayı yalnızca bu tuhaf yeni aygıtları içeren bir yer olarak değil, onlardan biri olarak görmeye başladılar. Fen alanında termodinamik yoluyla gerçekleşen devrim çok daha geniş bir alana yayıldı. Atmosferik olaylardan hep etkilenmiş olan eleştirmen John Ruskin'in, halen İngiliz Meteoroloji Dairesi'nde ve başka yerlerde iklim modellerini çalıştıran teraflop bilgisayarlardan ruhen o kadar da farklı olmayan ve hava durumunu tahmini yapan "büyük bir makineden" 1830'larda söz etmesi, bir ölçüde, havanın kendisinin de devasa bir makine olduğuna dair yeni bir anlayıştan kaynaklanıyordu.¹² 1970'lerde Fransız filozof Michel Serres, Turner'ı anlama anahtarının bu termodinamik dünya görüşü olduğunu yazdı. Turner, yalnızca Viktoryen dünyayı değiştiren makineleri basit bir şekilde tasvir etmekle kalmadı, kendisini de dünyayı değiştiren, döngüsel hareket, güç, enerji ve ışıkla dolu bir makinenin içindeymiş gibi resmetti.

12 Aslında, bugün artık gerçek olan bu "devasa makine", Paul Edwards'ın aynı adlı mükemmel kitabında belirttiği gibi, sadece bilgisayarlar değil, aynı zamanda son derece karmaşık araçlar, sosyal uygulamalar ve verilerle bu uygulamaları besleyen, sonuçlarını yorumlayan insanlardır ki bu sezgi, sistemin içindeki insanların birbirinden ayrılamaz oluşunu her zamankinden daha açık hale getirmektedir.

Turner'ın muhteşem *Kar Fırtınası: Limanın Ağzından Ayrılan Vapur'u* çizmeden önce fırtınada savrulan bir geminin direğine kendisini bağladığı ünlü (muhtemelen uydurma) olayı düşünün. Kırılğan bir beden vahşi bir güce maruz kalır ve ardından olağanüstü bir ruh, bu maruz kalışı başkalarına ifşa eder. Yerküre sistemi devasa, güçlü ve her yerdedir; onu anlama ve takdir etme yeteneği ise içimizdedir. Turner, kendisini kamçılayan dalgaları evcilleştirmedir. Ama sanatıyla onları salt gerçeklikten daha fazla bir şey yaptı. Yerküre sisteminin bir makine olduğunu söylemek, onun insan yapımı bir şey olduğunu veya yönetilebilir olduğunu ya da insanların içindeki doğadan ayrı olduğunu söylemekle aynı şey olmak zorunda değildir. Onun bir deneyim ya da yücelik hissinin kaynağı olduğunu inkar etmek değildir. Aksine, tüm bunlara, gezegenimiz, dünyamız ve insanın bunların içindeki yeri hakkında yeni bir anlayış, başka bir anlam katmanı ekleyebilir.

Bir uzay gemisi olmayan yerküre sistemi, belirli bir şekilde çalışmak üzere kurulmuş değildir. Tansley'nin anladığı gibi, ekosistemler yeni bir tür eklendiğinde kendilerini bu değişikliğe nasıl adapte ediyorsa yerküre sistemi de insanların kendi işleyişine müdahalelerine uyum sağlayacak ve değişecektir. Sorun şu ki, bu değişiklikler insanların yararına olmayabilir. Yirmi birinci yüzyılda genişleyen insan dünyasının üstesinden gelmesi gereken problemin, genelde, muhtemelen yerküre sisteminde insanların kontrol ettiği sermaye, kaynak ve siyasi güç akışlarını değiştirerek, söz konusu sistemsel değişiklikleri en aza indirmek olduğu düşünülmektedir.

Jeomühendislikteki zorluk, bu insan dünyasının ötesinde kalan ancak onun yararına olan değişiklikleri tasavvur edebilmektir. Bu, Trenberth Şeması'ndaki okları ve yerküre sistemindeki benzer madde ve enerji akışlarını inceltme veya kalınlaştırmanın yollarını bulmak anlamına gelir. 120 bin teravatlık bir yerküre sisteminde 15 teravatla çalışan bir insan ekonomisiyle –insanlığın tüm endüstriyel enerjisi, ekvator

boyunca uzanan Dünya Şelalelesi'nde sadece beş kilometrelik bir çağlayan oluşturur –bunu başarmak çok saçma görünebilir. Ancak kullanılabilecek kaldırıcılar vardır.

Arşimed'in, yeterince uzun bir kaldırıcı ve bir destek noktası verilirse Dünya'yı hareket ettirebileceğini söylediği anlatılır. Ancak kaldırıcın hareketsiz dayanak noktası olarak hizmet edeceğini düşündüğü şeye dair hiçbir işaretle bulunmamıştır. Kitabın bu bölümünün verdiği mesajın kalbinde böyle bir yerin bulunamayacağı görüşü yatmaktadır. Dünyanın dışında duramayacağınız gibi yerküre sisteminin dışında da duramazsınız. Uzayın stratosferik kenarında yalnızlık ve lüks içinde yaşayabilirsiniz ancak bunu yalnızca dünyanızdaki binlerce kişinin bir araya gelerek oluşturduğu kanatlar sayesinde yapabilirsiniz. Jim Lovell ile birlikte Ay'ın ötesinden Dünya'ya doğru baktığınızda, bunu, yerküre sisteminin küçük bir parçası olarak başlayan ve en dünyevi nedenlerle yani süper güçler arasındaki rekabet nedeniyle Dünya'dan ayrılan bir kapsül ekolojisinin içinde yaparsınız.

Jeomühendislik, yerküre sistemini hareket ettirecek kaldırıcıları bulmakla ilgilidir. Aynı zamanda, bu kaldırıcıların baskısını kaldırabilecek ve kuvvetlerini hassas bir şekilde yönlendirebilecek yani kaldırıcın kaymasını ve hasar vermesini önleyecek dünyevi dayanak noktaları bulmakla da ilgilidir. Böyle bir dayanak noktası fiziksel bir yer olmayacaktır. Bir kurum, ortak bir hedef, yeni bir doğa anlayışı, dayanışma zorunluluğu, politik bir başarı, bunların hepsi ve daha fazlası olacaktır. Küresel çevrecilerin ve soğuk savaşçıların dünya çapındaki hayalleri üzerine inşa edilen ancak insanların yerküre sisteminde yapılacak bilinçli değişiklikler hakkında adil ve hoşgörülü bir şekilde düşünebilmesini sağlamak için onların ötesine geçen ya da belki daha derine inen bir şey olacaktır.

Böyle bir dayanak noktası, böyle bir denge konumu asla inşa edilemeyebilir. Ama eğer edilebilirse, bu, üzerinde duracağı

özel kaldıraca duyulan ihtiyaç ve o kaldırıcı hakkındaki anlayış sayesinde olacaktır. Böyle bir kaldırıcı bulmanın bariz yolu, akışlar, önemsiz gibi görünen nedenlerle doğal olarak değiştiğinde ne olduğuna bakmaktır. Böyle, potansiyel anlamda yararlı bir değişiklik gözlemlendi ve yansımalarının çoğu belirlendi. Bilim insanları, yerküre sistemini soğutmanın bir yolunu biliyorlar çünkü çok uzun zaman önce değil, halen kullanılmakta olan böyle bir kaldıracın farkına vardılar.

PİNATUBO

Bir volkan, muazzam büyüklükte bir savaş topu olarak düşünülebilir.

Oliver Goldsmith, *A History of the Earth and Animated Nature* (1840)

1990 yılının temmuz ayında, o yıl gezegenimizde kaydedilen en güçlü deprem olan 7.8 büyüklüğünde bir deprem Filipinler'i sarstı ve sadece binalara, yollara ve insanlara zarar vermekle kalmadı, Pinatubo Dağı'nın derin köklerini de yerinden oynattı. Filipinler'in en büyük adası Luzon'un ortasına yakın bir yanardağ olan Pinatubo, Avrupalıların bu takımadalara geldiği ilk günden bu yana uykudaydı. Alt yamaçları zengin tarım arazileriydi. Yerin altına doğru inen kanallarında 100 kilometreküpe yakın erimiş kaya vardı.

Takip eden nisan ayında yerel halk, jeologları dağın çeşitli bölgelerinden çıkan buhar ve zehirli gaz püskürmeleri konusunda uyardı. Sismometreler çok aşağıda küçük ama sık depremler algıliyordu. Dağın sıhhi tesisatı deprem sırasında su sızdırmıştı; taze, sıcak bazaltik magma, oradaki soğuk, ağır magmaya doğru akarak onu ısıtıyor ve harekete geçiriyordu. Filipinler ve Amerika'dan jeologlar riskleri değerlendirdi ve

yerel ve ulusal hükümeti bir tahliye planı yapmaları konusunda uyardı. Haziran ayının başında, ilk lav yüzeye ulaştığında dağın zirvesindeki kraterde bir kaya kubbesi büyüyordu. Kül bulutları gökyüzüne doğru püskürmeye başladı.

Patlamalar, dağın dokuz saatten fazla bir süre lav püskürterek içini boşalttığı ve iki buçuk kilometre derinliğinde bir krater oluşturacak şekilde kendi içine çöktüğü 15 Haziran'a kadar sürekli büyüdü. Patlayan lav sütunu gökyüzünde otuz beş kilometre yükseldi; başı, bir mantar bulutu gibi, 400 kilometreye kadar yayıldı. Magma bölgesindeyken yüksek basınç altında duran on trilyonlarca ton gaz, sütunun çekirdeğine gelince, milyarlarca ton kayayı gökyüzüne fırlattı. Ve sütunun çekirdeği yükselir yükselmez yanlar neredeyse tamamen çöktü; sıcak küller, ezici bir güçle yüzeye geri döndü. Büyük moloz yığınları dağın yamacından aşağıya doğru aktı. Beş yıl sonra, alt yamaçlardaki vadiler, iki yüz metre kalınlığında bir kül katmanıyla kaplıydı ve içleri hâlâ erimiş kurşun kadar sıcaktı. Başka yerlerde kül çamura dönüştü. Patlama sırasında tropik fırtına Yunya, İncil'dekine benzer bir şekilde, adaya ulaşmıştı; fırtınanın gözü, Pinatubo'nun yetmiş beş kilometre kuzeydoğusundan geçerken yağmurları dağın yamaçlarını kırbaçlıyordu. Patlamadan bir gün sonra tamamen külle dolu olan bazı vadiler, sağanak yağmur tarafından o kadar derin temizlendiler ki, bir hafta içinde eskisinden daha derin hale geldiler; bu jeologların o güne kadar şahit olduğu en hızlı erozyondur.

Hayatını kaybeden yüzlerce insanın çoğunu çamur öldürmüştü. Orada yaşamalarına rağmen ölmeyen on binlerce insan, hayatlarını iyi yürütülen tahliyeye borçluydu. Gezegenin öfkesiyle dünyaları korkunç bir şekilde altüst olan bu insanların çoğu, birkaç hafta sonra, hayatlarını ve toplumlarını yeniden bir araya getirmek için sıkı bir şekilde çalışmaya başladılar.

Ancak dağın kül ve toz bulutu, stratosfer yoluyla tüm dünyaya yayıldı. Yirmi milyon tondan fazla kükürt dioksit de dahil

olmak üzere o bulutu oraya iten gaz da tüm dünyaya yayıldı. Stratosferdeki kükürt dioksit, sülfat iyonları üreten bir kimyasal reaksiyonla yavaş yavaş oksitlendi; elektrik yüklü bu parçacıklar hızla su buharı ile birleşti. Stratosferde çok az su buharı vardır çünkü troposferin üst seviyeleri o kadar soğuktur ki, oraya yükselen suyun neredeyse tamamı buz olarak geri düşer. Ancak stratosfer kurumuş olsa da hâlâ biraz su buharı içerir ve sülfat iyonları bu buharı küçük sülfürik asit damlacıklarına dönüştürebilir. Pinatubo'dan gelen kükürt, işte bu şekilde tüm dünyaya yayılan ince bir aerosol sisi yarattı.

Bütün aerosoller, içinde bulundukları havada düşme eğilimi gösterirler. Ama hepsi bunu aynı hızla yapmaz. Sülfat damlacıkları, yanardağın birlikte fırlattığı külden daha küçüktü ve bu nedenle kül stratosferde sadece birkaç ay kalırken, sülfat aerosölü birkaç yıl kaldı. Ve bu damlacıklar çok küçük olduklarından, kendilerini oluşturan nispeten az miktardaki su ve kükürttten çok daha büyük bir toplam yüzey alanına sahiplerdi. Bir ton suyunuz olduğunu hayal edin. Bu su, tek bir küresel damla şeklinde olursa yüzey alanı beş metre kareden biraz daha az olacaktır. Çapı, metrenin milyonda biri olan damlalara bölündüğünde ise yüzey alanı altı kilometre kareye kadar büyür. Bu damlaları küçültmeye devam eder ve beşte birine indirerseniz yaklaşık otuz kilometre karelik bir alan elde edersiniz. Pinatubo'nun oluşturduğu stratosferik aerosölün toplam yüzey alanını hesaplamak zordur çünkü parçacıkların boyut dağılımı tam olarak bilinmiyor. Ama muhtemelen büyük bir çölün yüzey alanına benziyordu; Mojave'den kesinlikle daha büyük, Sahra'dan muhtemelen daha küçüktü. Ve bu küçük parçacıklar güneş ışığını, bir çöl gibi, uzaya geri yansıtarak gezegenin albedosuna katkıda bulundu.

Gökyüzünde bu yeni çölle karşılaşan güneş ışığının büyük bir bölümü, onun içinden, yolunu değiştirmeden geçmeyi başardı. Damlacıklar arasında hâlâ çok fazla boşluk vardı (büyük Gobi bile dünya yüzeyinin yüzde 2'sinden daha azını kaplar).

Damlacıklara çarpan ışığın büyük bir bölümü ise onları sadece sıyırdı yani hafifçe saptı, ama yine de geçti. Ancak gelen güneş ışığının küçük bir kısmı geldiği gibi geri döndü. Yani normalde gezegenin yüzeyine çarpacak olan güneş ışığının bir kısmı gelmedi ve dünya soğumaya başladı.

Volkanlar ve iklim

Artık Endonezya içinde kalan bir yanardağ olan Tambora, 1815'te son iki bin yıl içinde bilinen patlamaların en büyüğüyle patladı. Soğutma etkisi tüm dünyada hissedilen, Pinatubo'nunkinin iki katı kalınlığında bir stratosferik perde oluşturdu. Hint alt kıtasının yüzeyi, çevredeki denizlerden nemli hava çekecek kadar ısınmadığı için muson yağmurları oluşmadı. Güney Çin'de kıtlık oldu. Ertesi yaz Avrupa sadece soğuk olmakla kalmadı, daha önce görülmemiş fırtınalara maruz kaldı. Köy yolları, evlerini terk eden, açlıktan ölmek üzere olan insanlarla doldu; buzullar yüksek tabyalarından aşağılara indi. New England'da temmuz ayında don oldu; o yıl, "bin sekiz yüz kişinin donarak öldüğü yıl" olarak hatırlanır. Ancak kimse, küresel iklimle ilgili bu acil durumu yanardağın patlamasıyla ilişkilendirmedi çünkü o zamanın bilimi için bunu yapmanın bir yolu yoktu.

Tambora'dan daha küçük, Pinatubo'dan daha büyük olan ve yine şimdi Endonezya'da bulunan Krakatau'nun 1883 yılındaki patlaması sırasında, Viktoryen bilim insanları patlamanın küresel etkilerini tespit etmek için gereken araçlara sahipti. İnsanların duyamayacağı kadar alçak olan patlama sesi, dünyanın dört bir yanındaki barometreleri titretti. Yakın bir zaman önce geliştirilen ve güneş ışığının rengini ve yoğunluğunu ölçen araçlar, bunların her ikisinde de Avustralya'dan Amerika'ya değişiklikler tespit etti; gözlemciler geceleri ayın etrafında garip yeni haleler kaydettiler. Stratosferik aerosollerin, alçalan güneşin kırmızı ışığını, stratosferden, gökyüzünü

kızıla boyayarak geri yansıttığı günbatımları muhteşemdi, (Edvard Munch bu etkiyi, ilk versiyonunu gördüğü tarihten birkaç yıl sonra hafızasından çizdiği *Çığlık* adlı tablosunun arka planında yakalamıştı). Viktorya dünyası, küresel olarak saptanan ve ne olduğunun anlaşılması gereken ilk jeofizik olayını, sismolojinin icadından on yıl önce deneyimlemiş oldu.

Bilim müessesesi büyülenmişti. Ama iklim konusuna hiç vakit ayırmadı. Çoğu insan gibi, bilim insanları da daha sonra ilgilenecekleri şeyleri değil, o sırada ilgilendikleri şeyleri görürler. İklim değişikliğinin, merkezi bir bilimsel ve politik mesele olduğu bir dünyadan geriye dönüp bakan insanlara, Britanya'nın ulusal bilim akademisi *Royal Society*'nin dünyanın dört bir yanındaki bilim insanlarından Krakatau'nun etkileri hakkında veri topladıktan sonra, İmparatorluğun o kadar çok termometresinin kaydettiği bu değerlere hiç dikkat etmemiş olması tuhaf görünür. Oysa Viktoryenler için dünyanın ortalama sıcaklığı bir sorun teşkil etmiyordu. İklim küresel çapta bir endişe kaynağı değildi; coğrafyaların ve bölgelerin iklimleri vardı ama bir bütün olarak tüm gezegenin bir iklimi yoktu.

En azından yıldan yıla değişen bir iklimi yoktu. Bununla birlikte, Krakatau'dan önceki yıllarda, giderek artan sayıda jeolog ve tüm Dünya'yı çalışma konusu yapmak isteyen bazı fizikçiler, geçmişte gezegen genelinde eşgüdümlü iklim değişikliklerinin olduğuna yani buzul çağlarının varlığına ikna olmuştu. Bir zamanlar Alplerdeki buzulların, on dokuzuncu yüzyılda olduğundan çok daha fazla alana yayıldığına dair kanıtlar, Kuzey Avrupa ve Kuzeydoğu Amerika'nın büyük bir bölümünün bir zamanlar buzla kaplı olduğuna dair işaretlerle desteklenmişti. Buzun, altındaki toprağı kazıma şekli, defalarca gelip gittiğini gösteriyordu.

Bu tür iklim değişikliği döngülerinin nasıl ortaya çıkabileceği, bir yüzyıl boyunca büyüleyici bir problem olarak kalmaya devam edecekti. Buzul çağlarının kökeni, antropojenik küresel

ısınma onun yerini alana kadar, iklimi anlamak isteyenler için uzun süredir devam eden en büyük soruydu. Kıtalar üzerinde emekleyen buzullardan oluşan sıradağların, yüzlerce kilometre kayan kıyı şeritlerinin, tanınmaz coğrafyalarda yürüyen tuhaf yünlü vahşi hayvanların katıksız dramı –ve tüm bunların, insanların ateş ve mızrak sanatında ustalaşmasına yeterince yakın bir zamanda meydana gelmiş olması– göz önüne alındığında nasıl olmasın?

Dolayısıyla, Krakatau’nun neden olduğu soğutma o sırada fark edilmese de patlamanın küresel etkilere sahip olması, buzul çağlarıyla ilgilenen bazı bilim insanlarının volkanlara dikkat etmeye başlaması için yeterli oldu. Bir grup bilim insanı, volkanları buzul çağının olası tetikçileri olarak gördü; külleri, güneşi engelliyor ve gezegeni buzullar lehine soğutuyordu. Bir başka grup, volkanların ters bir etkiye sahip olduğunu söyledi. İngiliz fizikçi John Tyndall, karbondioksit kaynaklı sera ısınmasının, dünyanın yüzeyinin neden ayınkinden daha sıcak olduğunu açıkladığını 1860’larda göstermişti. Volkanlar muazzam miktarda karbondioksit ürettiğinden, belki de gezegeni bir bütün olarak ısıtabilirlerdi.

İsveçli büyük kimyager Svante Arrhenius –on dokuzuncu yüzyılın sonlarında, fizik ve kimyanın basit ilkelerinin bir bütün olarak gezegene uygulanabileceğini düşünen bilim adamlarından biri– gezegenimizi buzul çağından çıkarmak için ne kadar karbondioksit gerektiğini, farklı enlemlerde beklenen farklı ısınmalarla su buharının geri beslemesiyle artan ısınmayı da dahil ederek hesapladı. Sadece kalem ve kağıtla –çok fazla kağıt kullanmış olsa da– karbondioksit seviyesinin iki katına çıkmasının 5°C’lik küresel bir ısınmaya yol açabileceğini buldu. Buz devri karbondioksit seviyeleri düşük olsaydı, yanardağların bu buz çağlarını sona erdirebileceği sonucuna vardı. Ayrıca fosil yakıtların endüstriyel kullanımının gezegenimizi daha fazla ısıtabileceğini kaydetti ancak yirminci yüzyılın başlarındaki oranlarda yakılmaya devam edeceğini dü-

şündüğünden ve çoğu İsveçli gibi o da dünyanın biraz ısınmasına karşı olmadığından bu konuyla ilgili bir endişe duymadı.

Buna rağmen yirminci yüzyılın büyük bölümü için volkanlar ile iklim arasındaki bağlantı oldukça spekülatifti. 1810'ların sonundaki iklimsel acil durumun Tambora ile bağlantılı olabileceğinin anlaşılması, volkanların iklimi soğutabileceğini düşünenlerin argümanlarını güçlendirdi. Ancak uygun büyüklükteki patlama sayısının az oluşu, onları herhangi bir doğrulayıcı veriden mahrum bırakıyordu. Yanardağlar ile iklim arasındaki bağın 1970'lerde kurulması bir patlama sayesinde olmadı; bu, dünyayı güneş sistemindeki kardeşleriyle karşılaştırmanın mümkün kıldığı bir kavrayışın sonucuydu.

Kasım 1971'de *Mariner 9*, başka bir gezegenin yörüngesinde dönen ilk uzay aracı oldu; Mars yüzeyinin yakın çekim fotoğrafları merakla bekleniyordu. Ne yazık ki, yüzey hiçbir yerde görülemiyordu. Mars, tüm özelliklerini gözlerden saklayan bir toz fırtınasıyla kaplanmıştı. Gezegenin yüzey özelliklerini çözmeye can atan jeologlar için, fırtınanın önce dağ zirvelerini, ardından yüksek ovaları ortaya çıkaracak şekilde yavaş yavaş çökmesi sinir bozucu bir şaka gibiydi.

Halbuki bu toz, *Mariner 9*'un jeofiziğe daha yatkın olan bilim insanları için, sevdikleri türden küresel bir deney sundu. *Mariner 9*'un kızılötesi spektrometresi kalın perdenin arkasını görebiliyor ve aşağıdaki yüzeyin sıcaklığını ölçebiliyordu. Ve spektrometre, perde inceldikçe, yüzeyi daha sıcak ölçtü. Mars tozu, dünyadaki volkanların püskürttüğü toz için öngörüldüğü gibi davranıyordu yani ışığı atmosferin tepesinde saçıyor ve böylece aşağıdaki yüzeyi soğutuyordu. Dünyanın daha kalın, daha dağınık, daha çalkantılı atmosferinde bu kadar büyük ölçekli ve bu kadar net bir şey doğrudan gözlenmemiştir. İlgili bilim adamlarından Brian Toon'un sözleriyle, Mars'taki toz fırtınası ve sonrasındakiler, "şimdiye kadar insanoğlunun bilimsel olarak gözlemlediği ve nedeni bilinen tek küresel iklim değişikliği" oldu.

Mars'ın stratosferik toz tarafından soğutulduğunu gören Toon, arkadaşı James Pollack ve danışmanları Carl Sagan, volkanların Dünya üzerindeki etkileriyle ilgilenmeye başladı. Üçüncü bir gezegen üzerindeki çalışmaları onlara, tozun bu hikayenin tamamını hatta çoğunu anlatma ihtimalinin düşük olduğunu gösterdi. Venüs'ün üst atmosferi dikkate değer miktarda güneş ışığını yansıtıyordu ve başka bir *Mariner* görevinden gelen veriler, bu yansıtmanın sülfürik asit parçacıkları tarafından yapıldığını göstermişti. Dünyanın üst atmosferine kükürt yollamanın bir yolu olsaydı, benzer bir yansıma ortaya çıkabilirdi.

Gerçekten de birkaç yıl öncesinde Avustralyalı araştırmacı S. C. Mossop stratosfere kükürt sokmanın bir yolu olduğunu göstermişti. Pinatubo'dan çok daha küçük olan, Bali'deki Agung yanardağının 1963'te patlaması, büyüklük bakımından dikkate değer olmasa da zamanlama açısından çok uygundu. Bu patlama, gezegendeki önceki tüm patlamalardan farklı olarak, insanların stratosferi ziyaret edebildiği ve içinde nesnelerin nasıl hareket ettiğine dair askeri ve çevresel bir ilgi gösterdiği bir zamanda gerçekleşmişti. Mossop *Nature*'da, bir U-2 uçağının Agung'un dumanıyla aynı yönde uçtuğunu ve uçağın ön camına yapışan görünür kalıntının "dile acılık verecek derecede asidik" olduğunu belirtti ve bariz bir pragmatik olduğundan bunun, en azından kısmen sülfürik asit aerosolü olduğunu varsaydı ("daha ayrıntılı testlerin hazırlanmakta olduğunu" ekleyerek).

1976'da Sagan, Pollack, Toon ve başka bazı meslektaşları, volkanların dünyayı soğuttuğunu ve bunu, volkan-iklim bağlantısını savunan batılıların üzerinde yoğunlaştığı tozla değil, stratosferik sülfatlarla yaptığını iddia eden bir makalede, Mars'ta gördükleri soğumayı, Venüs'ün parlak bulutlarını ve Agung patlamasından sonra Dünya'nın stratosferinde bulunan sülfat parçacıklarını bir araya getirdiler. Dünya'nın iklimi konusuna odaklanan bir NASA bilim insanı olan James

Hansen, Pollack ve Toon'un çalışmalarından elde edilen fikir ve verileri kullanarak Agung'un iklimsel etkilerini modelledi ve sonuçları 1963'ün iklim kayıtlarıyla karşılaştırdı. Etkinin göz ardı edilmesine izin vermeyecek kadar geniş bir tutarlılık vardı ancak 1970'lerin bilim ve teknolojisi yalnızca çok kaba bir modellemeye imkan veriyordu ve ayrıca veriler yeterince büyük değildi; bu yüzden bağlantı tam olarak kanıtlanamadı. Bir sonraki büyük patlama 1982 yılında Meksika'da gerçekleşen El Chichon yanardağının patlaması oldu.¹³ Bu patlamanın iklimi nasıl etkilediğine dair çalışmalar yine sonuçsuz kaldı; bunun en büyük nedeni, büyüyen bir El Nino olayının yanardağın soğutma etkisini bastırmasıydı.

Pinatubo çok daha büyük bir patlama gerekleştirince Jim Hansen'in beklediği gün gelmiş oldu. 1970'lerde yanardağlara ilk baktığı zamanlardan çok daha iyi modeller ve çok daha güçlü bilgisayarlar emrinin altındaydı. Ayrıca artık daha büyük sonuçlar için oynuyordu. Hansen'in modelleme çalışmaları, kendisini, insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarının dünyanın sıcaklığını yükselttiğine ikna etmişti. Amerika'nın büyük bir kısmının, çoğunlukla başka bir El Nino nedeniyle, alışılmadık derecede sıcak bir yaz geçirdiği bir yıl olan 1988'de Kongre'ye verdiği ifade, küresel ısınma fikrini bilimsel tartışma alanından çıkarıp siyasi tartışma alanına sokmak için çok önemliydi. Fakat tahminlerini üreten bilgisayar modellerinin ne kadar kaba olduğunu biliyordu. Bu modellerin mevcut iklimi az çok yakalamaları cesaret vericiydi. Ancak mevcut iklimle eşleşmiş olmaları, ihtiyaç duydukları zaman göz önüne alındığında, en azından kısmen, modeli oluşturanların bilinçsiz önyargıları sayesinde gerçekleşmiş yani dünyanın mevcut haline "ayarlanmış" olmalarından kaynaklanmış olabilirdi.

13 Aziz Helen Dağı'nın 1980 yılında patlaması aslında büyük patlamalar liginde değildi. Büyük oranda Amerika'da gerçekleştiği ve bunun bir sonucu olarak da kapsamlı bir şekilde incelendiği için iyi bilinmektedir.

Modellerin ne kadar hazır olduğunu gösterebilmeleri için gereken şey bir deneydi yani yerküre sisteminde ani, belirgin bir değişiklik. Böyle bir deneyin sonucunu belli bir hata payıyla tahmin edebilirlerse, onlara duyulan güven artacaktı. Agung ve El Chichon'dan farklı olan Pinatubo, arka plandaki Dünya Şelalesi gürültüsünün üzerine çıkmaya yetecek kadar büyük bir patlama sunuyor gibiydi. Eğer Hansen ve meslektaşlarının geliştirdiği modeller Pinatubo'nun etkilerini doğru tahmin ederse, bu, o modellerin, bazı kusurlarına rağmen iklimin nasıl çalıştığını gerçekten yakaladığı anlamına gelecekti; stratosferik aerosollerin etkisi doğru tahmin edilirse, karbondioksidin etkisi hakkında söyledikleri daha inandırıcı olacaktı.

Söz konusu modeller, büyük oranda, yukarıdan ve aşağıdan gelen kızılötesi radyasyonun sülfat aerosollerini tarafından emilmesi nedeniyle, stratosferin ısınacağını öngördü. Stratosferik ısınma, Agung'dan sonra ve *Marines 9*'un tozla kaplı Mars'ının üzerinde zaten görüldüğü için bu beklenen bir sonuçtu. Ancak modeller ısınmanın büyüklüğünü de doğru elde ettiler ve iki derecelik bir ısınma yani El Chichon'dan sonra ölçülen ısınmanın kabaca iki katını öngördüler. Modellerde ortaya çıkan, uzaya geri saçılan ışık miktarı, uyduların yaptığı ölçümlerle uyumluydu. Daha etkileyici olansa, alt atmosferin sıcaklığındaki düşüştü. Patlamadan bir yıl sonra, 1992 yazında, Hansen'in modeli, güneş ışığından kaynaklanan radyasyonel seranın -Trenberth Şeması'nda Güneş'ten Dünya'ya doğru gelen büyük ok- metrekaşe başına üç vat azalacağını söylediğinde, yüzey, Pinatubo olmasa sahip olması beklenen sıcaklıktan ortalama 0,5°C daha soğuktu ve bu, modelin öngördüğüne çok yakın bir değerd. Şayet başka bir şaşırtıcı El Nino olmasaydı, derecenin onda birinin birkaç katı kadar daha soğuk olurdu ki bunun modelde görülmesi pek mümkün değildi. Hansen'in modeli hem büyüklük hem de zamanlama açısından oldukça iyiydi; Pinatubo'nun soğutma etkisi, tahminlere uygun bir biçimde, takip eden üç yıl içinde giderek azaldı.

Bu problemi ele alan tüm modeller aynı derecede iyi sonuçlar vermedi. Ve hepsinde soğutmayı bir miktar abartma eğilimi vardı. Ama modeller yine de genel olarak doğru sonuçlar buluyordu. Üstelik, bu sonuçlara doğru nedenlerle ulaşıyor gibiydiler. Örneğin, bilim insanları su buharı geri beslemesini modellerinden çıkardıklarında, gözlenen soğumaya ulaşamıyorlardı; su buharı geri beslemesini eklediklerinde, modeller gözlenen sıcaklık farkıyla iyi bir uyum gösteriyordu. 1990'ların başında ve ortalarında, elde edilen sonuçlara yönelik belli başlı eleştirilerin temelinde, iklim modellerinin su buharı geri beslemesini doğru bir şekilde yakalayıp yakalamadığına dair şüpheler yatıyordu. Bu ölçüde önyargılı olan insanlar, on yıl sonra da modellerde eleştirecek birçok şey buldular. Ancak su geri beslemesi sorunu, kısmen doğal Pinatubo deneyinin sağladığı test fırsatı sayesinde, büyük ölçüde bitti.

Tahminler ve Sürprizler

Pinatubo, iklimsel bilgisayar modellerinin belli bir tahmin gücüne ve yanardağların gerçek bir soğutma etkisine sahip olduğunu gösterdi. Aynı zamanda, stratosferde yansıtıcı bir aerosol tabakasının, çoğu beklenmedik ama hepsi böyle bir soğutmayı kasten denemek ve kopyalamak isteyen insanları ilgilendiren, bir dizi başka küresel yankı uyandırdığını da ortaya koydu.

Birincisi beklenen bir şeydi. Stratosferik sülfat aerosollerinin muazzam büyüklükteki yüzey alanı güneş ışığını sadece dağıtmadı, ayrıca kimyasal reaksiyonların gerçekleşebileceği bir alan sağladı. Bazı atmosferik kimyasal reaksiyonlar, ilgili moleküllerden biri, bir yüzeye yapıştığında gerçekleşmeye çok daha isteklidir ve CFC türevi klorun ozonu parçaladığı bazı reaksiyonlar bu özelliğe sahiptir. Stratosferin kutup bölgesi yılın bir bölümünde bulutluyken, geri kalanı yıl boyunca hemen hemen hiç bulut ihtiva etmediğinden, ozon tabakasının

klor nedeniyle incilmesi, çoğunlukla kutuplarda görülür. Polar-stratosferik-bulut damlacıklarının yüzeyleri, ozon tabakasına zarar veren reaksiyonların gerçekleşebileceği bir yerdir.

Pinatubo patlaması, sülfat aerosolü bulutu oluşturmadı ancak ozon tabakasına zarar veren kimya için sadece kutuplarda değil, tüm stratosferde, birçok yeni yüzey alanı sağladı. 1992 yılında stratosferde bulunan toplam ozon miktarı, kaydedilen tüm yıllar arasında en düşük seviyesine ulaştı. Bir yılda, on yıllık bir inceleme görüldü. 1992’de, patlamadan bir yıl sonra, Antarktika üzerindeki ozon deliği, her zamankinden çok daha fazla ultraviyole ışığın içeri girmesine izin verdi. 1993 ve 1994’te, Pinatubo’nun aerosolleri hâlâ iş başındayken, işler daha da kötüleşti. Delik, bundan sonra bir daha hiç o kadar derin olmadı.

Bu, son zamanların en büyüğü olmasına rağmen binlerce yıl şöyle dursun, geçmiş birkaç yüzyıl için bile en büyük olmayan bir patlama için oldukça çarpıcı bir etkidir. Tambora, stratosfere çok daha fazla kükürt püskürtmüştü. Yaklaşık 26 bin yıl önce gerçekleşen Taubo patlaması ondan da büyüktü; 74 bin yıl önceki Toba patlaması ise bunların hepsini küçeleştiriyordu. Öyleyse bu patlamalar ozon tabakasını neden parçalamadı? Cevap şudur: Çünkü Pinatubo patlaması, insanların stratosfere CFC salmasından sonra gerçekleşti; stratosferde klor yokken, aerosol yüzeylerinin katalize edebileceği, ozonu tahrip edecek kimyasal bir reaksiyon da olmuyordu. Aslında bu aerosoller, NO_x ’in karmaşık stratosferik reaksiyonlarına müdahale ederek ozon seviyesinde kısa vadeli artışlara da yol açmış olabilir.

Beklenen diğer etkilerin beklenmedik sonuçları oldu. Aerosoller güneşten ve yüzeyden gelen kızılötesi ışık yüzünden ısındı; bunun bir sonucu olarak yaydıkları kızılötesi ışık, etraflarındaki stratosferi ısıttı. Tropikal bölgelerde bu ısınma en yüksek seviyede idi. Böylece, alt stratosferde, ekvator ile

kutuplar arasındaki sıcaklık farkı yani pek çok yerküre sistemi makinesini çalıştıran güç arttı. Ekvatordan daha fazla ısının uzaklaşması, kutupların etrafında dolanan (çevresel) jet akımlarını güçlendirdi.

Kuzey çevresel jet akımı bu şekilde güçlendiğinde, bunun etkileri aşağıda, havayı istikrarlı, kendi kendini takviye eden bir kalıba sokmak isteyen troposfer dolaşımında hissedilir. Merkezi kutupta olan, üç yapraklı bir yonca düşünün. Biri Kuzey Pasifik ve Alaska, diğeri Grönland ve üçüncüsü Karadeniz'e kadar Avrupa Rusyası üzerinde olan bu üç yaprakta kış oldukça soğuktur. Bu yapraklar arasındaki üç boşluk ise –Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri, Batı Avrupa ve kuzeydoğu Asya– alışılmadık derecede ılımandır. Patlamalardan sonra böyle bir yonca yaprağı deseninin ortaya çıktığı düşüncesi, birkaç uzman arasında, özellikle kışların ciddiye alındığı Rusya'da, bir süredir tartışılıyordu.

Bölgesel kış-ısınma modeli, volkanlar veya sera gazları yoluyla doğaya ya da insanlara bağlı olan hiçbir iklim değişikliğinin tek tip olmadığının altını çizmektedir. Zaman ve mekan içinde daima farklılıklar vardır. Volkanik patlamalar sonrasında oluşan genel soğuma, yerel ve mevsimsel ısınmayı da beraberinde getirir. Sera gazlarından kaynaklanan genel ısınma, bölgesel istisnalara ve tempoda beklenmedik değişikliklere neden olur. Dünya, 1960'lardan bu yana her on yılda bir biraz daha ısınıyor ancak bir önceki yıldan daha soğuk geçen pek çok yıl ve hiç ısınmayan pek çok yer vardır. Bu zaman zarfı içinde, bazı yerlerin, gezegen ortalamasının iki katına kadar ısınmasına rağmen önemli sayıda yüzey sıcaklığı ölçümü düşüş eğilimi göstermektedir.

Değişimin bu yamalı doğası, ekosistemlerin tepki verme biçiminde de ortaya çıkıyor. Pinatubo'nun, çevresel imgede büyük görünen iki canlı türü olan mercan resifleri ve kutup ayıları üzerindeki etkilerini düşünün. Pinatubo, serinletici

etkisiyle Kızıldeniz'deki mercan resiflerini öldürdü. Kızıldeniz'in yüzeyi soğuyunca, suların, sığ ve derin bölgeler arasında dolaşması daha kolay hale gelir (denizler de stratosfer gibi, yukarıda, alttan daha sıcak olma eğilimi gösterir ve bu nedenle genellikle kararlı tabakalar halindedir). Derin suların yükselmesi, alg ve fotosentetik planktonlarda bir patlama meydana getirir ve bu patlama mercanları öldürür. Pinatubo'dan sonraki kış Kızıldeniz'deki mercanlar ölünce, araştırmacılar geçmiş kayıtları incelediler ve daha önceki patlamaların ardından da benzer mercan ölümleri olduğunu gördüler.

Öte yandan Pinatubo sonrası kış, Hudson Körfezi'nde, jet akımı sayesinde normalden daha sıcak geçerken, bahar; aerosollerin soğutması yüzünden daha soğuk oldu. Soğuk bir bahar, buzların daha uzun ömürlü olması anlamına geliyordu. Bu da o yılki kutup ayısı yavrularının çok daha iyi besleneceği anlamına geliyordu ki söz konusu ayılar bu nedenle alışılmadık derecede büyük ve güçlü oldular. Ayıları izleyen korucular, sonraki yıllarda, boyutlarına bakarak 1992 devresini seçebiliyorlardı. Onlara Pinatubo ayıları dediler.

Pinatubo'nun tek sürprizi ya da en önemli sonucu, genel bir soğumanın ortasında kalan bölgesel bir ısınma değildi. Yukarıda bahsedildiği gibi, atmosferdeki su buharı geri beslemesi, Pinatubo sonrası soğumada bir rol oynadı. Biraz daha soğuk olan gezegende su biraz daha az buharlaştı, dolayısıyla atmosferde daha az su buharı birikti. Daha az su buharı, daha az sera etkisi ve daha az yağmur anlamına geliyordu. Bilim insanlarından oluşan farklı gruplar, dünyanın neresinde ne kadar yağmur ve ne kadar kar yağdığına dair kayıtları bir araya getirdi; bazıları uydulardan, bazıları da yağmur ölçerlerden veriler topladı. Kevin Trenberth ve meslektaş Aiguo Dai'ye ait bir makaleye göre, tüm bu veri kümelerinin üzerinde uzlaştığı bir şey vardı: 1992 yılı, bu kayıtlarda, kıtalar üzerinde diğer yıllara göre daha az yağış görmüştü. Baktıkları, aletli ölçüm yapılmış elli beş yıllık kayıtlı dönemde, gezegenin kuraklığa

maruz kalan bölümünün en büyük olduğu yıl 1992 idi. Bazı yerlerde gıda sıkıntısı yaşandı. Fakat henüz hiç kimse, kuraklığın küresel gıda arzı veya güvenliği üzerinde sistematik herhangi bir etkisinin olup olmadığına bakmak için tarımsal verimlilik istatistiklerini incelememişti; bazı yerlerde bölgesel gıda kıtlığı vardı ama bu, uzun yıllardan beri böyleydi.

Bu kuru yılın kötü bir hasat dönemi getirmemiş olmasının nedenlerinden biri, Pinatubo'nun son bir sürprizi olabilir: Normalden daha az nemli olan bir Dünya'daki bitkilerin belirgin bir büyüme hamlesi yapmış olması. Bunun delili, Dave Keeling'in 1950'lerin sonlarında başlattığı atmosferdeki karbondioksit seviyesi kayıtlarından geliyor. Havadaki karbondioksit seviyesi her yıl biraz daha yükseliyor. Ancak bu seviye yıl içinde mevsimlerin ritmine uygun bir şekilde salınıyor. Kuzey yarımkürede sonbahar ve kış aylarında karbondioksit daha keskin bir şekilde yükselir; ilkbahar ve yaz aylarında düşer. Bunun nedeni, ilkbahar ve yaz aylarında kuzey yarımküredeki bitkilerin (sayıları güney yarımküredekilere çok daha fazladır) bir sezon boyunca fosil yakıtlardan sürekli salınan karbondioksitin üstesinden gelecek kadar hızlı büyümesidir. Sonbaharda ve kışın bitkiler solar ve çürür ve böylece yılın başında atmosferden alınan karbondioksitin oldukça büyük bir kısmı geri dönerek fosil yakıt etkisini artırır. Bu iki süreç birbirini dışlamaz yani kışın fotosentez, yazın da bozulma devam eder ancak bunların biri yılın bir yarısında, diğeri ise ikinci yarısında baskındır.

Pinatubo'dan bir sonraki yılda, 1992'nin baharında, kuzey yarımküredeki karbondioksit düşüşü normalden çok daha dik ve derindi. Genel olarak, atmosferin karbondioksit seviyesinde 1992'de gerçekleşen net artış, endüstriyel emisyonların, 1992 emisyonunun yarısından daha az olduğu 1963'ten bu yana en düşük seviyede idi.

Bunun nedeni, kısmen, belki de büyük ölçüde Pinatubo sonrası soğumaydı. Topraktaki bakteri ve mantarların, ölmüş bitkileri, solunum yoluyla karbondioksit çevirme hızı sıcaklığa

bağılıdır; hava daha sıcak olduğunda, daha yırtıcı olurlar, daha yırtıcı olmaları daha üretken olmaları demektir. Stratosferdeki sülfat aerosolleri 1992'yi anormal derecede serin yaptığı için topraktaki solunum seviyesi normalden daha düşük olmalı, dolayısıyla toprakta hapsolan karbon miktarı daha fazla olmalı ve atmosferdeki seviye bunu yansıtmalıydı.

Ancak birçok yerküre sistemi bilimcisi, işin içinde başka bir şeyin daha olduğuna inanıyor: nüfuz eden ışığın etkisi. Stratosferik aerosol parçacıklarına çarpan ışığın bir kısmı, gördüğümüz gibi, uzaya doğru yansır ki buna geri saçılma süreci denir. Ancak başka bir kısmı da "ileriye doğru saçılır" yani orijinal yolundan bir miktar sapmış olsa da hâlâ yeryüzüne doğru.

Bu iki saçılma şekli birlikte, güneşi biraz daha loş, gökyüzünün geri kalanını ise biraz daha parlak hale getirir. Bu nedenle, bir yaprak üzerindeki belirli bir nokta, aerosol parçacıkları olmadığında alacağından daha az miktarda doğrudan güneş ışığı alırken diğer yönlerden biraz daha fazla ışık alır. Ve bu pek çok yaprağa oldukça uyuyor gibi görünüyor. Doğrudan gelen güneş ışığı çok güçlü olduğu için fotosentezin moleküller motorlarını yakarak yaprağı tamir etmek için zaman ve çaba harcanmasına neden olabilir. Dolaylı ışık ise daha iyidir çünkü yaprağın aksi halde gölgede kalacak kısımlarına ulaşır. Dolayısıyla, gelen toplam ışık miktarı biraz daha az olsa bile dağınık aydınlık tercih edilebilir.

Pinatubo aerosolünün yaydığı ışığı dünyadaki tüm bitkiler aldı. Bu difüzyonun etkisi hakkında farklı görüşler mevcut ancak her şey hesaba katıldığında, bitkilerin bu etkiyi onayladığına dair bazı deliller var. Araştırmacıların yaklaşık bir asırdır üzerinde çalıştığı, New England'da yaprak döken ormanlık bir alan olan Harvard Ormanı'nda yapılan bir çalışmada, 1992 yılının gökyüzünün açık olduğu günlerinde, öğle saatlerinde, bu dağınık ışığın fotosentezi yüzde 23 oranında

artırdığı hesaplandı.¹⁴ Bu oran, bir yıl sonra hâlâ yüzde 8 fazlaydı. Bunun, küresel tepkiyi ne kadar temsil edeceği sorgulanabilir ancak birçok bilim insanı, Pinatubo'dan sonra görülen dağınık ışığın, normalde olması gerekenden daha düşük yağışa rağmen o yıl bitkilerin antropojenik karbondioksidi aldığı rekor hıza katkıda bulunduğuna inanıyor. Keeling kayıtları, bitkilerin, El Chichon ve Agung patlamalarına daha az ölçüde olsa da benzer şekilde tepki verdiğini gösteriyor.

Güneşin diğer kullanıcıları, iyi hizmet alamamış olmalıydı. Güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren ve çok daha yaygın olan bildiğimiz güneş panellerinin aksine, bir türbini çevirmek için güneş ışığını aynalarla odaklayan elektrik santralleri, güneş diskinden doğrudan ne kadar ve gökyüzünün tamamından ne kadar ışık geldiğine duyarlıdır. 1992'de çalışan böyle bir tesis yoktu ancak Amerika'nın Mojave Çölü'ndeki bir prototip, 1982 El Chichon patlamasından sonra güç çıkışında belirgin bir düşüş gösterdi. Şimdi Pinatubo benzeri bir patlama, bu tür santrallerin üretim gücünü azaltacaktı. Bu, dünya enerjisi bakımından büyük bir sorun olmayabilir (bu tür "yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin" kurulu kapasitesi kabaca bir gigavattır) ancak, bir kısmı gelecekte bu güneş santrallerinden çok sayıda olacağını düşünen santral sahipleri için önemli olacaktır.

Krakatau'nun sıcaklık üzerindeki etkilerinin incelenmeye değer görülmediği zamanlardan yaklaşık bir asır sonra Pinatubo, dünyaya volkanların gerçekten de iklimi soğutabileceğini gösterdi (ancak volkanlar, buzul çağlarıyla ilgili süre gelen sorunun cevabı değildir). Gökyüzünü aşağıdan tarayan lazerlerden yukarıdan aşağıya doğru bakan uydulara kadar her türlü yeni araçla donanmış ve dünyanın dört bir yanında yapılan gözlemleri, Kraliçe Victoria İmparatorluğu'ndan bile

¹⁴ Bu hesaplar, söz konusu orman çok uzun süredir çalışıldığı için mümkün olmuştur; uzun süreli kayıtlar, iklim araştırmacılarının en sağlam dostları arasındadır.

daha iyi toplayan ağırlara sahip bilim insanları, sadece soğuma gerçeğini değil, aynı zamanda bu gerçeğin mekanizması da göstermiş oldular. Ve bütün bunları hem akademi içinde hem de ötesinde küresel ısınma konusunda artan uyarı bağlamında yaptılar. Pinatubo'nun soğuduğu yıl yani 1992, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) Rio Dünya Zirvesi'nde imzalandığı yıldır. Bazılarının Pinatubo'nun bir deneyden daha fazlası olmayacağını yani bir prototip olup olamayacağını merak etmesi hiç de şaşırtıcı değildir.

ÖĞLE VAKTİNDE ALACAKARANLIK

İnsan yapımı dediğimiz şeyler doğadan ayrı değildir. Doğa yasalarını görmezden gelecek veya ihlal edecek bir muafiyetleri yoktur. Aynı zamanda beşeri hedef ve amaçlara göre tasarlanırlar. İstediklerimizi yerine getirmek için ne olmaları gerekiyorsa odurlar...

Herbert A. Simon, "The Sciences of the Artificial" (1996)

Bir volkanik patlamanın korku ve dehşet uyandırması için Pinatubo kadar güçlü olması gerekmez. İklim jeomühendisliği üzerinde de çalışan İngiliz volkanolog Matt Watson, Montserrat adasındaki Soufriere Tepeleri'nin 1995'teki patlaması sırasında baş döndürücü bir yükselişe şahit oldu. Bu, yüzyılın değil, yılın patlamasıydı ama gökyüzünün görüntüsü katılaştı ve canlılığını koruyarak inanılmaz bir biçimde kendisine doğru gelmeye hızla devam etti; "Dünyadan düşüyormuş gibi hissettiriyordu."

İnsan aklının bir volkanın gazabıyla aynı etkiyi yaratabileceği düşüncesi size makul gelmeyebilir hatta inançsızlık gibi de görünebilir. Oysa bu, Antroposen'in sıradan bir gerçeğidir. İnsanoğlu doğayı her zaman, daha birkaç yüzyıl önce Tambora'nın yaptığı gibi, yüksek dağlara ve vahşi havaya bakarak yücelikten etkilenen tüm o romantik ruhları şok edecek

şekilde geride bırakmıştır. İnsanlık en derin uçurumlara köprüler kurmuş, en karanlık geceleri aydınlatmış ve en büyük nehirlerle barajlar yapmıştır. Boyları iki metre bile olmayan ve beyinleri kavunlardan daha küçük olan memeliler için hayal edebileceğiniz hemen hemen bütün sınırları aşmıştır. İnsanların kendilerini kıyasladığı korkutucu öteki duygusu, artık doğanınki kadar kendi yaptıklarıyla da oluşuyor. Tarihçi David Nye'nin ifadesiyle artık, baskın bir teknolojik büyüklük tasavvuru, "bütün sınırları ortadan kaldırarak ve sürekli yenilikler üreterek dünyayı dönüştürme imkanının varlığına" duyulan bir inanç var.

Doğanın bu şekilde ele geçirilmesi olağanüstü olabilir; Nye, devasa mühendislik projelerine, atom silahlarına, aya giden roketlere işaret etmektedir. Fakat mutlaka böyle olmak zorunda da değildir. Bazı büyük işler göreceli olarak daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir. Stratosferde bir perde oluşturmak böyle bir şey gibi görünüyor.

Pinatubo'nun stratosfere yirmi milyon ton kükürt dioksit salması, nihayetinde son derecede verimsizdi. Gaz, sıcak ve yüzücü olduğu için yükseldi; kendi haline bırakılsa yükselirken hızla soğuyacaktı çünkü onu sıcak ve yüzer halde tutan şey, onunla birlikte havaya fırlatılan milyarlarca ton sıcak kayaydı. Sadece gazın yükselmesi için tasarlanan bir sistem, bunu çok daha verimli bir şekilde yapabilirdi. Bir tonluk herhangi bir şey, prensipte, yaklaşık 70 kilovat-saat enerjiyle dünyanın ötesine çıkarılabilir ki bu çok büyük bir enerji değildir; aslında on litre benzin yaktığınızda elde ettiğinizden daha azdır. Süreci bir yıla yayarsanız, yirmi milyon tonu, yaklaşık 160 MWlık sabit bir güçle –bu, birkaç modern gaz türbini çalıştıran bir elektrik santralinden alabileceğiniz büyüklükte bir güçtür– stratosfere çıkarabilirsiniz.

Gazları yukarı çıkarma mekanizmaları uygulamada bu kadar verimli değildir. Ancak enerji açısından hâlâ oldukça kullanışlı durumdadırlar. Bu işi yapmanın bariz bir yolu, diğer şeylerin

yanı sıra stratosferik araştırma uçakları inşa eden *Aurora Flight Sciences* şirketinin 2010 yılında yaptığı bir çalışmada oldukça kapsamlı bir şekilde araştırılan bir seçenek olarak, gazı uçaklarla yukarı çıkarmaktır. Bu çalışma, giriş bölümünde sözünü ettiğimiz, Calgary Üniversitesi araştırmacılarından David Keith tarafından yürütüldü ve karbondioksidi atmosferden emme işinin Keith'in kendi şirketi olan *Carbon Engineering*'e kaçma mal olacağı araştırıldı. Profesörler çoğu zaman ticari uçak üreticilerinden ilgilendikleri konularda araştırma yapmalarını sağlayacak kaynaklar elde edemezler. Ancak iklim jeomühendisliği alanında muhtemelen en etkili araştırmacı olan Keith, tipik bir profesör değildir. Diğer şeylerin yanı sıra, o ve Carnegie Enstitüsü'nde bir yerküre sistemi bilimcisi olan arkadaşı Ken Caldeira, geçtiğimiz on yılın büyük bir bölümünde, Bill Gates ve eski çalışanlarından bazılarının iklim ve iklim mühendisliği araştırmalarını finanse etmek için kurduğu bir fonu kullandı. (Bu, Gates'in karbon mühendisliğine yaptığı yatırımdan ayrıdır ancak Gates'in Keith'in yeteneklerine duyduğu saygı bakımından bazı ortak nedenler olduğu da açıktır.) Bu fonun sağladığı para, Aurora raporu da dahil olmak üzere, 2007'den beri devam eden iklim jeomühendisliği araştırmalarının kayda değer bir bölümünü karşıladı.¹⁵

Aurora analizi, gerektiğinde, 14 tane Boeing 747-400 jumbo jetten oluşan bir filo gibi, mevcut muhtelif teknolojilerle, suya yakın yoğunlukta bir şeyin bir milyon tonunun stratosferin belli bir bölgesine çıkarılabileceği sonucuna vardı. Bu sistemi kurmanın maliyeti bir milyar dolardan biraz daha az olacak ve bir yıllık işletme giderleri yine yaklaşık bir milyar dolar tutacaktı.

Bir grup insanın, böyle bir uçuş planının halihazırda çok daha büyük bir ölçekte devam ettiğini düşündüğünü belirtmekte fayda var. Dünyanın dört bir yanında, bazı ticari ve gayriticari uçakların bıraktığı yoğunlaşma izlerinin, tüm yetkililerin

¹⁵ Fon, başka şeylerin yanı sıra, benim de katıldığım birçok toplantıyı destekledi; bana herhangi bir ücret ödemedi.

ısrarla belirttiği gibi, uçak motorlarının oluşturduğu girdabın ardında kalan su buharının beslediği bulutlar olmadığı, bunun yerine, gizli bir hükümet programının bir parçası olarak atmosfere kasten bırakılan zararlı maddeler olduğu yani onların, su buharı değil, kimyasal bir iz olduğuna inanan birçok gözlemci, aktivist ve yoldaştan oluşan bir ağ vardır. Bu kimyasal maddelerin amacının ne olduğu konusunda gerçekte bir fikir birliği yoktur; iklim değişikliği ve hatta küresel ısınmanın bilinçli bir şekilde desteklenmesinin yanı sıra bazen zihin kontrolü ve zorunlu kısırlaştırma olduğu öne sürülüyor fakat her ne olursa olsun alçakça olduğu varsayılıyor. Kimyasal iz takipçileri delil olarak, uçakların arkalarında bıraktığı, gizli bir püskürtme programından başka bir açıklamasını göremedikleri, belli bir bolluk veya desen içindeki izleri gösteriyorlar: uçakların A'dan B'ye giden bir yolu izlemek yerine kendi etraflarında döndüğünü gösteren; her ikisi de gökyüzünün tam olarak aynı bölgesinde olmasına rağmen uçaklardan birinin bıraktığı ama ötekinin bırakmadığı (OWOW –“Birinde var, diğeri yok”– diye bilinen dedikodu niteliğinde bir fenomen); aynı uçağın kanatlarından çıktığı halde farklı görünen izler. Uçakların kanatlarındaki ve motor gövdelerindeki küçük memeleri ve havalandırma deliklerini gösteren fotoğraflara ve sivil uçakları takip eden internet sitelerinde paylaşılan verilerdeki kesintilere ve tutarsızlıklara bilhassa dikkat ederler. Dünyada bir şeylerin yanlış gittiği, gökyüzündeki esrarengiz işaretlerin bu yanlışlığı ispatladığı duygusuna kapılırlar.

Kimyasal iz takipçilerinin inançları ile diğer birçok komplo teorisyeninin inançları arasında açık benzerlikler vardır. Gizli bir püskürtme programına atfedilen birçok fenomen için çok daha ikna edici bulduğum açıklamalar biliyorum ve alternatif bir açıklamasını bilmediğim şeylerden söz ettiklerinde –kimyasal iz takipçileri, son birkaç yılda jeomühendislikle ilgili kamusal tartışmaların demirbaşları haline geldiler ve normalde konuşmaya çok heveslidirler– benim cevabım hep şöyle olu-

yor: Bu etkinin, henüz bilmediğim bir uçak mühendisliği veya atmosfer fiziği esprisiyle açıklanma olasılığının, ağzı son derece sıkı olan çok sayıda pilot, mühendis ve başka insanın kurduğu büyük bir komplo ile açıklanma olasılığından çok daha büyük olduğunu düşünüyorum.

Kimyasal iz takipçilerinin bu jeomühendislik etkinliklerine katılmalarının nedeni, kısmen, komplonun bir parçası olduklarından şüphelendikleri konuşmacılarla yüzleşme, kısmen, mesajlarını izleyicilere iletme ve kısmen de bilim insanlarının söylediklerini kendi anlayışları için nasıl kullanabileceklerini görme isteğidir. Kendi tecrübelerime göre bu insanlar çoğunlukla medenidir; bilim insanlarının kendilerine göre apaçık olduğu kesin olan şeyleri görmedeki yetersizlikleri ya da isteksizliklerine şaşırsalar da tartışmaya katılan herkesin kötü niyetli olduğunu düşünmezler. Bilim insanları yalancı mı yoksa aptal mı? Jeomühendisliği, gelecekteki bir imkan olarak mı ele alıyorlar, yoksa bir çifte blöf girişimi olarak mı? Birden fazla program ve iç içe çarklar mı var? Bazen işler çirkinleşir. Keith, bu tür inançlara sahip insanlardan ölüm tehditleri aldı ve birçok araştırmacı –iklim jeomühendisliği planlarının yararlılığı konusunda kendileri de çok şüpheli olanlar da dahil olmak üzere– e-posta veya Twitter yoluyla taciz ediliyor. Bununla birlikte, tanıştığım kimyasal iz takipçileri genellikle sinirli ve bazen kızgın olsalar da çoğunlukla barışçıl görünüyorlardı. İleri sürdükleri deliller tamamen şüpheli olsa da üzerlerinde hiçbir kontrollerinin olmadığı insanların tepelerindeki gökyüzünü değiştireceği endişesi çok güçlü bir korkudur.

Gerçek (yani tamamen kavramsal) stratosferik jeomühendisliğin uygulanabilirliğine geri dönecek olursak, Aurora raporunun da değerlendirdiği gibi, aerosoller jumbo jetlerin arkasından püskürtmek ideal bir çözüm olmaktan çok uzaktır. 747'ler, en büyük yükseklığe sahip olduğu tropik bölgelerde tavanı yerden on dört kilometre (45.000 fit) yukarıda olan tropopozun üzerine çıkamazlar. Aerosoller yalnızca ılıman

ve yüksek enlemlı bölgelerdeki stratosferin en alçak katmanına bırakabilirler. Bu, aerosolün uzun süre bekleme ve dünyaya yayılma yeteneğini sınırlar.

Amerikan F-15'i gibi yüksek performanslı bir savaş uçağı, tropikal tropopozun üzerine çıkabilir. Ancak orada oyalanamaz ve bu tür uçaklar gaz püskürtmek için pek uygun değildir. Taşıyabildikleri yük çok daha küçük olduğu için, jumbolara kıyasla neredeyse on kat daha fazla uçağı ve çok daha büyük bir kara operasyonuna ihtiyacınız olur; savaş uçakları, yolcu jetlerine göre her uçuş saati için beş kat daha fazla bakım gerektirir. Bu büyüklükte bir hava kuvveti oluşturma nın getireceğı muhtelif düzenleme ve politik sorunları aşabilirseniz, yılda on milyar dolar veya daha fazla bir toplam maliyeti göz önüne almanız gerekir.

Söz konusu rapora göre daha iyi bir çözüm, sıfırdan yeni bir uçak tasarlamaktır. Yirmi ila yirmi beş kilometre yükseklikte uçabilmek için, uzun kanatları gövdeden neredeyse doğrudan dışarı bakan ve motorları normal bir jet için çok ince kalan bir havada çalışacak şekilde değiştirilmiş, şişman bir U-2'ye benzeyen bir şeye ihtiyacınız vardır. Aurora, önceki uçak projelerinden elde edilen temel yasaları kullanarak, böyle bir uçağı geliştirmenin ve birkaç düzine satın almanın yaklaşık yedi milyar dolara mal olacağını ve işletme maliyetlerinin oldukça sıkı tutulması halinde yılda yaklaşık iki milyar doları bulacağını hesapladı. Bu planı yılda beş milyon tona kadar büyüttüğünüzde bazı varsayımlar değişir; daha büyük bir uçak isteyebilirsiniz, jetler yerine pervanelere yönelebilirsiniz; fakat ton başına maliyet pek fazla değişmez.

Bunlar, birinci bölümde stratosferdeki kanatları hayal ederken düşündüğüm uçaklardı. Dünyanın dört bir yanındaki bir avuç üstten kalkarak, her seferinde bir saatlik yörüngelerde uçuyor, ufuklarını çevreleyen ve mavi-beyaz ışık saçan sise, hiç fark edilmeyecek şekilde, kilometre başına birkaç on kilogram

aerosol bırakıyorlardı. Mizahi isimleri olan bu sıradan uçaklar günde beş kez dünyanın zirvesine çıkıp geri dönüyorlardı.

Tek seçenek bu uçaklar değildir. Bu problem üzerinde çalışan başka mühendisler, yüzeydeki pompa istasyonlarına bağlı olan otuz kilometrelik hortumları havada tutan devasa balonları tercih ediyor. Böyle bir sistem enerji açısından, tasarlanabilecek en ucuz sistem olabilir. Uçaklar yüklerini boşaltmadan önce, kendilerini, yüklerini ve yakıtlarının bir kısmını stratosfere çıkarmak için enerji harcamak zorundadır; oysa bir balon ve hortum, kaldırma kuvvetlerini sağlayan hidrojen veya helyum dayandığı sürece havada tutulabilir. Ve dayanılması gereken yüksek ivmeler de yoktur, bu nedenle yapı son derece hafif olabilir. Bununla birlikte, balonların gerçekten çok büyük olması gerekecektir; NASA'nın 1930'lardaki öncü kozmik ışın izleme uçuşlarının halefleri olan özel teleskopları stratosfere kaldırmak için kullandığı yüz metre çapındaki devlerden bile daha büyük. Güçlü rüzgarlarla uğraşmak zorunda kalacaklardır. Ve boruları büken kuvvetler ile içlerine pompalanan sıvılardan gelen basıncın birleşimi büyük problemler doğurabilir. Savunucuları bu tür engellerin aşılabileceğini düşünse de balon kolay bir seçenek değildir.

Başka mühendisler, "hibrit hava gemileri" olarak adlandırılanları tercih edebilir. Bunlar, yükselmenin bir kısmını itme ve aerodinamikten, bir kısmını yüzdürme gücünden sağlayan ve halen deneme aşamasında olan uçaklardır. Bu tür melezlerin, bir çocukken televizyonla beslenen hayal gücünün başlıca konusunu oluşturan, şişman ve yuvarlak ama yine de düzgün biçimli *Thunderbird 2*'ye tesadüfi bir benzerliğinin olması, bir şeyler yapabileceklerini ümit etmeme neden oluyor ancak ayrıntılı bir çalışma hâlâ yapılmış değil. Neredeyse tüm sistemi yerde tutmanın başka bir yolu olarak basınçlı gazla dolu top mermilerini fırlatacak silahların kullanılması da tartışıldı ancak bu mermilerin maliyeti daha yüksek olacak gibi duruyor.

En iyi seçeneğin kanatlı uçaklar olduğunu düşünüyorum zira dünyanın onları inşa etme ve uçurma konusunda çok fazla deneyimi var. Perdelemenin nasıl yapılacağı ise ikincil bir ayrıntıdır. Önemli olan, çağdaş mühendislikteki oldukça basit gelişmelerle yapılabiliyor olmasıdır. Ve şu konuda bir ihtilaf olmadığı görülüyor: Başlangıçta on milyar dolarlık bir yatırım ve oldukça küçük bir havayolu şirketinden daha büyük olmayan bir organizasyon ile, on yıl içinde, istediğiniz herhangi bir şeyin birkaç milyon tonunu stratosfere çıkarabilirsiniz.

İklimsel risklerle, sera gazı salımını azaltarak mücadele etmenin maliyetiyle karşılaştırıldığında, on milyar dolar çerez parasıdır zira bu rakam tek bir Amerikan nükleer santralinin maliyetinden daha düşüktür (nükleer santraller dünyanın diğer bölgelerinde daha ucuzdur ama muhtemelen daha az güvenlidir). Almanya'nın iddialı yenilenebilir enerji planları, neredeyse yüz kat daha yüksek bir maliyetiyle sonuçlanabilir. Columbia Üniversitesi'nde uluslararası ilişkiler profesörü olan Scott Barrett'in bu konuyu ele aldığı makalelerin birisine "Jeomühendisliğin İnanılmaz Ekonomisi" başlığını vermesinin nedeni budur.

Bu başlık yanıltıcı olabilir. David Keith, bir stratosferik perdenin kalınlığını ve gelişimini istediğiniz doğrulukta izlemenin, böyle bir perdeyi sadece yapmaktan çok daha pahalıya mal olabileceğine dikkat çekiyor. Bazıları, jeomühendisliğin maliyetlerinin her zaman, iklim değişikliğinden zarar görecektik insanlara ödenecek tazminatları da içermesi gerektiğini savunabilir ve bu, bazı planlarda ve kimi koşullar altında büyük bir faturaya neden olabilir. Alternatif iklim jeomühendisliği biçimleri, perde yapmaktan çok daha pahalıya patlayabilir ve buna rağmen maliyet dışı gerekçeler yüzünden perdeye tercih edilebilir. Ve biraz sonra göreceğimiz gibi, desteklenmeye değer herhangi bir çabanın, jeomühendislik bileşeninden çok daha maliyetli olan daha geniş bir iklim politikası ve eylemi dizisine entegre edilmesi gerekecektir. Ekonomide ilk mali-

yetlerden çok daha fazlası vardır. Ancak bu ön maliyetlerin düşük olması ve bu fikrin fizibilitesi hakkında söyledikleri hâlâ önemlidir.

Kötü Büyü

Volkanlar, sülfürü stratosfere çıkarmak için çok fazla enerji harcamakla kalmaz, ayrıca oraya çıkardıkları kükürdün oluşturduğu aerosol parçacıkları da optimum değildir. Pinatubo'nun oluşturduğu perdedeki parçacık boyutlarının dağılımı pek iyi anlaşılamamıştır (birkaç iklimbilimci, ayrıntıları 1990'larda mümkün olandan çok daha iyi yakalamayı umarak, bir sonraki patlamayı sabırsızlıkla bekliyor). Ancak soğutma için ideal olan boyutlardan daha büyük oldukları kesin gibi görünüyor.

Bunun nedeni sülfat parçacıklarının üretilme şeklidir. Aerosol içermeyen temiz bir stratosfere milyonlarca ton kükürt dioksit enjekte edildiğini düşünün. Kükürt dioksit, zamanla oksitlenerek aerosol parçacıklarının oluşmasını teşvik eden sülfat iyonlarına dönüşür. Gazın oksidasyonu ile oluşan ilk iyonlar küçük parçacıklar üretecektir. Ancak zaman geçtikçe, yeni oluşan iyonların sıfırdan yeni parçacıklar oluşturma ihtimali azalır ve halihazırda orada olan sülfat parçacıklarını büyütme ihtimali artar; böylece parçacıkların ortalama boyutu artar. Bu arada parçacıklar da birbirleriyle çarpışmaya ve birbirine yapışmaya başlar. En çok soğutma oldukça küçük aerosol parçacıklarıyla gerçekleştiğinden –milimetrenin yaklaşık on binde ikisi kadarlık bir çap iyi çalışıyor gibi görünmektedir– daha büyük parçacıklar oluşturan bu süreç, bir ton kükürt başına daha az soğutma anlamına gelir.

Bu durum, volkanlarla iklim arasındaki bazı ilginç bağlantıları açıklamaktadır. Daha dramatik uçta, daha büyük patlamaların neden büyüklükleriyle orantılı bir şekilde daha çok soğutma sağlamadığını açıklamaktadır. Volkanlar, stratosfere

daha çok sülfür enjekte ettikçe, parçacıklar daha çok büyür. Daha büyük parçacıklar, verimi daha düşük boyut dağılımları ve yere daha hızlı düşen parçacıklar anlamına gelir. Tambora, dünyayı Krakatau'dan daha fazla soğutmuştu, oysa kükürt emisyonlarını karşılaştırırsanız oranın beklediğiniz kadar büyük olmadığını görürsünüz. Daha hassas uçta, bu, stratosfere herhangi bir miktarda kükürt püskürtebilen en küçük patlamaların, bir ton kükürt başına en büyük soğutma potansiye-line sahip olduğu anlamına gelir. Birkaç yıl önce, Matt Watson'ın tanık olduğu Soufriere Tepeleri de dahil olmak üzere, bir dizi küçük patlamanın, kütlesi gerçekten çok küçük olmasına rağmen ihtiva ettiği küçük parçacıklar yüzünden küresel ısınmayı dengeleyebilecek kadar güçlü bir perde oluşturmuş olabileceği ve bu perdenin, yirmi birinci yüzyılın ilk on yılında yeryüzünün sıcaklığında neden bir artış görülmediğini kısmen açıklayabileceği öne sürüldü.¹⁶

İnsanlar ilk kez belli bir amaç için perde oluşturmayı düşündüklerinde, bunu volkanik bir şekilde kükürt dioksit kullanarak yapmayı hayal ettiler fakat tüm gazı bir kerede salmak yerine, her yıl sabit bir oranda püskürtmeyi düşündüler. Kısa süre sonra, ilave kükürt dioksitin yeni küçük parçacıklar oluşturmak yerine mevcut küçük parçacıkları büyütme eğiliminin, parçacıkların birbirine yapışma eğilimi gibi bir sorun olacağı ortaya çıktı. Optimum parçacık boyutunun korunması zor olacaktı; güçlü, kalıcı bir soğutma elde etmek zor olabilirdi.

16 Bu, söz konusu "duraklama" veya arayı açıklamak için başvuru alan birçok etkiden sadece birisidir; diğer etkilerden bazıları, bu kitabın muhtelif yerlerinde kısaca ele alınmıştır. Bu açıklamalar şunları içeriyor: atmosfer ve okyanuslar arasındaki dağılımındaki değişiklikler (bkz. ikinci bölüm); Çin'in ekonomik patlamasının bir sonucu olarak troposferde artan aerosoller (bkz. onuncu bölüm); düşük genel iklim duyarlılığı (bkz. giriş bölümü). Sıcaklık artışı görülmemesinin bir bölümü, neredeyse kesin bir biçimde, Kuzey Kutbu sıcaklık kayıtlarının eksik tutulması ve bunun bir sonucu olarak oradaki ısınmanın küresel ortalamalarda olması gerektiği gibi temsil edilememesiyle ilgilidir. Bunların hiçbirini birbirini dışlayan açıklamalar değildir.

Bazıları bunun söz konusu fikri uygulanamaz hale getirdiğini düşündü. Halbuki, bunun, sadece perde oluşturanların, yarıdağ aktivitelerini sadece taklit etmekten biraz daha fazlasını yapmasını gerektirmesi daha olası görünüyor. Biraz daha iddialı bir donanım gerektirse de kükürt dioksit yerine sülfürik asit damlacıkları –kükürt dioksitin sonunda kendini dönüştürdüğü madde– püskürten bir uçak tasarlamak mümkündür ve böylece ara adımlara gerek kalmayacaktır. Bu temele oturan ve doğru bir şekilde tasarlanan püskürtme sistemleri, ideal boyut aralığında parçacıklar üretebilecek ve bu parçacıklar bir kez oluşturulduktan sonra, stratosferin, yavaş yavaş oksitlenen kükürt dioksit ile kaplanması durumunda olacağı gibi üzerlerine toplanacak ekstra bir sülfat iyonu kaynağı olmayacağından ne büyüme ne de küçülme eğilimi göstermeyecektir.

Parçacıkların küçük kalması, stratosferik perdenin yan etkilerinden birinin en aza indirilmesine yardımcı olur çünkü küçük parçacıklar kızılötesini çok iyi emmez ve yaymaz, böylece stratosferi daha az ısıtır. Ancak en bariz sakıncayı çözmez çünkü belirli bir kütlenin daha fazla yüzey alanına sahip olmasını sağladığından CFClerden gelen klorun ozonu parçalayabildiği yüzeyleri artırmaya devam eder. Bilgisayar modelleriyle yapılan araştırmalar, sülfat aerosolleri kullanan bir iklim jeomühendisliği programının bu mekanizmayla, Pinatubo'nun yaptığı gibi, küresel ozon tabakasını, özellikle kutuplarda dikkate değer ölçüde incelteceğini göstermektedir.

Böyle bir perdenin ozon tabakası üzerinde ne gibi etkilerinin olacağı sorusu, sadece bilgisayar modellerinin değil, başka önemli araştırmaların da konusudur. Watson Programı'nın bir parçası, yüzeylerinde neler olup bittiğini öğrenmek için lazer ışınlarının arasına hapsedilmiş bireysel aerosol parçacıklarının incelenmesine öncülük ediyor. Bu konunun, en sonunda, stratosferde yani kendi yerinde incelenmesi gerekecek. Bu, bir yandan iklim jeomühendisliğinin profilini

yükseltmesini diğ er yandan ona karşı muhalefeti harekete geçirmesini beklediğim bir araştırmadır.

Montreal Protokolü, CFC ve ozona zarar veren diğ er gazların kullanımını frenlediğ i için, stratosferdeki klor seviyesi artık düşüyor (2000'lerin başında zirveye ulaşmıştı). Montreal Protokolü olmasa ve CFC  retimi hız kesmeden tırmanmaya devam etseydi, dünya şu anda ağır ve git gide daha da kötüleşen bir ozon sorunuyla yüzleşiyor olacaktı. Halbuki hızlı ve koordineli bir eylem planı sayesinde,  oğ u yerde pek hissedilmeyen ve ortadan kaldırılmakta olan bir ozon problemi yaşamaktadır. Antarktika'da hâlâ mevsimlik bir ozon deliğ i ve Kuzey Kutbu üzerinde ilkbaharda incelen bir ozon tabakası var ancak bu bozulmanın etkisi yerel ve sınırlı görünüyor. Ultraviyole radyasyonda k    k bir artış, son on yılda Kuzey Kutbu'nu baştan sona saran ve sarmaya da devam eden, deniz buzunun azalması, çok daha güvenli bir ulaşım, yerli halkın yeni siyasi temsil seviyesi ve soğ k savaş sonrası yeni uluslararası siyaset gibi değ işikliklerin ilkinde bile neden olmaz. Antarktika ve Kuzey Kutbu'nda, klor seviyesi d şt     ozon tabakasının iyileşeceğ ine dair g     bir beklenti vardır. Volkan benzeri sülfatlardan oluşan stratosferik bir perde, orada bulunan kloru daha yıkıcı bir hale getirerek bu toparlanmayı yavaşlatır ki bu, ozon tabakasının CFC  ncesi duruma dönme tarihini, bu yüzyılın ikinci yarısından yirmi ikinci yüzyılın başına çekebilir.

Bu hâlâ endişe verici geliyorsa ya da gelecek araştırmalar, sülfat aerosollerinin ozon üzerindeki net etkisinin bugün görünenden daha kötü olduğ unu gösterirse, keşfedilmesi gereken başka seçenekler olacaktır. Her ne kadar volkanlar dünyayı soğ tmak için sülfat kullanıyor olsa da başka aerosoller de mevcuttur ve bunlar tercih edilebilir. şimdiye kadar tartışılanlar arasında alüminyum ve titanyum oksitler ve hatta daha da şaşırtıcı bir şekilde çok k    k elmaslar var. Varsayılan bu parçacıkların bazılarının yüzeyleri, ozonu tahrip eden reak-

siyonlara çok daha az elverişlidir ve bu nedenle bir perdeyi çok daha ozon dostu hale getirebilir. İstenirse, parçacıkların özelliklerinin, ozonu tahrip etme yerine güçlendirecek şekilde uyarlanması gerçekten mümkündür. (Antarktika'daki ozon deliğinin keşfinden kısa bir süre sonra, Antarktika-stratosferine ozonu tahrip eden reaksiyona müdahale edebilecek kimyasalların püskürtülmesiyle ilgili bazı tartışmalar oldu. Ancak, daha derin bir incelemeden sonra düşünülen yaklaşımın yarıardan çok zarar vereceği görüldü.)

Perde oluşturmak isteyenlerin sülfat dışında başka parçacıklara bakmalarının bir diğer nedeni de ileri saçılmanın geri saçılmaya oranıdır. Sülfat parçacıkları, geri saçılmaya kıyasla oldukça fazla miktarda ileri saçılmaya neden olurlar ve böylece uzaya geri yansıttıklarından çok daha fazla güneş ışığını Dünya'ya doğru yayarlar. Bu, yukarıda değindiğimiz gibi, bazı bitkiler için faydalı olabilir ancak kimi güneş enerjisi sistemleri için kötüdür ve gökyüzüne, birçok kişinin hoşuna gitmeyecek bir şekilde, "solgun" bir görünüm verir.

Aerosolün stratosferi olası ısıtma miktarıyla ilgili de bir sorun vardır. Daha sıcak bir alt stratosfer, tropopozu daha geçirgen hale getirerek daha fazla su buharının stratosfere çıkmasına neden olabilir. Bunun, ozon ve diğer reaksiyonlar üzerinde bir etkisi olacaktır ve hatta stratosferde bulut oluşmasına bile yol açabilir. Troposferin yüksek kısımlarında oluşan ince, buzlu sirrus bulutları üzerinde de etkisi olabilir. Sirrus bulutları kendi altında kalan atmosferi ısıttığı için (yaydıkları kızılötesi ışık, yansıttıkları güneş ışığından daha güçlü bir etkiye sahiptir), bu bir sorun oluşturacaktır.¹⁷ Bu tür planların halihazırdaki en büyük dezavantajı, tropopozun geçirgenliğiyle ilgili bu sorunlar olabilir.

17 Sirrus bulutlarını kasten bozmanın, bu ısıtma etkisi dolayısıyla, gezegeni soğutmanın bir yolu olabileceği öne sürülmüştür ancak bu iklim jeomühendisliği biçimi henüz çok derin bir şekilde çalışılmamıştır. Bulutları kullanan diğer jeomühendislik biçimlerini onuncu bölümde ele alacağız.

Pinatubo, stratosferik aerosollerin dünyayı soğutabileceğini gösterdi fakat bunun, beşeri ihtiyaçları en iyi şekilde karşılayacak şekilde nasıl yapılacağını göstermedi. Daha iyi yollar aramak, çok çeşitli aerosollerin ve bunların termal, optik ve kimyasal etkilerinin hem laboratuvarlarda hem de çok sınırlı bazda havada araştırılmasını gerektirir. Bu aynı zamanda bunların insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemek anlamına gelir; havada yükselen aerosoller, er ya da geç, yere geri dönerler ve bunların miktarı, troposferde zaten uçuşan toz, polen, kirletici ve diğer şeylerle karşılaştırıldığında büyük olasılıkla çok küçük kalacak olsa da sağlığı nasıl etkileyeceklerini bilmek oldukça önemlidir.

Sonunda tercih edilen aerosol, sülfatlar olabilir; diğer faktörlerin yanında, bu işi, doğal süreçlere oldukça benzer bir şekilde yapmaya yönelik bir çekim olabilir. Öyle olsa bile, insanların ilk düşündüğü şeyin peşinden koşmak yerine, gerçek ve bilinçli bir seçim yapmak gerekir. Jeomühendislerin sadece volkanik bir perdeyi tüm ayrıntılarıyla kopyalamaya çalışacaklarını veya bunu yapmaları gerektiğini düşünmek, ilham ile tasarımı birbirine karıştırmak demektir.

Prometeyen Bilim

Tarihçi Simon Schaffer, kötü havalardan getirdiği risklerden birini azaltmak için tasarlanan ilk teknolojiyi yani paratonerlerin on sekizinci yüzyılda kullanılmaya başlanmasını anlattığı bir denemede “Prometeyen bilim” kavramını şöyle tanımladı: “insanlığı büyük bir tehlide karşı korumaya yönelik büyük bir tutku ile bu bilimin reçetelerini takip etmenin rahatsız edici tehlikelerini bulamaç yapan deneysel bir girişim.” Böyle bir perde yapmanın büyük bir tutkuyu temsil ettiğine hiç şüphe yok. Fakat nasıl bir koruma sağlayabilir ve rahatsız edici tehlikeler neler olabilir?

İşte bu sorular, bilgisayar modellerinin, tüm kusurlarına rağmen yararlı olduklarını gösterdikleri türden sorulardır.

Doğa bilimcileri tarafından jeomühendislik üzerine yapılan son araştırmaların aslan payını bu fayda kullanmıştır. Tipik yaklaşım şudur: Modeli, endüstri öncesi karbondioksit seviyesinin iki veya bazen dört katı ile çalıştırmak ve sonra, bu karbondioksit ek olarak, gelen güneş ışığını, iki katına veya dört katına çıkan karbondioksitin sorumlu olacağı ısınmayı dengelemeye yetecek kadar kesen bir iklim jeomühendisliğiyle tekrar çalıştırmaktır. Böylece modeller, Sera Gezegeni ve Tasarlanmış Gezegen olarak adlandırdığımız durumlarda neler olacağına dair sonuçlar üretir. Araştırmacılar bu gezegenleri birbirleriyle ve dünyanın bugünkü haliyle –Ana Gezegen– karşılaştırabilirler.

Rutgers Üniversitesi'nde hem volkanların hem de nükleer savaşların iklimsel etkilerini inceleyen Profesör Alan Robock ve öğrencisi Ben Kravitz, 2011'de, GeoMIP adlı bir projenin başlatılmasına öncülük ettiler. Bu proje, dünyanın dört bir yanından çeşitli iklim modellerinin ürettiği sera ve Tasarlanmış Gezegenleri karşılaştırmanın standart bir yolunu sağladı. Çalışmanın sonuçları, ilgili kısmı 2013'te yayımlanan IPC-C'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'na dahil edildi. Aşağıda, GeoMIP dışındaki benzer projelerde de olduğu gibi, modellerin çoğunun hemfikir olduğu, projenin bugüne kadar elde ettiği ana bulgular yer almaktadır.

Bu bulgular faydalıdır fakat yanlış ve aşırı yorumlanabilirler. İnsanlar, özellikle modellerin belirli senaryolar için söylediklerinin, perde oluşturmayla ilgili bütün senaryolar için de geçerli olduğunu düşünürler. Oysa durum böyle değildir. GeoMIP için seçilen senaryolar, Tasarlanmış Gezegendeki süreçler hakkında ilginç sonuçlar ortaya çıkaracak şekilde tasarlanmıştır. Bunlar, jeomühendislik yapılmaya başlandığında kullanılacak yaklaşımların gerçekçi birer temsili değildir. Gerçek bir jeomühendislik projesi, nasıl volkanik bir patlamadan sonra gördüklerimizi amaçlamayacaksa, bu modellerde görülen sonuçları da amaçlamayacaktır.

Bu tür çalışmaların en çok tartışılan sonuçlarından birini ele alalım: Ana Gezegen ile aynı ortalama sıcaklığa sahip bir Tasarlanmış Gezegenin her bölgesinde sıcaklığın, Ana Gezegenin o bölgesindeki sıcaklıkla aynı olması gerekmez. Tasarlanmış Gezegenin kutupları biraz daha sıcak, tropik bölgeleri ise derecenin onda biri mertebesinde biraz daha soğuk olabilir. Bu büyük bir sürpriz olmayacaktır. Kutuplardaki sera ısınması, çoğunlukla güneşin parlak olmadığı ve stratosferik aerosollerin soğutma sağlayamadığı kış aylarında gerçekleşir. Dolayısıyla bu, kutupların ısınma öncesi ortalama sıcaklığını ayarlamak için, yazın çok fazla soğutulmaları anlamına gelir ve bunu yapacak kadar güçlü bir soğutma perdesi gezegenin her yerine eşit biçimde yayılırsa, ekvatoru sera etkisinin ısıtmasından daha fazla soğutur. Böylece kutup sıcaklığını sabit tutmak, tropikal bölgeleri “olması gerekenden daha fazla soğuturken” ekvator da referans sıcaklığını yeniden elde etmek, kutupları “olması gerekenden daha az soğutur.”

Bu, perde kullanarak yapılan jeomühendislik uygulamaları hakkındaki temel bir gerçek hakkında faydalı bir hatırlatıcıdır. Perdeleme, iklim değişikliğine karşı bir panzehir değildir. Sera ısınmasının neden olduğu iklim değişikliğine karşı çıkan bazı etkilere sahip, ilave bir iklim değişikliği şeklindedir. Fakat aynı zamanda abartılmaya da müsaittir. Olması gerekenden fazla ya da az soğutmalar, GeoMIP projesindeki Tasarlanmış Gezegen modellerinin, perde etkisini hem ekvator da hem de kutuplarda, hem kışın hem de yazın, bilinçli bir şekilde tek düze temsil etmesinden kaynaklanmaktadır. Gerçek bir jeomühendislik programının bu şekilde sınırlandırılması gerekmez. Enlemlerle değişen güç farklılıklarına sahip bir perde tasavvur etmek oldukça makuldür: ekvatora daha az, yüksek enlemlere daha fazla parçacık enjekte ederseniz kutuplarda ekvator da daha güçlü bir örtü oluşturabilir ve böylece olması gerekenden fazla ya da az soğutmaların bir kısmını veya tamamını ortadan kaldırabilirsiniz.

Perde kaynaklı iklim değışikliği ile kalınlaşmış bir seranın dayattığı iklim değışikliği arasındaki uyumsuzluk, hidrolojik dőngő söz konusu olduğunda daha çarpıcı ve daha endişe vericidir. Suyun buharlaşması ve yoğunlaşması troposferde gerçekleşir. Stratosferik bir perde, troposfere gelen enerji miktarını azalttığından, bu dőngüyü sürdürmede kullanılan enerjiyi azaltır. Ve Tasarlanmış Gezegendeki daha yüksek sera gazı seviyesi bu sorunu daha da kötőleřtirir. Karbondioksit, atmosferin kızılötesi ışığı daha fazla emmesini sağlayarak, havanın yükseldikçe soğuma hızını yani dőřme hızını azaltır. Bu, yüzeye yakın havanın böyle bir kuvvetle yükselmediği ve atmosferdeki konveksiyonun gücünün azaldığı anlamına gelir. Gökyüzüne daha az su buharı kalkar.¹⁸

Tasarlanmış Gezegen bu nedenle Ana Gezegenden daha kurudur. Modeller bu konuda, 1992’de Pinatubo’nun ardından kaydedilen düşük yağış ve düşük nehir akışlarıyla uyumludur. Ancak, Pinatubo’nun etkisi, bir mühendislik programının uzun bir süre çalıştırıldıktan sonra vereceği sonuçtan çok daha fazlaydı. Bunun nedeni, kıtaların küçücük bir sıcaklık değışikliği için bile çok fazla ısı emmesi gereken okyanuslardan çok daha hızlı soğumasıdır (ve ısınmasıdır). Bu nedenle herhangi bir şey, Pinatubo’nun yaptığı gibi, gelen güneş ışığını aniden kestiğinde kıtaları okyanuslardan daha fazla soğutur. Bu, sıcak kara ile soğuk su arasındaki sıcaklık farkından doğan musonları bastıracaktır.

Yavaş yavaş oluşturulan bir jeomühendislik soğutması, kara ve denize daha eşit bir şekilde uygulanacak ve musonlar üze-

18 Dőřme hızından kaynaklanan bu etki, Sera Gezegeninde de görőlmektedir. Ancak orada, yüksek yüzey sıcaklıklarının oluşturduğu buharlaşma artışı, su buharını dengeleyecek miktardan fazladır; dolayısıyla Ana Gezegende olduğundan daha fazla buharlaşma ve yağış olur. Yüzey sıcaklığını sera gazlarını artırmadan artıracak olsaydınız –yüzeye ulaşan güneş ışığını azaltmak yerine artıran bir iklim mühendisliği tekniğiniz olsaydı– belirli bir sıcaklık artışında, sera gazlarıyla elde ettiğiniz sıcaklık artışında göreceğiniz yağışlardan çok daha fazlasıyla karşılaşırdınız.

rindeki bu genel etki azalacaktır (bu, gezegendeki tüm musonlarının bir kısmı veya tamamı üzerinde başka etkilerin olmayacağı anlamına gelmez). Öte yandan Pinatubo, tasarlanmış bir perdeden daha fazla kurumaya neden olmuş olsa da perde yüzünden kuruma hâlâ bir endişe nedenidir. Önümüzdeki yüzyılda küresel ısınmanın yaratacağı risklerin en ciddi bence gelişmekte olan ülkelerin tarımı üzerindeki sonuçları olacaktır. Küresel ısınmaya, kuraklıkları artıracak bir cevap vermek, kategorik olarak kötü bir fikir gibi görünüyor.

Bununla birlikte, Tasarlanmış Gezegeni, Ana Gezegen yerine Sera Gezegeni ile karşılaştırdığınızda, durum daha karmaşık hale gelir. Öncelikle, Sera Gezegenindeki yağış, Ana Gezegendekinden biraz daha fazla olsa da, yüksek sıcaklık nedeniyle her yerde artmaz. Bir Sera Gezegeninde artan yağışların büyük kısmı okyanuslara düşer. Bu büsbütün önemsiz değildir; okyanusların yüzeyindeki tuzluluk desenlerini bir miktar değiştirir ama çiftçiler için pek önem arz etmez. Sera ısınmasının kıtalardaki etkisi karışıktır ancak modeller genel anlamda, artan yağışların zaten nemli olan yerlere daha çok düşeceğini göstermektedir. Şu anda kuru olan yerler, daha yoğun buharlaşma nedeniyle genellikle daha kuru hale gelir. Dolayısıyla Sera Gezegenleri tipik olarak, Güney Afrika, Akdeniz havzası, Orta Amerika ve ABD'nin güneybatı eyaletlerinde artan kurak şeritlere sahip olacaktır. Bazı yerlerde, özellikle güney ve güneydoğu Asya'nın bazı bölgelerinde yağışlar, bir sorun teşkil edecek derecede artacaktır. Şiddetli yağmurlar ve seller önemli bir iklimsel risk kaynağıdır.

GeoMIP'in Tasarlanmış Gezegenlerinde, okyanuslar üzerindeki yağış artışının çoğunun, bazen neredeyse tamamının yerine, bir azalma geçer. Yağış ayrıca ılıman kuzey yarımkürenin oldukça büyük bir kısmına da düşer. Bununla birlikte, tipik olarak, şu anda sıcak ve kurak olan birçok yer, mukabil Sera Gezegeninde olduğu kadar kötüleşmez. Bu ayrıntılar modelden modele çok farklılık gösterir fakat modeller zaten

yağış konusunda birçok fikir ayrılığına sahiptir. Amerikan donanmasının hava tahmin komutasını yönetmiş olan David Titley'nin dediği gibi, "Bütün modeller yanlıştır ancak bilhassa yağış modelleri yanlıştır."

Halen Pasifik Northwest Laboratuvarı'nda çalışan Kravitz, GeoMIP'in ilginç sonuçlarından birinin –zaten nemli olan bölgelere daha çok ve zaten kuru olan bölgelere daha az yağış düşmesinin– genel olarak, Tasarlanmış Gezegenlerde Sera Gezegenlerinden daha az görülmesi olduğunu söylüyor. Ayrıca, Sera Gezegeni projeksiyonlarında büyük bir endişe kaynağı olarak ortaya çıkan aşırı yağış olaylarıyla daha az karşılaşılıyor gibi görünüyor. Bununla birlikte, zaten nemli olan bölgelere az yağış gelmesiyle ilgili bazı sorunlar hâlâ mevcut olabilir. Örneğin, Tasarlanmış Gezegenlerin Amazon havzasının bazı kısımlarında Ana Gezegenin sağladığından daha az yağış sağlama eğilimi göstermesi belli bir endişe kaynağıdır.

Modellerin eksik olduğu gerçeği başka komplikasyonlara da neden oluyor. Bitkiler yağışın kendisiyle değil, toprağın nemiyle ilgilenir ve hem yağışa hem de buharlaşmaya bağlı olan toprak nemi, bu modellerin çoğunda yeterince iyi yakalanamamaktadır. Bitkiler için ayrıca karbondioksit seviyesi de önemlidir. Daha çok karbondioksit, fotosentez yapmalarını kolaylaştırır ve bu da daha az suyla idare edebilmelerini sağlar. Bahçıvanlar bu "karbondioksitli gübrelemeyi" yaygın olarak kullanmaktadırlar; ticari seralara genellikle fazladan karbondioksit pompalanır. Gerçek dünya koşullarında büyümeye ne kadar katkıda bulunduğu bir tartışma konusudur.

Dolayısıyla, Tasarlanmış Gezegenin bazı bölümlerindeki bitkiler daha az yağmur alırken, atmosferdeki yüksek karbondioksit seviyesi, en azından bazılarının elde ettikleri suyu daha iyi kullanmasını sağlayacaktır. GeoMIP'deki Tasarlanmış Gezegenlerin bu tür sonuçlara bakmak için donatılmış modellerinin tümü, bazı bölgesel kuraklıklara rağmen Tasarlanmış

Gezegenlerdeki bitkilerin genel üretkenliğinin, Sera Gezegenleri ya da Ana Gezegeninkinden daha yüksek olduğunu buldu. Bu konuya ileride yeniden döneceğim.

Bu oyuna, yağmurun nereden geldiği, bitkilerin hangi suya ihtiyaç duyduğu, çok şiddetli yağışlardan kaçınmanın ne kadar önemli olduğu gibi birçok faktörün müdahil olması, bir perde altında ortaya çıkacak yeni hidrolojik döngünün nasıl sonuçlar doğuracağı hakkında kesin bir şey söylemenin pek mümkün olmadığı anlamına geliyor. Ancak, düşük ortalama küresel yağışın etkilerinin zorunlu olarak ve her yerde kötü olacağı fikri ki bazılarının ilk çalışmalardan edindiği intiba budur, şüphesiz çok ham ve büyük olasılıkla da yanlıştır.

Yağışlardaki karmaşıklığın aksine, bütün modellerin anlaştığı konulardan biri, stratosferik bir perde oluşturmaya başladığınızda bunu nasıl sonlandıracağınız konusunda dikkatli olmanız gerektiridir. Uçaklar stratosfere aerosol taşımayı bıraktığında, oradaki aerosoller kısa sürede düşecek ve soğutma etkisi hızla kaybolacaktır. Gezegen, sadece birkaç yıl içinde, perdenin onun için tuttuğu ısınmanın çoğuna maruz kalacaktır (ancak okyanusların ısınması yavaş olduğundan bazı soğukluklar daha uzun sürecektir). Hızlı ısınma, genelde, adaptasyonu zorlaştırır ve çok hızlı ısınma alışılmamış zararlar verir. Bu şekilde bir “sonlandırma şoku” yaşama ihtimali, genellikle perde jeomühendisliğinin çok tehlikeli bir teknoloji olmasının nedenlerinden biri olarak gösterilir. Bu ihtimal gerçekten de bir endişe kaynağıdır ancak bence bu, teknolojiyi tek başına yasaklaması gereken bir ihtimal değildir.

Öncelikle, modellemenin yapılma şekli, sonlandırma şoklarının çok rahatsız edici görünmesine neden oluyor. Bunun nedeni, modellerin neler olup bittiğini görebilmek için jeomühendisliğin çok güçlü olduğu senaryoları kullanmasıdır –atmosferdeki karbondioksitin iki katına veya dört katına çıkmasından kaynaklanan ısınmayı dengelemeye yetecek kadar güçlü senaryolar. Bu kadar güçlü bir perdeyi bir yıl içinde

kaldırırsanız, gerçekten de on yıl içinde ya da daha kısa bir sürede birkaç derecelik ısınmayla karşılaşacaksınız ki bu oldukça kötü olur. Her ne kadar GeoMIP modelleri bu kadar kalın perdeler üzerinde çalışıyor olsa da gerçek hayattaki jeomühendislik programları ille de o kadar kalın perdeler üretmek zorunda değildir. Perde oluşturma nispeten daha mütevazı bir olay olursa, sonlandırma şoku daha çok bir sonlandırma ürpertisi haline gelir.

İkinci olarak, eğer hakikaten kalın bir perdeniz varsa, bu perdeyi sonlandırmanın ne kadar olası olduğu sorusu ortaya çıkacaktır. Eğer çok feci sonuçları olacaksa, insanlar bunu neden istesin ki? Bütün perdeyi, belli bir ülkenin yaptığını ve siyasi bir devrim yüzünden bunu yapmaktan vazgeçtiğini varsayalım, bu ülke başka hiçbir adım atmaz mıydı? Burada, Amerika'nın silahlı kuvvetlerinin sağladığı uydu seyrüsefer altyapısı GPS ile bir benzerlik var. Teknik olarak, dünyanın böyle sadece tek bir sisteme ihtiyacı var ancak Avrupa Birliği, bu kadar hayati bir şeyin tek bir kaynağa bağlı olmaması gerektiği düşüncesiyle ikinci bir tanesini geliştiriyor. Bu konuda başka motivasyonların da olabileceğinden şüphelenmek için sebepler olsa da bu temel argüman, iyi bir argümandır. Tüm dünyanın bağlı olduğu bir şey için sadece bir ülkeye güvenmek aptallıktır. Tek bir ülkenin perde yaptığı bir dünyada diğerlerinin onunla yarışması ihtiyatlı olur.

Böyle bir fazlalık, siyasi kapris veya kurumsal başarısızlık yüzünden ani bir sonlanma ihtimalini ortadan kaldıracaktır. Bu, geriye, dünyanın devam eden perde yapma programından elde ettiğini düşündüğü faydaların, belki herkes için, belki de belirli bir bölge için yeni fark edilen bir sorunla aniden silinmesi durumunu bırakıyor. Kalın bir perdeyi yerine koymaya başlayan jeomühendislikten ancak onlarca yıl sonra böyle bir gelişmenin ortaya çıkacağını beklemek pek makul değildir, kötü yan etkilerin oldukça erken bir dönemde ortaya çıkması çok daha muhtemel görünüyor. Ve program başladıktan epey

sonra, maliyet ve fayda hesabında ya da dağılımında ani ve ezici bir değişiklik olduğunu varsaysak bile bunun, kademeli olarak durdurma veya daha seyrek bir seviyeye çekme yerine, perde yapımının tamamını derhal durdurmayı gerektirmesi için çok özel bir değişiklik olması gerekir.

Yine de sonlandırma şoku sorununun, perdeleme başladıktan sonra, neredeyse sonsuza kadar devam etmek zorunda kalacağı anlamına geldiğinden endişelenen insanlar var. Amerika Ulusal Araştırma Konseyi tarafından 2015 yılında hazırlanan jeomühendislik raporu yazarlarından Chicago Üniversitesi iklimbilimcisi Ray Pierrehumbert bunlardan biridir. *Slate* adında bir internet sitesi için yazdığı raporda şöyle sormuştu: “İnsanlık ne zaman karmaşık bir teknolojik girişimi, bin yıl şöyle dursun, yüzyıllar boyunca birlikte sürdürmeyi başara-bildi?” Halbuki geçmişte süreklilik gösteren çabaların nadir olması, onları imkansız kılmaz. İnsanoğlunun halihazırda devam eden çeşitli teknolojik taahhütleri vardır. İleride gö-receğimiz gibi, azot bazlı gübre teknolojisi olmasaydı, dünya-nın gelecekte ulaşması beklenen nüfus bir yana, mevcut nü-fusunu bile beslemesi çok zor olurdu. İnsanlar dünyada çok fazla gübre kullanılmasından haklı olarak endişe ediyor fakat kimse, kimya endüstrisinin bu maddeyi üretmeyi bırakma ihtimaliyle ilgili gerçek bir endişe duymuyor. Buradaki benzerlik tam değil çünkü perde yapımı nitrojen bağlamaktan biraz daha zordur ve gübre yapımı üreticiye hızlı bir fayda sağlar fakat özellikle birçok insan zarar etmekten yakınırken, perde yapımının kayıp bir sanat haline geldiğini görmek zor olacaktır. Perde yapmanın zorunlu olduğunu düşünmeye devam eden bir dünya, büyük ihtimalle bunun mümkün olduğunu düşünmeye de devam edecektir.

Sera ve Tasarlanmış Gezegenlerin karşılaştırılmasıyla ortaya çıkan bir diğer zor soru, kazananlar ve kaybedenler sorunudur. Bu konudaki önemli araştırmalardan biri, Katharine Ricke ve meslektaşlarının 2008’de yayımlanan karşılaştırma-

larıdır. Bu araştırma, iklim modelleme deneylerini her seferinde çok az farklı varsayımlarla tekrar tekrar çalıştırmak için binlerce gönüllünün makinelerindeki boş işlem süresinden yararlanarak climateprediction.net adlı sistemin müthiş kaynaklarını kullandı. Söz konusu deneylerde, bütün gezegenler 1990 koşullarına benzer koşullarla başladı. Sera Gezegenlerindeki karbondioksit seviyelerinin, IPCC'nin ürettiği olağan projeksiyona uygun bir şekilde yükseldiği görüldü. Sera gazlarının seviyesi, küresel ortalama sıcaklığı sabit tutma amacıyla stratosfere sülfat eklenmesi sayesinde Tasarlanmış Gezegenlerde de arttı. Bu, climateprediction.net'in bazılarında biraz daha fazla, bazılarında ise biraz daha az perde olan bir dizi Tasarlanmış Gezegen ürettiği anlamına geliyordu.

Ricke ve arkadaşları, oluşan “hasarı”, modelin yirmi yedi bölgesinin her birindeki koşulları, her yıl için, modelin 1990 referanslı versiyonundaki ortalama sıcaklık ve yağış değişiklikleriyle karşılaştırarak ölçtü. 1990 referanslı versiyondaki yıllık değişiklikler, “normal” olarak görülebilecek bir çerçeve tanımladı. Tasarlanmış Gezegenin bir bölgesindeki ortalama sıcaklık veya yağış bu çerçevenin içindeyse, herhangi bir hasar yoktu; çerçevenin ötesine geçtiğinde ise, sıcaklık veya yağışın sapma miktarıyla orantılı bir hasar var demekti. Sera Gezegenindeki sıcaklık artışları, 2020'lerle birlikte hemen hemen her bölgede zarar vermeye başladı. Tasarlanmış Gezegenlerde ise çoğu bölge çok daha uzun bir süre kendi sınırları içinde kaldı.

Ancak simüle edilen yüzyıl ilerledikçe, farklı bölgelerde oluşan koşullar birbirinden ayrılmaya başladı. Bir bölgedeki koşullar kötüleşirken komşu bir bölgede herhangi bir zararın oluşmadığı birçok senaryo vardı. Örneğin, 2070'lerdeki Asya'yı ele alalım. Senaryoların birinde, Çin'i 1990'nın referans iklimi sınırlarında tutan sülfat perdelerinin büyük kısmı o kadar güçlüydü ki bunlar Hindistan'ı, 1990 sınırlarının oldukça altında kalacak derecede soğuttu. Başka bir senaryoda ise, Hindistan'ı söz konusu sınırların içinde bırakan perdeler Çin'in aşırı

ısınmasına neden oldu. Ricke ve arkadaşları, her iki senaryoda da bu ülkelerin göreceği zararın Sera Gezegenindeki kadar büyük olmayacağını hesapladı. Ancak gezegenin en kalabalık bu iki ulusunun farklı kaderleri, endişeleri tabii ki artırdı.

Bu çalışmada bazı küresel bulgular da vardı. Bunlardan biri, bir sülfat örtüsünün belli bir dönem boyunca, küresel ortalama ısınmanın üçte ikisini dengeleyecek kadar kalın olurken bazı bölgelerde yağışları alışılmış sınırların ötesine itmeyecek kadar ince kalabileceğiydi. Bir diğeri, optimum bir jeomühendislik seviyesi belirlemesiydi. Bu hem yağış hem de sıcaklıktaki değişikliklerin verdiği hasarları hesaba katarak, Sera Gezegeninde beklenenle karşılaştırıldığında verilen zararı en aza indiriyordu. Bu optimum seviye herkese uymuyordu. Bu senaryoda Batı Afrika'ya verilen zarar, Sera Gezegeninde olacak zarardan daha büyüktü. Ancak bu durum, çalışmanın sonuçları arasında belki de en şaşırtıcı ve en umut verici olan sonuca yol açtı. Hasarın pek çok bölgede azaldığı ve hiçbir bölgede artmadığı bir senaryo bulundu. Böyle bir senaryodaki net fayda, küresel optimumda olduğundan daha azdı. Ancak hiç kimse zarar görmüyordu ve Sera Gezegenindeki duruma kıyasla hasar azalması, herkes tarafından hissedilmese de yaygın ve önemliydi.

Sonraki çalışmalar ki bunların bazıları GeoMIP içinde yer almıştır, çoğunlukla benzer sonuçlar bulmuştur. Göreceli olarak küçük miktarlarda perde oluşturmak, herkesin, benzer bir sera gazı seviyesine sahip ancak jeomühendislik içermeyen bir gezegende olacağından daha iyi durumda olduğu gezegenler üretebilir. Bunlar oldukça kaba model ve analizlerdir ve aynı fikirde olmayan çalışmalarda mevcuttur. Stratosferik perdelerle ilgili gerçekler kuşkusuz çok daha karmaşıktır ve etkileri gerek zaman gerekse mekanda şaşırtıcı derecede değişken olabilir. 1816'da, Tambora'dan sonra, New England'da çamışırın ipte donduğu yaz günleri oldu. Bu, kalın bir perdenin ürettiği, ortalama sıcaklıktaki birkaç derecelik değişiklikten

bekleyeceğiniz bir şey değildir. Ancak hepsi birlikte ele alındığında, bu bölümde tartışılan araştırma dört önemli sonuç sunuyor gibi görünüyor.

Bu yüzyılda beklenen sera gazı ısınmasının bir kısmını dengeleyecek kadar güçlü bir stratosferik perde oluşturmak nispeten kolay olacaktır. Bunun ozon tabakasının restorasyonunu yavaşlatma veya tersine çevirme derecesi, aerosolün tipine ve perdenin kalınlığına bağlıdır. Bu etkilerin yasaklayıcı olmadığı planlar bulunması mümkün görünüyor. Bir perde, sera ısınmasının gerçekleşmediği bir dünyanın iklimini koruyamaz; iklim değişikliğine dengeleyici, yağış modellerini değiştirecek bir faktör ekler. Bu bileşik iklim değişikliğinin bir kısmının hâlâ uyum sağlaması gerekecek ve bir kısmı bazı yerlere zarar verebilecektir. Yine de birçok senaryoda, özellikle nispeten küçük müdahaleler içeren senaryolarda, iyi tasarlanmış bir perdeleme programının faydaları herhangi bir zarardan çok daha ağır basabilir.

İnsanların böyle tasarımlar bulup bulamayacağı, başka şeylerin yanı sıra, bunu ne kadar aradıklarına bağlıdır. İyi tasarımların bile uygulanıp uygulanmayacağı siyasete ve kamuoyuna bağlı olacaktır. Böyle bir iklim jeomühendisliğinin, iklime bağlı genel riskleri azaltma stratejilerinde yardımcı bir bileşen olabileceğini gösteren deliller, bunun, kendi başına, dünya için mevcut en iyi seçenek olduğu anlamına gelmez. Umut verici bir mesaja sahip olması, elbette, böyle bir jeomühendislik programının, mümkün gibi görünen iyi huylu yolların biriyle uygulanacağını, öyle başlamış olsa bile, garanti etmez. Amaçlanan değişimlerle ilgili temel sorunlardan biri, başlangıçtaki niyetlerin değişebilmesidir; hırslar büyüyebilir, iyilik duygusu pörsüyebilir. David Nye'nin teknolojik yüceliği anlatırken söylediği gibi, "bütün sınırları ortadan kaldırıyor" gibi görünen büyük bir hırsın Prometeyen bilimiyle karşı karşıya kalan insanların; model, deney ve kavramsal optimizasyon dünyasında görülmeyen rahatsız edici tehlikelerden endişe etmesi anlamsız değildir.

Ancak bu tür endişeler nedeniyle o dünyadan gelen bulguları görmezden gelmek de makul değildir. Sonuç olarak, bu bulguların, iklim değişikliğinden kaynaklanan zararların azaltılma imkanı hakkında söyledikleri, jeomühendisliğin son birkaç on yılda olduğundan çok daha ciddiye alınması gerektiği anlamına gelir.

FARKLI DÜŞÜNMEYE BAŞLAMAK

*İnsan, içinde yaşadığı iklimi değiştirebilir –sözgelimi,
kendisi için en uygun sıcaklığa ayarlayabilir.*

Le Comte de Buffon,
Histoire Naturelle (1785)

İklim müdahale etmenin dünyanın karşı karşıya olduğu riskleri azaltacağıının kesin olarak biliniyor olması durumunda bile bundan, böyle bir müdahalenin mutlaka iyi bir fikir olduğu sonucu çıkmazdı. Böyle bir imkanın bazı bedelleri olabilir yani iklim jeomühendisliği, daha büyük faydalar sağlayacak başka şeyleri, kendi başına sağladığı fayda lehine daha az olası hale getirebilir. Kaygan eğimler olabilir: Faydaya yönelik müdahale kabiliyeti, zararlı müdahale kabiliyetinden ayıramıyor olabilir ve fayda sağlama çabası, bu zararlı müdahaleleri çok daha olası hatta kaçınılmaz hale getirebilir.

Ve daha büyük çekinceler vardır. İnsanların, iyi sonuçlar doğurma ihtimali yüksek olduğu halde, temel inançlarıyla çeliştiklerini düşündükleri için yapmayı reddettikleri iyi şeyler vardır. Örneğin, *Blackadder*'daki en büyük esprilerden birinde Sir Thomas More, alevler yükselirken Katolikliğinden sehvân vazgeçebileceğini fark etmiş ancak o, hayatında merkezi

bir konum işgal eden bir şeyden vazgeçip başka biri olarak yaşamaya zorlanmaktansa kendisi olarak ölmeyi tercih etmişti.

Her ne kadar bunu böyle ifade etmeseler de insan imparatorluğunun doğal dünyaya jeomühendisliğin gerektirdiği ölçüde hükmetmesi yerine iklim değişikliği nedeniyle daha fazla acı çekmeyi tercih eden insanlar olduğunu düşünüyorum. Böyle bir güç transferinin hem doğal hem de insani olanın kökten kaybı anlamına geleceğine dair bir korku var. Bu, Mesih'in havarilerine sorduğu soruyu akla getiriyor: "Bir insan tüm dünyayı kazansa ama kendisini kaybetse ya da boşa harcasa, bunun ona ne faydası olur?" Yazar ve aktivist Bill McKibben, iklim değişikliğine "doğanın sonu" diyor. Gerçek dünyanın nihai, geri döndürülemez bir şekilde sahte bir dünyayla değiştirilmesi anlamına gelen, jeomühendislik yoluyla iklimin kasten değiştirilmesi, bu ifadeye oldukça uyuyor gibi görünebilir. Eğer size öyle geliyorsa, bedeli ağır olsa da bu fikri neden reddettiğinizi anlayabilirim. Ancak, bu bedelin sadece sizi değil de bu konuda farklı seçimleri olan başkalarını da ilgilendirdiğini düşündüğümüzde, pozisyonunuzda bir sorun olduğunu her ikimizin de görebileceğini varsayıyorum.

Bir yandan bu derin itirazın gücünü takdir ediyorum, diğer yandan bunun iklim jeomühendisliğiyle ilgili tüm imkanları dışlaması gerekmediğini düşünüyorum. Bu kanaatimin nedenlerinden biri, doğanın bu kadar basit bir şekilde ya da bu kadar nihai bir biçimde sonlandırılmayacağını düşünmemdir. Bir diğeri ise, bugünün jeofiziksel çıkmazı her ne kadar emsalsiz olsa da insanların iklimle en iyi nasıl ilişki kuracakları konusuyla yüzyıllardır boğuşuyor ve çoğu zaman iklimi değiştirmeyi hayal ediyor olmalarıdır. İklim jeomühendisliği genelde yeni bir fikir olarak tasvir edilir, oysa yeni olan şey, en azından Batı entelektüel geleneğinde, insanların iklimi değiştirmeye çalışmaması gerektiği fikridir. Bununla, insanların bu konu hakkındaki düşüncelerinin eskiden doğru, bugün ise yanlış olduğunu kast etmiyorum. Fakat bunun gelecekte

sahip olunacak görüşlere yardım edebilecek muhtelif geçmiş görüşlerin takdir edilmeye değer olduğu anlamına geldiğini düşünüyorum. Çağdaş iklim jeomühendisliğine baktığımıza göre şimdi bu bilimin tarihiyle ilgilenebiliriz.

Aydınlanma döneminde, iklimin –aslında yerel ve duyulur formdaki doğanın– hem insanları şekillendirdiğine hem de insanlar tarafından şekillendirilebileceğine inanmak, mantıksal bir zirveydi. On sekizinci yüzyılda gerçekleşen keşif, spekülasyon ve tablolama patlaması, farklı yerlerde yaşayan insanlar arasındaki farklılıkları açıklamak için iklimi kullandı: Kuzeyin soğuk havası, insanlar dişlerini üşütmek istemediği için daha çok ünsüz harf içeren dillerin oluşmasına neden oluyordu; doğunun bunalıcı sıcaklığı ise despotizmi teşvik ediyordu; Avrupa kıyılarının değişken havası kararsızlığa ve bu havanın kuzeni yenilikçiliğe yol açıyordu. Bu insanların eylemleri de kendi iklimlerinin açıklanmasında, en azından bir dereceye kadar, kullanıldı. Genelde iyi kabul edilen Avrupa ikliminin, vahşi ormanların temizlenmesiyle daha da iyileştirildiğine yaygın bir şekilde inanılıyordu.

Bu görüşe göre, Aydınlanmadan önce, insan eliyle gerçekleşen iklim değişikliklerinin çoğu, takdiri ilahi değilse tesadüfiydi. Aydınlanmadan sonra bunların, devletin artan gücü ve zekasıyla bilinçli olarak gerçekleştirildiğini düşünmek mümkün olmaya başladı. Bataklıkları kurutmanın, ormanları yönetmenin (hem yakmak hem de savaş gemisi yapımı için önemli odun tedariki sağlıyordu) ve nehirleri düzenlemenin, iklimi, hükümetin konusu ve işi haline getirdiği düşünülüyordu. Yukarı Ren Nehri'nin on dokuzuncu yüzyılın başlarındaki kıvrımlı, ağızlaşan doğal halinin ıslah edilmesi, hükümetin, aralarında pek bir ayırım gözetmeksizin hem siyasi hem de çevresel amaçlarla tasarladığı bir faaliyetti. Ren Nehri'nin düzenlenmesi toprağı kuruttu ve bu sayede iklimi iyileştirdi; ayrıca kendisini toprağı, Fransa ile komşusu Almanya arasındaki değişmez sınır olarak kazıdı.

İklim, Avrupa yönetiminin, Avrupa'nın ötesinde empoze edildiği yerlerde, sık sık yerli halkın neden böyle olduğuna dair bir açıklama olarak kullanıldı ve toprağı işleyen yerlilerin kusurları olarak algılanan şeyler, genellikle iklimin misafirperver olmamasının bir sonucu olarak lanse edildi. Daha iyi, daha düzenli, daha Avrupalı bir toplum, beraberinde daha iyi bir doğa ve daha iyi bir iklim getirecekti.

Amerika'yı ele alalım. On yedinci ve on sekizinci yüzyıllarda Avrupalılar, Amerika'nın iklimini uygarlıktan uzak, kışları çok soğuk ve yazları çok sıcak olarak görüyordu. Ama bu, onun değişmez olduğu anlamına gelmiyordu. Thomas Jefferson, daha az tanınan başkalarıyla birlikte, Avrupa uygarlığının doğru tipinin Amerika'ya yayılmasının iklimi kendiliğinden iyileştireceğine inanıyordu. Bu, yoldaşı Tom Paine'in "dünyayı değiştirmek bizim elimizdedir" sloganıyla birlikte, Benjamin Franklin'in uçurtma ve anahtarlarıyla Prometeyen bilimin yıldırımını çağırıp evcilleştirebileceğini göstermesiyle de uyum içindeydi. Bir asır sonra, arazi spekülâtörü Charles Dana Wilber, "yağmur sabanı takip eder" şeklindeki Jeffersonvari bir inanca dayanarak, çiftçileri batıya gitmeye teşvik etti. Bu fikirleri herkes kabul etmedi; Jefferson ve Wilber'i reddeden çağdaşları vardı. Ancak bir fikir, tartışmalı olsa bile hâlâ oldukça etkili olabiliyor.

Ada kolonileri, Platon'un *Devlet*'inden More'un *Ütopya*'sına kadar, ideal yönetim biçimleri için özellikle uygun oldukları düşünülen ve bazılarında iklim yönetiminin de olduğu yerlerdi. Mauritius, Azize Helena ve başka adalarda, orman, tarım arazisi ve çiftlikler arasında bol yağış sağlayan bir denge kurmak, insan ve toprak yönetiminin ayrılmaz bir parçası olarak görülmeye başlandı.

İklimi yönetmeye inanan bir dünyada, 1815'te Tambora'nın patlamasını takip eden iklimsel acil durum sırasında birçok kişinin hükümeti müdahale etmeye ve işleri eski haline dön-

dürmeye çağırması doğaldı. *Dublin Chronicle*'daki bir köşe yazarının, Tambora'nın soğuşundan sonra İrlanda'yı vuran kıtlık yüzünden Kraliyet Donanması'nın, durumu hafifletmek için buzdağlarını güneye doğru çekmek üzere görevlendirilmesi çağrısında bulunması, durumun ne kadar acil olduğunu gösteriyordu. Fransa'da İçişleri Bakanı ülkenin bölge valilerine, başlarını belaya sokan "atmosferin belirgin soğumasını, mevsimlerdeki ani değişiklikleri ve kasırgaları" iyileştirmek için alınabilecek tüm önlemleri incelemelerini emreden bir bülten göndermişti.

On dokuzuncu yüzyıl ilerlerken, ortaya daha büyük ve başka iklim değişikliklerini gösteren deliller çıkmaya başladı ve yine yöneticilerden bunlara bir cevap vermeleri istendi. Yüzyılın ortalarında Avrupalı kaşifler Sahra'nın bir zamanlar daha nemli ve daha yeşil olduğunu gösteren mağara resimleri, kurumuş göl yatakları ve başka işaretler buldular. Bu işaretler, bölgeyi "Roma İmparatorluğu'nun tahıl ambarı" olarak tasvir eden klasik metinlerin yanı ve yanıltıcı bir okumasıyla birleştirilerek Fransız sömürge yönetimini haklı çıkarmak için kullanıldı. Arazinin kötüleşmiş bu yarı kurak durumu, Roma sonrası sakinlerinin kötü toprak yönetiminin bir sonucu olarak görüldü. Araplara bırakılırsa durum daha da kötüleşecekti. 1883'te yayımlanan ürkütücü bir broşür "Şeytanın kalbi olan bu Sahra, kollarını her gün bize doğru biraz daha uzatıyor," uyarısında bulunuyordu; "Yakında bizi kuşatacak, boğacak ve yok edecek." Bunu önlemek için bölgeye iddialı müdahaleler yapıldı; sömürge kayıtları milyonlarca ağacın dikildiğini bildiriyor. Daha dramatik faaliyetler önerildi. Süveyş Kanalı'nın mimarı Ferdinand de Lesseps, Sahra'nın kalbini bir iç denize dönüştürecek ve çöl iklimini yumuşatacak başka kanallar tasarladı. Daha önce Kuzey Kutbu'ndaki buzları eritmek için Dünya'nın ekseninin eğimini değiştirme konusunda spekülasyon yapan Jules Verne, bir Sahra denizi oluşturma konusundaki çatışmaları, son romanının ana teması yaptı.

Verne'in *The Invasion of the Sea* [Deniz İstilasası] adlı kitabı 1905'te yayımlandığında, insanın iklimle ilişkisine dair düşünceler, bir yüzyıl öncekinden çok farklıydı. İnsan kaynaklı berbat iklimlere, pis kokulu sulara, is dolu karanlık gökyüzüne, akciğerleri tırmalayan bir havaya sahip oldukları çok açık olan sanayi şehirlerinin ortaya çıkışı, ilerlemenin kendi başına daha iyi iklimler getirdiğine inanmayı zorlaştırdı. Ve insanların dünyayı nasıl açıklamaya çalıştıklarıyla ilgili değişiklikler ve bu çalışmaların içerdiği insanlar, iklime daha az yer ayırdı. Tarihçi Fabien Locher ve Jean-Baptiste Fressoz, on dokuzuncu yüzyılda toplumların dış çevrelerinden ziyade iç dinamiklerine odaklanan sosyolojinin ve biyolojik farklılıkları aramaya başlayan antropolojinin, neden farklı yerlerdeki insanların farklı şekillerde yaşadığına dair yeni açıklamalar sunduğuna dikkat çekerler. Ve 1870 ve 80'lerde Louis Pasteur ve Robert Koch'un, insanlığın dikkatine sunduğu daha önce bilinmeyen mikroplar, hastalıklarda, kötü iklimlere atfedilen rolü büyük ölçüde azaltan açıklamalara yol açtı.

İrklara ve mikroplara odaklanan yeni açıklamalar, toplumların nasıl şekillendiğinin yanı sıra onlar hakkında konuşma biçimlerine de yerleşti. Bunlar kendileriyle birlikte gerek kişisel gerekse ırksal olarak yeni hijyen önlemleri ile insanların nasıl temizlendikleri ve kiminle çiftleştiklerini denetlemeyle ilgili yeni endişeler getirdi. Bu, söz konusu açıklamaların önemini artırdı. Gücün uygulanmasına bağlanan bilgi, kendi kendini güçlendirdi.

Beşeri ilişkilerin şekillendiricisi ve ürünü, insanlık ve doğanın ortak üretimi olarak toplumsal rolünden yoksun bırakılan iklim, bilimlerin doğal dünyaya dair sunduğu, giderek daha çok mekanize olan resmin sadece bir başka parçası ve aynı zamanda kamusal kaygıdan ziyade kişisel bir konu haline geldi. Bu geçişin son aşaması için bir tarih istiyorsanız 1883'e bakabilirsiniz. Bu, "soy arıtımı" teriminin icat edildiği, genlerin kontrolüne yönelik en acımasız resmi baskıların habercisi olan

yıldır; aynı zamanda, en küçük ölçekte de olsa iklimi kontrol etmeye yönelik, sosyal veya yönetsel herhangi bir ima taşımayan –sadece bir kadran üzerinde sayıları olan– tamamen teknik bir mekanizma olarak modern ev tipi termostatin patentinin alındığı yıldır.

Marslılar ve Ahlakî Muadilleri

Modern bir zihin için, iklimin insan denetimine tabi olduğu yönündeki Aydınlanmacı fikirlerin, on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında gözden düşmesinin başka bir nedeni daha olduğu açıktır: Zira o fikirler yanlıştır. Evet, bataklıkları kurutmak halk sağlığını iyileştirebilir ve tropik adalarda ormanların olup olmaması, yağış ve erozyon bakımından önemlidir. Ancak, iyi bir uygarlığın iyi bir iklim getirdiği fikrini sürdürmek zordur. Modellerine göre, Aydınlanmadan önceki bin yıl boyunca Avrupa iklimi üzerindeki beşeri etki, muhtemelen biraz daha soğuk kışlara neden oldu. Albedo etkisi düşük ormanlar, kışın güneş ışığını, karla kaplı meralardan, fundalıklardan ve tarlalardan daha fazla emer ve Avrupalılar ormanları bu ikincilerle değiştirmişlerdir. Ancak bu değişiklik ne fark edildi ne de faydalı oldu. Tambora'nın harekete geçirdiği fırtınaları durdurmak için Fransa valilerinin yapabileceği hiçbir şey yoktu. Kraliyet Donanması'nın yüzen ormanlarıyla boğuşan hiçbir buzdağı, açlıktan ölmek üzere olan İrlandalıların kaderini bir nebze olsun değiştiremezdi.

Bunların hepsi doğru ama asıl meselenin dışında kalıyorlar. Tarih, insanların inandığı yanlışlarla ve bugünün anlayışıyla bakanlara, o zaman bile kesinlikle yanlış görünmesi gereken şeylerle doludur. İnsanlar, mevcut bilimsel dünya anlayışına göre, belirlenen hedeflere ulaşması mümkün olmasa da sıklıkla ve ısrarla, belli bir etkiye sahip olduğunu düşündükleri şekilde hareket ederler. Bu tür inançlar o kadar ısrarcıdır ki, belirli bir grup insanın belirli bir inançtan veya inanç

dizisinden neden vazgeçtiği sorusuyla karşı karşıya kalındığında verilen “çünkü bu inançlar yanlış” cevabı maalesef çoğunlukla yetersiz kalmaktadır.

Bununla birlikte, on dokuzuncu yüzyılın sonlarına gelindiğinde, buzul çağlarının tuhaf ve dikkate değer görkemi, insanların önemli bir faktör olduğuna inanmayı zorlaştırıyordu. Bu çağlar hem Avrupa’yı hem de Amerika’yı kapsadıkları için, Dünya’nın sadece bir dizi yerel iklime değil, küresel bir iklime de sahip olduğunu kanıtlıyordu. Dünya’nın tamamının iklimindeki değişikliklerin, bir bütün olarak Dünya ölçeğinde anlaşılması gerekiyordu. Yukarıda bahsettiğimiz gibi, Arrhenius’un sera etkisi hesapları ve küresel iklimle volkanik patlamalar arasındaki bağlantıyı ilk keşfi, tüm gezegen ölçeğindeki jeofizik araştırmaları sırasında gerçekleşti. Ve bütün bir gezegen ölçeğinde çalışan insanlar için, güneş sisteminin geri kalanını da içerecek şekilde genişletilen bir ölçek, gereğinden fazla büyük görünmüyordu (örneğin Arrhenius, kendisini hep, kozmik dediği bir ölçekte çalışıyor olarak düşündü). Böylece, Dünya’nın güneş etrafındaki hareketi sırasında meydana gelen ritmik salınımların, Dünya’nın iklimi üzerindeki olası etkileri araştırıldı ve diğer gezegenlerin kendi koşulları, muadil sonuçlara neden olup olmadıklarını görmek için incelendi.

Bu araştırmaların sonuçlarından biri, özellikle etkili olan bir jeomühendislik fantezisi oldu: Mars’taki kanallar hikayesi. Mars’ın, on dokuzuncu yüzyılın sonlarında geliştirilen teleskoplarla gözlenmeye başlamasından sonra, karmaşık ve doğrusal bir işaret sistemi gibi görünen bir şey ortaya çıktı. O gün bir kutlama nedeni olan bu şeylerin bugün aslında optik illüzyonlar olduğu kabul edilmektedir. Amerikalı gökbilimci Percival Lowell, bunların tüm Mars’ı kaplayan bir uygarlığın inşa ettiği su kanalları olduğunu öne sürdü ve akıllı uzaylıların var olabileceği düşüncesi için bir merak uyandırdı.

Mars’ta neden su kanalları olmalı? Lowell için bu çok açıktı. Mars’ın Dünya’dan daha yaşlı bir gezegen olduğuna inanıyor-

du ve bu nedenle hem daha kuru bir yerdi –tüm gezegenlerin yaşlandıkça daha çok kurduğuna dair bir teoriyi benimsiyordu– hem de gelişim ve ilerleme itibarıyla insanların henüz ulaşmadığı bir noktada yaşayan sakinleri vardı. İnsanlar okyanusları birleştirmek ve kıtaları ayırmak için şimdiden kanal kullanıyorlardı. Marslılar, benzer kanalları giderek kuraklaşan gezegenlerini sulamak için gezegen ölçeğinde inşa edecek kadar gelişmişlerdi. Lowell, Marslı kanal inşaatçılarının güdülerinin, teleskopla, gezegenin yüzeyi kadar açık bir şekilde görüldüğünü düşündü. Onun astronomik gözlemi sosyolojik açıklamadan ayırmayı bu şekilde reddedişi, Antroposen’i karakterize eden insan dünyası ile yerküre sisteminin melezleşmesiyle ilgili bir önseziden başka bir şey değildir.

Lowell’ın kanal tasavvuru başka birçok spekülasyona ilham verdi. H. G. Wells, Marslılar daha iyi bir çevreye ulaşmak için kendi gezegenlerini yeniden yapabiliyorlarsa, bu teknolojiyi başka bir gezegeni fethetmek için de kullanabileceklerini öne sürdü. *Dünyaların Savaşı* adlı eserindeki Marslılar, zeka ve teknoloji bakımından on dokuzuncu yüzyıl insanından daha gelişmiş olmasına rağmen ahlaki açıdan aynı başarıyı göstere-memişti. Uygur Avrupalıları bir kenara itme konusunda, aynı Avrupalıların dünyanın diğer tarafındaki yerli halkın mallarına el koyma konusunda düşündüklerinden daha fazla düşünmemişlerdi. Bazıları, Marslıların teknik kabiliyetlerine, ahlaki bir ilerlemenin de eşlik etmesi gerektiğini savundu. Tüm gezegeni kapsayan bir sulama ağı, gezegen çapında bir yönetim anlamına gelir ki bu, gerçekten böyle bir şeyin ortaya çıkmasına yardımcı olmuş olabilir diye düşündüler. 1906’da psikolog ve pragmatist filozof William James, Stanford’da, “Savaşın Ahlaklı Muadili” başlıklı bir konuşma yapmıştı. Jimmy Carter, bu güçlü ifadeyi, 1970’lerin enerji kriziyle yüzleşmeye çalışırken yeniden öne çıkardı. James, savaş ortadan kaldırmak fakat savaşın beraberinde getirdiği erdemlerin çoğunu korumak istemişti. Savaşın ihtiyaç duyduğu ve aşıladığı, yüce bir

amaca ortak bağılığa, özel bir değer verdi. Bu nedenle, insanların birbirleriyle yaptığı savaşları, gezegeni herkesin iyiliği için iyileştirme amacıyla “doğaya karşı bir savaşla” değiştirmesi gerektiğini savundu. Marstaki kanallar, tam da bu tür bir şey olarak görülebilirdi. Gezegenlerinin doğası, Marslıların, çöle karşı savaş için birbirlerine karşı savaştan vazgeçtiklerini gösteriyordu.¹⁹

Bildiğim kadarıyla hiç kimse Marslıların bu savaşı yürütmekte haksız olduğunu ve kötüleşen çevrelerinin onlara dayattığı kaderi kabul etmeleri gerektiğini düşünmedi. Kamu yararı için bitmek tükenmek bilmeyen büyük bir çalışmadan daha asil bir iş olabilir mi? Fakat bu asil mücadelenin de bir trajedisi vardı. Robert Sherlock’un 1922’de yayımlanan *Man as a Geological Agent* [Jeolojik Bir Ajan Olarak İnsan] adlı kitabında, Dünya’daki bütün maden, şehir ve kanalların muazzam büyüklüğünü çok etkileyici bir şekilde anlatması, daha yakın tarihli Antroposen tartışmalarının da habercisi oldu. Bu kitabın sonuç bölümünde, söz konusu beşeri düzenlemeleri kozmik bağlama yerleştirmek için Mars’ın kanal işçilerine başvurdu:

Mars’taki kanallar, eğer gerçekten varlarsa (...) mühendislerimizin hayal ettiğinden çok daha büyük olmalı. Marslıların doğa ile savaşı, insanlığın kendi çatışmalarından çok daha büyük olmasına rağmen Mars neslinin tükenme noktasına geldiğini ve Mars’ın tamamen cansızlaştığını duyuyoruz. Mars’ta bile muazzam mühendislik çalışmaları gezegenin kabuğunu sadece çiziyor gibi duruyor ve Mars’taki etkinliğin güneş sistemi üzerindeki nihai sonucu muhtemelen son derece küçük olacak gibi görünüyor.

19 Avustralyalı bilim adamı David Scott Dolan, James ve Lowell’in, 1900 yılında, dinlenmek için geldikleri Riviera’da tanıştıklarını ve karşılıklı arkadaşlıklarından zevk aldıklarını söylüyor. Lowell’in Marslılardan bahsetmeden uzun bir süre geçirmesinin pek olası olmayacağı düşünülürse, James, insanlar arasındaki savaşlara bir son vermek gerektiği çağrısında bulunurken, Marslıların kendi gezegenlerindeki çöllere karşı verdikleri savaşı düşünmüş olması muhtemeldir.

Sherlock, mühendisliği gezegen çapında bir fenomen olarak düşünenlerin en azından bir kısmının, Lowell'ın fikirlerini bir ölçü olarak kullandığını ve Dünya'nın insanoğlu tarafından yeniden tasarlanmasına ilişkin yirminci yüzyıl spekülasyonlarının çoğunun ruhen Lowell'ın mega projelerine, uygarlık ve iklimin kaderin ortak yapımları olduğunu düşünen Aydınlanmacı inançtan çok daha fazla benzediğini gösterdi. Yirminci yüzyılın başlarında ve ortalarında, iklimin insanlar tarafından değiştirilmesiyle ilgili fikirler, okyanus akıntılarını kanal ve barajlarla yönlendirmek, nehir akışlarını düzenlemek, Sahra'daki gibi iç denizler oluşturmak hatta uzaya aynalar yerleştirerek Dünya'ya Satürn'ünki gibi, bazı yerleri güneşten korurken diğer yerlere daha fazla ışık yansıtacak halkalar kazandırmak gibi belirli amaçlara yönelik belirli projelere odaklanmıştı. James'in "doğaya karşı savaş" nosyonunun devlet ideolojisinde yerleşik bir yer edindiği Sovyetler Birliği'nde, bütün nehir ağlarının tamamen yeniden biçimlendirilmesi projeleri, çok azı tamamlanabilmiş olsa da, büyük ölçekli çevre yıkımına farklı yollarla katkı sağladı. Batı'da ise çoğu jeomühendislik fikri aslında gerçek bir plan bile değildi; bunlar, insanların Marslıların güdülerini haklarında yaptıklarıyla aynı küresel oyun ruhu içinde yaptıkları spekülasyonlar ve bazı jeologların ve jeofizikçilerin "jeo-şiir" dediği türden hayali fikirlerdi. Bu türden bir önyargısız oyun, büyük İngiliz fizikçi George Thompson'ın teknolojik spekülasyonların bir özetini sunduğu 1953 tarihli *The Foreseeable Future* [Öngörülebilir Gelecek] adlı eserinde bulunabilir. Thompson iklimin geleceğini ele alırken, sanırım ilk kez, insanların istemesi halinde, birkaç milyon tonluk bir tür emici veya yansıtıcı parçacığın stratosfere enjekte edilmesiyle Dünya yüzeyinin soğutulabileceğini söyledi. O zamanlar küresel ısınmayla ilgili modern endişeler henüz başlamadığından böyle bir şey yapmak için bir neden öne sürmemişti; bu fikirle sadece oynuyordu.

Jefferson ile Lowell'ın dünyaları arasında temkinli bir şekilde bekleyen Henry David Thoreau, 1842'de, John Adolphus Etzler'in ütöpik eseri *The Paradise within the Reach of all Men, without Labor, by Powers of Nature and Machinery*'yi [Doğal ve Mekanik Güç Sayesinde Çalışmanın Gerekli Olmadığı Tüm İnsanların Erişebileceği Bir Cennet] gözden geçirdi. Fransız anarşist Charles Fourier'den etkilenen ve Amerika'nın teknolojik görkeminin en eski başyapıtlarından biri olan Brooklyn Köprüsü'nün mimarı John Roebling'in arkadaşı olan Alman göçmen Etzler, rüzgarın, suyun ve güneşin ulaşım ve endüstride devrim yapacak ve "insanları ölüm dışında (...) neredeyse tüm kötülüklerden kurtaracak", insanoğlunun "şimdikinden çok daha üstün yeni bir dünyanın tadını çıkarmasına ve varlık merdiveninde daha yüksek bir basamağa çıkmasına izin verecek" gücüne duyulan bir inanç tarafından ele geçirilmişti. Thoreau incelemesinde iki tür reformcudan söz eder:

Bunların ilki kendisini değiştireceğini ve böylece doğa ve koşulların düzeleceğini söyler (...) diğeri ise doğayı ve koşulları düzelteceğini ve böylece insanın daha iyi olacağını söyler. Dünyayı değiştirmekten söz ederek muğlak bir biçimde konuşmayın, ben, gezegenin kendisini değiştireceğim, der.

İklimin insanlar tarafından kontrol edilmesine ilişkin on sekizinci yüzyılın sonundaki görüşler ile yirminci yüzyılın başındaki görüşleri ve bugünkü iki farklı yaklaşımı birbirinden ayırt etmek için bu ayırım, geniş bir yelpazede kullanılabilir.

Aydınlanma modelinde, iklim üzerindeki etki, insanların yaşamlarını düzenleme biçiminden kaynaklanır. Kendi başına hiçbir teknoloji gerektirmez, sadece ekonominin diğer unsurlarının uygun bir biçimde tanzim edilmesini ister. Bu aslında günümüzün ılımlı yeşil görüşüdür: Doğru enerji altyapısını kurun, doğru koruma ve verimlilik mezzetlerini hayata geçirin ve her şey iyi olsun. Öteki modelde ise iklim, jeofizik nesnel bir parçası haline gelmiş ve değiştirilmesi, ahlaki

olmaktan çok nicel bir biçimde doğrudan dünyaya uygulanan aletli prosedürler meselesi ve toplumun değil dünyanın kendisinin dönüştürülmesi olarak anlaşılmaya başlamıştır. İnsanlar artık jeomühendisliği bu şekilde görmektedir.

Göz önünde bulundurmanızı istediğim şey, üçüncü bir seçeneğin olabileceğidir; bu, “gezegenimizin nasıl yeni bir biçime sokulacağı” sorusunun, muhatabın bu soruyu layıkıyla cevaplayabileceği bir dünya düşünmesini gerektirecek şekilde sorulduğu bir seçenektir. Hem insanlar doğru hareket etseydi gezegenin “doğası ve koşulları” iyi olurdu düşüncesini hem de gezegen, bunu yapabilenlerin mevcut istek ve çıkarlarına göre hiç çekinmeden yeniden dizayn edilmelidir düşüncesini reddeden bir seçenektir. Bunların yerine, gezegeni yeniden inşa etme probleminin, bu zorluğun üstesinden gelebilecek güce sahip güvenilir bir dünya meydana getirmek için nasıl kullanılabilirliğini soran bir sorudur; toplum, gezegeni değiştirecek kaldırıcın adalet ve sağduyuyla işe koyulmasına imkan sağlayacak bir destek noktasını nasıl oluşturabilir? Bu hedefe ulaştıracak bir programım yok. Muhtemelen Etzler’inki kadar ütöpik bir rüya olduğunun da farkındayım. Ama yine de bir olasılık olarak olmasa da, en azından bir ilham kaynağı olarak, bu kitabı yazarken benim ilham kaynağım ve okuduktan sonra belki de sizin ilham kaynağınız olarak ele alınmayı hak ettiğini düşünüyorum.

Dünden Önceki Gün

İkinci Dünya Savaşı’ndan sonraki yıllarda, iklime müdahale etme hakkında iki yeni düşünce tarzı beslendi. Bunların ilkinde, çevre üzerindeki beşeri faaliyetler, savaşın ahlaki muadili değil, sadece devamıydı. Atom bombasını yaratan askeri güç ile fizik arasındaki ilişki, 1950’lerde, jeofiziğin büyük bir kısmını içerecek şekilde genişledi ve yerküre sisteminin birçok yönünü askeri amaçlara göre yeniden şekillendirme olasılığı birçok kez ortaya çıktı.

Jacob Darwin Hamblin, *Arming Mother Nature: The Birth of Catastrophic Environmentalism* [Tabiat Anayı Silahlandırmak: Yıkıcı Çevreciliğin Doğuşu] adlı kitabında, başkanlığını yirminci yüzyıl havacılık mühendisliğinin önemli isimlerinden Theodore von Karman'ın yaptığı, onun ölümünden sonra ise hidrojen bombasının yaratıcılarından Edward Teller tarafından yönetilen bir NATO komitesinin incelediği "çevresel savaş" fikirlerini ele aldı. Komitenin görevi, savaşta diğer bilim insanlarının geliştirdiği atomik, kimyasal ve biyolojik silahları destekleyecek jeofiziksel yollar, depremlerden hava koşulları ve ilk uyduların keşfettiği Van Allen radyasyon kuşaklarına kadar her şeyi silahlandırmanın bir yolunu bulmaktı. Benzer düşünceleri, çoğunlukla Pentagon'a büyük fikirler sunan ve dışarıdan gelen büyük fikirleri denetleyen akademik fizikçilerden oluşan JASON grubu da benimsemişti. Hamblin, gezegenin 1960'lar ve sonrasında kırılğan hale gelmesinin, kısmen, gezegeni kıracak teknikler üzerinde aktif olarak çalışan insanlar yüzünden olduğunu öne sürmektedir.

Bu askeri spekülasyonların da eğlenceli bir yanı vardı. UCLA'de fizik hocası ve JASON grubunun bir üyesi olan Gordon MacDonald'ın 1968 tarihli "Çevre Nasıl Mahvedilir" başlıklı makalesini, güneş patlamalarını kasten tetiklemek kadar çılgın jeofiziksel savaş taktikleriyle oynamaktan aldığı hazzı hissetmeden okuyamazsınız. Ancak MacDonald, bütün oyunların iyi olmadığını çok iyi biliyordu. Bir uyarı olarak yazdığı bu makalede, ozon tabakasında bir delik oluşması ihtimalinden bahseder. Bu yepyeni bir fikir değildi: Daha önce gördüğümüz gibi, 1930'larda ozon tabakasının kimyasını ilk kez açıklayan Sydney Chapman, orada gökbilimcilerin yararına geçici delikler açma imkanını ele almıştı. Oysa MacDonald, bu tür deliklerle insanları öldürme imkanından bahsediyordu. Ve bunların tamamı bir spekülasyon olarak kalmadı; 1950 ve 60'lardaki çevresel savaş fikirleri Vietnam Savaşı'nda, düşmanın ormanda gizlenmesini önle-

mek amacıyla yürütülen ağaçları kurutma programlarını ve Ho Chi Minh yolunu balçığa çevirmek için tasarlanan bulut tohumlama operasyonlarını şekillendirdi. Kimyasal iz sürücülerin iddia ettiği, hükümetlerin gökyüzünde işlediği suçlar bir hayal ürünüdür ancak bu tür eylemler, tarihsel örneklerden büsbütün mahrum da değildir.

İklimi değiştirme umudu ilk günlerinde, yeni bir iyileştirme jeo-şiirini de beraberinde getirdi. Karbondioksit sevisini artıran “jeofizik deneyine” dikkat çeken ilk kişi olan Roger Revelle, Başkan Johnson için hazırlanan 1965 tarihli çevre kirliliği raporunda, bu deneyin beklenen iklimsel etkilerinden bahsetti. Bu, bir devlet başkanına sunulan, sera ısınmasıyla ilgili ilk uyarıydı. Ancak Revelle, sorunla başa çıkmanın bir yolu olarak karbondioksit emisyonlarının azaltılması gerektiği konusunda hiçbir öneride bulunmadı. Bunun yerine, teknik bir çözüm olarak, daha yansıtıcı hale getirmesi için okyanusta yüzen pinpon toplarını anlattı.

On yıl sonra İtalyan fizikçi Cesare Marchetti, dünyadaki endüstriyel karbondioksitin çoğunu atmosfere salınmak yerine enerji santrallerinden doğrudan okyanusun derinliklerine aktaracak bir planın ana hatlarını çizdi. Karbondioksit, okyanusların dibindeki basınç altında sudan daha yoğun bir sıvı haline gelecek ve tabandaki çöküntülerde zararsız bir şekilde birikecekti. Marchetti’nin bu planı anlattığı 1977 tarihli makalesi, “jeomühendislik” teriminin ilk kez kullanıldığı yazıydı. Editörlüğünü hırslı, birçok alanla birlikte politikayla da ilgilenen bir iklim modelcisi olan Stephen Schneider’ın yaptığı, o zamanlar için yeni bir bilimsel dergi olan *Climatic Change*’de yayımlandı. Schneider, tartışmayı kışkırtacak şeylerden zevk alıyordu; jeomühendislikle, kendi kuşağının önde gelen diğer iklimbilimcilerinden daha fazla meşgul oldu.

Marchetti, okyanus tabanına çökmüş karbondioksit gölle-ri oluşturmayı tasavvur ederken, zengin bir hayal gücüne ve belirgin bir spekülatif eğilime sahip (ve ayrıca önde gelen

bir JASON üyesi) olan matematiksel fizikçi Freeman Dyson, karbondioksidi atmosferden doğrudan emecek geniş çınar ormanları oluşturmaktan söz etti. Bundan kısa bir süre önce, çalışmaları kısmen, Kuzey Kutbu'ndaki nehirlerin yönünü değiştirmenin iklimi daha genel anlamda nasıl değiştireceğini anlamaya göre şekillenen Rus iklimbilimci Mikhail Budyko, dünyanın soğumaya ihtiyacı varsa, uçakların yaktığı kükürt-zengin yakıtların bunun için yeterli olabileceğini öne sürmüştü. 1980'lere gelindiğinde Marchetti'nin "jeomühendislik" deyimi, hangi özel teknolojiyi kullanırsa kullansın, insanların sera etkisini artırmasına karşı koyan bu tür bütün teknolojik planları kapsayan bir terim olmaya başladı.

1988'de, sera ısınmasıyla ilgili kaygılar akademik dünyadan çıkıp kamusal bir mesele haline geldiğinde, bu tür spekülasyonların hacim ve ciddiyetinin artmasını bekleyebilirdiniz. Ve bunun olacağına dair bazı işaretler de vardı. Pinatubo Dağı'nın patlamasından birkaç gün önce, Florida, Palm Coast'taki bir konferansta, küresel ısınmayı yavaşlatmak, durdurmak ve hatta tersine çevirmek için büyük mühendislik projelerinin kullanılabileceği tartışılıyordu. O sıralarda, Amerika Ulusal Bilim Akademileri'nin hazırladığı "İklim Değişikliğinin Politik Etkileri" başlıklı rapor, büyük ölçüde Schneider tarafından kaleme alınan bir bölümün tamamını jeomühendisliğe ayırmıştı. Diğerlerinin yanında, uzayda yörüngelere oturtulacak aynalar, sülfatları stratosfere fırlatacak ağır silahlar ve karbondioksidi aç fotosentezcilerin büyümesini arttırmak için güney okyanuslarını demirle gübrelemek seçenekleri tartışıldı. Dergi ve gazeteler, 1992 yılında San Francisco'da yapılan Amerikan Bilim Gelişim Derneği toplantısı hakkında haberler yaptılar ve toplantıya katılan bilim insanları, konuyu halka açık hale getirdi.²⁰ İklimin geleceği artık sıcak bir konu olduğuna ve Pinatubo'nun serinletici et-

20 Bu konuyla ilgili yaptığım ilk röportaj, sanırım, o toplantı sırasında, Powell Sokağı'ndaki bir McDonald's'ta, teleferik tıkrıtları eşliğinde geçmişti.

kisi ispatlandığına göre, konuya duyulan ilgi damlasının bir sele dönüşmesini bekleyebilirdiniz.

Oysa tam tersi oldu ve ilgi tamamen söndü. 1965'te Revelle'nin, sera etkisinden bahseden ve başkana sunulan bir rapora ekleyeceği tek çözümün pinpon toplarıyla kaplı bir okyanus olması mantıklı görünüyordu. Aklı başında hangi insan, Lyndon Johnson'a endüstriyel kapitalizmin temel gidişatının değiştirilmesi gerektiğini önermeyi düşünebilirdi ki? Halbuki otuz yıl sonra bütün gündem, ekonomi ve toplumu, emisyonları ortadan kaldıracak şekilde yeniden düzenlemek haline gelecekti.

Karbondioksit Politikasının Doğuşu

Dünya çapındaki bu ihmal söz konusu fikrin çok uzak bir ihtimal olarak görülmesine bağlanabilir ve bu hiç kuşkusuz belli bir rol oynamıştır. Fakat o zamanlar bilim hakkında, uzak ihtimallere karşı büyük bir hoşgörülle –dürüst olmak gerekirse, istahla– yazan birisi olarak, 1990'lar boyunca, asteroitlerin Dünya için oluşturduğu tehditler ve bunları azaltma teknikleri, sadece gezegenler arası değil yıldızlar arası uzay yolculukları, Mars'ı kolonileştirme olasılığı gibi, jeomühendislik kadar uzak konularla ilgili bilimsel toplantılara katılmak için birçok editörün cömertliğini suistimal edebildiğimi gördüm. Gerçekten de böyle bir kolonizasyondan sonra, atmosferi suyun oluşabileceği bir noktaya kadar ısıtmak ve kalınlaştırmak için özel aerosoller ve sera gazları kullanarak Mars ikliminin insan yararına nasıl değiştirilebileceği üzerine toplantılar dahi yapıldı. Lowell'ın, gezegenlerinin kaçınılmaz sonunu ciddiyetle ertelemeye çalışan Marslılar düşüncesi yerine, dünya oluşturanların zaten ölü olan bir dünyayı hayata döndürmenin yollarını araması dışında, böyle bir “dünyalaştırma” Lowell'a çok şey borçludur. Bu kitaba hayat veren soruların bazılarıyla –sadece bir gezegenin nasıl yeniden şekillendirileceğiyle ilgili

değil, aynı zamanda bunun doğru bir şekilde nasıl yapılacağıyla ilgili sorular– ilk kez bu tartışmalarda karşılaştım.

Fakat Florida'daki Pinatubo öncesi buluşmadan sonra aşağı yukarı on yıl boyunca, başka bir gezegenin değil, Dünya'nın iklimini düzenlemeye adanmış hiçbir toplantıya rastlamadım ve herhangi birini kaçırdığımı da sanmıyorum. Mars'ın dünyaya dönüştürülmesiyle ilgili düşünceler, 1992'de prestijli *Nature* dergisine kapak oldu ancak bu dergi, 1991'den 2001'e kadar iklim jeomühendisliğinden bahseden tek bir bilimsel makale bile yayımlamadı.

Jeomühendisliği diğer düşüncelerden ayıran şey, gerçekten önemli bir şeyle ilgili olmasıydı. Çarpışma rotalarında Dünya'nın endişelenmesini gerektiren hiçbir asteroit ve yabancı yıldızların etrafında acilen araştırılması gereken hiçbir gezegen yoktu. Mars'ın kolonizasyonu ve dünyalaştırılması başka bir güne, yıla ya da yüzyıla ertelenebilirdi. Halbuki 1980'lerin sonlarından itibaren, iklimin çoktan değiştiğine ve daha fazla değişikliğin ortaya çıkaracağı risklerin derhal ele alınması gerektiğine dair yaygın bir fikir birliği vardı.

Bu aciliyet, jeomühendislik müzakerelerini teşvik etmek yerine bastırdı. Dünya, mevcut duruma odaklanmak için gelecekle ilgili şakacı spekülasyonlara sırtını döndü ve iklim bir problem olarak görülmemekten, hızla, uluslararası hukuka giren bir sorun haline geldi.

İklim bilimcilerin on yıllardır sera ısınmasından bahsetmesine ve bunu 1980'lerin başından itibaren artan bir telaşla yapmalarına rağmen sorun siyasi sahneye ancak 1988'de çıkabildi. O yılki El Nino, Kuzey Amerika'nın her yerinde sıcaklık rekorlarının kırılmasına neden oldu. Jim Hansen, ABD Senatosu'nda, endüstriyel emisyonların neden olduğu iklim değişikliği gerçeğini teyit etti. Çok sayıda bilim insanı ve çevre grubunun katıldığı Montreal toplantısında bu sorun ilk kez doğrudan ele alındı. Ertesi yıl, problemi değerlendirmek ve

gelişmekte olan ülkeleri de tartışmaya çekmek için IPCC kuruldu. 1992’de dünyadaki neredeyse tüm hükümetler, Rio de Janeiro’daki “Dünya Zirvesi’nde” UNFCCC’yi imzalayarak “tehlikeli iklim değişikliğini önleme” vazifesini üstlendiler. 1997’de yani Hansen’in senatoda ifade verdiği kavurucu yazın üstünden henüz on yıl geçmemişken, UNFCCC’nin Kyoto Protokolü, dünyanın gelişmiş ülkelerine, karbondioksitin belirli oranlarda azaltılması zorunluluğu getirdi. Başta ABD olmak üzere bazı ülkeler bu protokolü hiçbir zaman onaylamasa da protokol 2003’te yürürlüğe girdi.

Sürecin bu kadar hızlı ilerlemesinin nedenlerinden biri, tek bir şeye, karbondioksit odaklanmasıydı. Karbondioksit emisyonları, iklim sistemindeki hem en büyük hem de en hızlı büyüyen beşeri müdahale olduğu için bu, bilim insanlarına oldukça mantıklı geldi. Pratik siyaset açısından da anlamlıydı. İklim devasa, amorf ve indirgenemez derecede karmaşıktır. Karbondioksit ise bir moleküldür. Bu ikisinden hangisinin herhangi bir anlaşılmaya daha kolay bir konu olacağı oldukça açıktır. İklim probleminin siyasi, ahlaki ve metafizik yanlarına birbirinden çok farklı şekillerde bakan gruplar, karbondioksit konusunda, tüm bu farklılıklara rağmen bir anlaşılmaya varabildiler. Bu antlaşma, doğa bilimcilerini, yeşil aktivistleri ve sivil toplum kuruluşlarını, gelişmekte olan ülkeleri, uluslararası diplomatları ve hatta ekonomistleri bir araya getirebildi.

İklim bilimciler, karbondioksitin, iklim değişikliği hikayesinin yalnızca bir parçası olduğunu biliyorlardı. Ancak bunun, radyasyonel seranın, metrekaareye düşen vat ölçeğindeki en büyük parçası olduğunu da biliyorlardı. Ve eğer dünya iklim konusunda harekete geçecekse, ki bunun olması gerektiğini düşünüyorlardı, yerine getirilmesi gereken çok basit hedeflere ihtiyaç duyacağına inanıyorlardı. Ayrıca, doğal dünya ve onun üzerine inşa edilen beşeri dünya için genel olarak en iyi şeyin, maruz kalacağı değişimi en aza indirmek olduğu yönünde yol gösterici bir ilkeleri vardı. Değişimi en aza indirme

fikri, 1980'lerin sonlarında bilim insanları arasında devam eden tartışmalarda, gerçekleştirilecek eylemin hedefinin, öngörülen toplam değişim miktarı yerine, şeylerin değişme hızı olması gerektiği önerisine yol açtı çünkü prensipte, değişim daha yavaş olursa insanlar ve ekosistemler daha kolay adapte olurlar. Ancak bu hedef, toplam değişim miktarını sınırlamaya çalışacak bir hedef lehine reddedildi. Tercih edilen hedef, daha net ve daha keskin görünüyordu; ayrıca bu, bilgisayar modellerinin, karbondioksit emisyonları diline daha kolay bir şekilde çevirebileceği bir hedefti.

Bilim insanlarından bazıları, muhtemelen, karbondioksit cinsinden bir tanımın kendilerine önemli bir güç vereceğini de düşünmüş olabilirler. Karbondioksit, teknik bir meseledir, bilim alanına iyi oturan ve hakkında konuşma yetkisine bilim insanlarının sahip olduğu türden bir şeydir. İklim değişikliği öncelikle bir karbondioksit meselesi olarak görüldüğünde, bilim insanlarının bu tartışmada özel bir yeri olacaktır; uygulanacak gücün bağlı olduğu bilgi, kendi içinde güçlü hale gelir. İklim bilimciler, çevre hareketinde, doğal dünyanın neye ihtiyaç duyduğunu söylemeye yetkin, gezegendeki tek ses, yerküre sistemine yapılacak beşeri müdahalelerin, ötesine asla geçmemesi gereken “küresel sınırları” belirlemeye kabil tek merci olarak görülmeye başladı. Tartışmanın böyle bir çerçeve içine alınmasıyla birlikte, bilim insanlarının gezegenin endüstri öncesi karbondioksit seviyelerine mümkün olduğunca yakın kalması gerektiğine dair inançları, diğer endişelerin önüne geçti. Bu şartı sağlamanın yerküre sisteminin sosyal ve ekonomik parçalarına dayatacağı büyük değişiklikler ikinci sıraya düştü. Gezegenin değişmemesi için dünyanın değişmesi gerekiyordu.

Siyasi çevreciler de doğal dünyayı olduğu gibi sevme taraftarıdır. Ancak doğa bilimciler, sosyal ve ekonomik dünyayı o ya da bu ölçüde görmezden gelme konusunda kendilerini, en azından profesyonel yaşamlarında, özgür hissederlerken, po-

litik çevreciler bunu, büyümeye daha az takıntılı, kendi çıkarını daha az gözeten, daha adil ve daha sürdürülebilir bir şeye dönüştürmeye kararlđdırılar. Genellikle, kapitalist sistemin dayandırıldığı, ekonomik büyüme ile mutluluk arasındaki bağın büyük ölçüde hayali olduğuna ve her zaman, mevcut sistemin sağladığından daha iyi yaşam biçimleri olduğuna inanırlar. Çağdaş yaşamın, doğaya ve insan tabiatının kucaklanması gereken yönlerine yabancılaşmış olduğunu düşünürler. Doğanın, insan yaşamı için belirlediğini varsaydıkları sınırları kabul etmeyi ve benimsemeyi, sorumluluk sahibi ve ahlaki açıdan doğru bir eylem biçimi ve neredeyse kesin bir biçimde kalıcı mutluluğun temeli olarak görürler. Onlar Thoreau sınıflamasındaki birinci grup reformculardandır: Projelerinin merkezinde, kendini ve toplumu değiştirme vardır.

Çevre üzerinde çalışan pek çok sosyal bilimci ve doğa bilimcisi, bu planın en azından bir kısmına sempati duyuyor zira genellikle yirmili yaşlarında çevre bilimcisi olan insanların çoğu daha çocuk yaşıta çevreci oluyorlar. Bu, yaptıkları çalışmaların mutlaka taraflı olduğu anlamına gelmez; tarafsız olmadan da nesnel olunabilir. Ancak, bu durum işleri karmaşıklaştırabiliyor.

Karbondioksit, bilim insanları için uygundu çünkü sorunun basit bir ölçüsü gibi görünüyordu. Yeşiller için uygundu çünkü hareketlerini kendisine karşı bir tepki olarak oluşturdıkları sanayi toplumunun oldukça iyi bir temsilcisiydi. UNFCCC'yi oluşturan ve bunun öncelikle gelişmiş ülkelerin bir sorunu olduğunu ortaya koyan uluslararası müzakereler, gelişmekte olan ülkeler için de uygun olduğunu gösterdi. Rio'daki zirve sırasında, on sekizinci yüzyıldan bu yana gerçekleşen tüm endüstriyel emisyonların büyük çoğunluğu Avrupa ve Amerika'dan geliyordu. UNFCCC, bu düşünceyi, imzacıların iklim değişikliği konusunda "ortak ama farklı sorumluluklarına" atıfta bulunan kilit bir maddeye yerleştirdi. Bu farklılıklar, Kyoto Protokolü'nün yapısında görülebilir: Gelişmiş ülkeler

kendi emisyonları üzerindeki kısıtlamaları kabul ederken gelişmekte olan ülkeler bunu yapmak zorunda değildir. Mevcut gidişata bakılırsa bu daha da mantıksız gelecektir; 2020'lerin bir noktasında, Çin'in son elli yılda saldığı toplam karbondioksit miktarı, Amerika'nın tüm tarihi boyunca saldığı toplam miktarı geçecektir. Ancak anlaşmanın yapılma şekli buydu ve gelişmiş dünyadan bir şeyler talep eden ancak gelişmekte olan dünyadan talep etmeyen bir anlaşma biçimi, gelişmekte olan dünya politikacılarının sıcak karşıladığı bir yenilikti.

Müzakere etmekle görevli diplomatlar da karbondiokside odaklanmayı uygun buldular. Bu da iklim değişikliğini daha az sorun teşkil etmesi gereken bir şey haline getiriyordu. Böylece 1990'ların başında, anlaşmaları müzakere eden kişiler daha az olması gereken bir şey hakkında kendilerini daha rahat hissetmeye başladılar zira daha az olması gereken bir şeyle ilgili anlaşmaların nasıl işlediğini biliyorlardı ve bunlar üzerinde anlaşmaya varmakta oldukça iyilerdi. 1987 Montreal Protokolü için, daha az olması gereken şey CFC üretimiydi; diplomatlar, ihtiyaç duyulandan daha azını sunmanın akıllıca bir yolunu buldular. Bu yol, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin yükümlölüklerini ayırıştırıyor ve zengin olanların fakir olanlara yardım etmesini öngörüyordu ki bunların her ikisi de gelecek iklim müzakerelerinin konusu olacaktı. 1991 tarihli Stratejik Silahların Azaltılması Antlaşması ve 1987 tarihli Orta Menzilli Nükleer Silahlar Antlaşması gibi silah kontrol anlaşmalarında ise daha az olması gereken şeyler belirli silah türleriydi ve bu antlaşmalar da işe yaradı. UNFCCC belgelerinin, belirlenmiş kesinti seviyelerine ve bu kesintilerin gerçekten yapılp yapılmadığını tespit etmek için tasarlanan izleme ve doğrulama mekanizmalarına odaklanan dili, bu tür antlaşmalara çarpıcı derecede benzer.

Ekonomistler, bunu nükleer silahlara uygulamasalar da daha az olması gereken şeyler için iyi bir yaklaşıma sahip olduklarını ve onlar için bir pazar oluşturmayı düşündüler.

Amerika, Rio Zirvesi'nin gerçekleştiği dönemde, kömürle çalışan elektrik santrallerinden kaynaklanan kükürt emisyonlarını azaltmak için bu yaklaşımı kullanmaya başlamıştı. Operatörler çevreyi ancak sınırlı bir miktarda kirletebiliyorlardı. Oluşacak kirliliği ucuz bir şekilde ortadan kaldıracılabilenler, artık ihtiyaçları kalmayan izinleri, bu süreçte zorlanan şirketlere satarak para kazanabiliyorlardı. Ekonomistler bu planı sevdi çünkü maliyet açısından en verimli azaltmaları teşvik ediyordu; azaltmayı en çok, bu işi yapmakta en az zorlananlar yaptı. Bill Clinton ve Tony Blair'in tercih ettiği "nc yol" bağlamında, karbon piyasalarının siyasi bir çekiciliği de vardı; "sol" bir hedef yani çevreyi iyileştirmek için "sağ" bir mekanizmayı yani piyasayı kullandılar. Pazar yaklaşımı, UNFCCC'de örtük olarak ve beş yıl sonraki Kyoto Protokolü'nde açıkça ifade edilmiştir. şimdiye kadar, büyük bir başarısızlıkla sonuçlandı. Dünyanın en büyük karbon piyasası olan Avrupa Emisyon Ticaret Sistemi iki kez kt. ABD'de ulusal bir pazar yaratma girişimleri, 2008'de seçilmesinden sonra Barack Obama destekçilerinin yaşadığı önemli hayal kırıklıklarından biriydi.

Bu, dünyanın iklimle ilgili eylem planının çoğunu karbondioksit odaklamasından kaynaklanan genel bir sorunu gösteriyor. Karbondioksit, üzerinde anlaşılması kontrol edilmesinden çok daha kolay olan bir madde olduğunu gösterdi. Gelişmekte olan ülkelerin daha az karbondioksit salmasına yardımcı olmak için UNFCCC kapsamında kurulan mekanizma, Kyoto Protokolü'nn diğer tüm hükümlerinde de olduğu gibi, çok az etkiye sahip oldu. Küresel emisyonlar, herkesin tahmin edebileceği kadar yüksek bir oranda arttı. Bazı gelişmiş ülkelerde karbondioksit salımları biraz azalmış olsa da bu daha çok enerji yoğun endüstrilerin salımlarını da yanlarında götürerek gelişmekte olan dünyaya taşınmasıyla ilgiliydi. İngiltere 2005'te 1990'a göre yüzde 15 daha az karbondioksit salarken, İngiltere'nin tükettiği tüm ürünlerin üretiminde salınan karbondioksit yüzde 19 arttı; bu sadece daha çok

üretimin ve dolayısıyla daha çok karbondioksit salımının başka bir yere gitmesiydi.²¹

Karbondioksitte derin küresel azalma elde etmedeki zorluğun –bazılarını girişte ele aldığımız– birçok nedeni vardır. Ancak bunların arasından iki tanesi öne çıkmaktadır. Birincisi, endüstriyel ve ekonomik sistemin temelinde fosil yakıtların bulunmasıdır ki bu, emisyonları azaltmanın zor olduğu anlamına gelir. Bunun maliyetinin ekonominin güçlü bir sektörü üzerinde yoğunlaşması, bu zorluğu bilhassa artırır. Diğeri ise karbondioksidi azaltmanın kısa vadede bir fayda sağlamamasıdır. İklim için önemli olan şey, artış hızı değil de atmosferdeki toplam karbondioksit miktarı olduğu için bugün yapılan karbondioksit kesintilerinin iklim üzerinde aşağı yukarı otuz yıl boyunca hiçbir etkisi olmayacaktır. Tarih her şeyin üzerinde asılı durmaktadır. İklim müzakerelerini, belki de her şeyden çok zorlaştıran şey şudur: İnsanların şimdi katlandığı maliyetler, başka insanların yüzyılın ikinci yarısında göreceği faydalara yol açacaktır.

Bunlar temel problemlerdir ve insanlar karbondioksitde daha az dışlayıcı bir biçimde odaklanmış olsaydı da ortadan kalkmayacaklardı. Fakat onu her şey ve her şeyin sonu olarak görmeyen bir yaklaşım, karbondioksit politikalarının ön plana çıkarılmasının bir kenara ittiği diğer cephelerde ilerleme sağlayabilir. Örneğin, iklimi etkileyen diğer beşeri müdahaleler konusunda nispeten daha az tedbir alınmıştır. Beşeri karbondioksit emisyonlarının toplamı şu anda Dünya'nın radyasyonel serasına yaklaşık 1.8 vat ekliyor. Fakat insanlar başka yollarla bunun yarısı kadar bir güç daha eklemektedir. Atmosfere, CFCler yerine saldıığımız ozon dostu HCFCler, güçlü sera gazlarıdır. Gerek endüstriyel olarak gerekse tarım alanlarından, metan ve azot oksit yayıyoruz ki bunların her ikisi de sera gazıdır. Bu gazlar, Kyoto Protokolü kapsamın-

21 İngiltere'de üretilip başka yerlerde tüketilecek olan ürünlerle salınan karbondioksit, kıyaslandığında, oldukça önemsiz kalır.

dadır fakat protokolün odağında bulunmaktan çok uzaktır. İnsanlar ayrıca güneş ışığını emen ve kızılötesi ışık yayan, atmosferi ve yüzeyi ısıtan, özellikle karın üzerine çöktüğü zaman dramatik etki yaratan is yayarlar. Bu, diğer sera gazları ve “kısa ömürlü iklimsel zorlayıcılar” ile ilgili eylem, 2009’daki Kopenhag İklim Zirvesi’nin başarısızlığından bu yana uluslararası bir odak noktası haline gelmeye başladı. Halbuki, o zamandan çok önce de başlayabilirdi.

İklim eylemini karbondioksit emisyonlarının azaltılmasıyla eşitleyen siyasetin daha önemli bir kurbanı, insanların değişen iklimlere uyum sağlama yollarını bulma çabasıydı. Adaptasyon, emisyon azaltmaya (politika çevrelerinde hafifletme olarak bilinir) kıyasla bazı büyük avantajlara sahiptir. Birçok toplum mevcut iklimlerine pek de iyi uyum sağlamış olmadığından, gelecekte oluşacak daha kötü iklimlere hazırlanmalarına burada ve şimdi yardımcı olmak iyi bir şey olacaktır. Ve pek çok sayıda “burada” olduğu ve “şimdi” hemen başladığı için, adaptasyon, küresel bir anlaşma olmaksızın parça parça yasalaştırılsa dahi fayda sağlayacaktır.

Bu güçlü argümanlara rağmen adaptasyon, iklim değişikliğiyle ilgili akademik çalışmalarda, iklim politikalarında, iklim aktivizminde ve sonuç olarak 1990 ve 2000’lerin büyük bölümünde birçok ülke tarafından fena halde ihmal edilmiştir. Adaptasyon, hafifletmenin hayati bir muadili olarak görülmek yerine, çaresiz kalınca başvurulacak bir şey olarak, havlu atmak olarak, sadece asıl amaç olan atmosferdeki karbondioksit seviyesinin kontrol altına alınamayacağı ortaya çıkarsa düşünülmesi gereken kötü bir ikinci seçenek olarak görülüyordu. Adaptasyon hakkında konuşmak isteyenlerin neredeyse hiçbiri, bunun hafifletme ihtiyacını ortadan kaldırdığını öne sürmedi. Yine de –birinin bana söylediği gibi– yemek masasında sürekli gaz çıkaran birisi kadar itici bulundular.

Son kurban, geçtiğimiz birkaç bölümde anlattığım türden bir iklim jeomühendisliği idi. İklimin bir karbondioksit sorunu

olarak tanımlandığı bir dünyada anlamlı olan tek iklim jeomühendisliği, girişte ve daha ayrıntılı olarak sekizinci bölümde tartışılan, karbonu havada yakalamaya yönelik teknolojilerdi. Karbon piyasaları işe yarasaydı, bu tür teknikler para kazandırıcı olurdu.

Ancak karbondioksit siyasetinin hüküm sürdüğü bir dünyada, yeryüzüne gelen güneş ışığı miktarını sınırlamaya çalışan jeomühendislik teknolojilerine hiç yer yoktu. Bunlar da adaptasyon gibiydiler; gerçekten de bu, onları, aşırı ısınma sorununa dünya çapında, yetersiz ve kısmi bir adaptasyon olarak görmek için, birçok açıdan iyi bir yoldur. Dolayısıyla insanların dikkatini gerçek karbondioksit sorunundan uzaklaştıran adaptasyon için gösterilen çekince, alışılmamış bir sertlikle bu tür fikirlere de uygulandı. Gökyüzünde güneş şemsiyeleri varken, herkesin üzerinde anlaşılabileceği tek şey olan karbondioksit seviyeleri önemini kaybedecekti. Nasıl bir canavar, iklim politikalarının temelini bu şekilde oymak isteyebilirdi?

OYUNUN ORTASINDA **KURALLARI DEĞİŞTİRMEK** ---

Havadaki bir boşluğun içinden geliyor
Tiananem Meydanı'ndaki o gecelerden
Tam olarak gerçek olmadığı
Ya da gerçek ama tam olarak orada olmadığı
Hissinden geliyor
 Leonard Cohen, "Democracy" (1992)

Cüssesiyle orantılı olan aklını kullanmaktan mutluluk duyan, hımbıl, iri bir adam olan Lowell Wood, merak uyandıran bir figürdür. Kariyerinin çoğunu, Edward Teller'ın himayesinde, San Francisco Körfezi'nin doğusundaki Ulusal Lawrence Livermore Laboratuvarı'nda, nükleer silah tasarımcısı olarak geçirdi. Politik arenada, siyasetin içindekilerin nüfuzuna sahip olan Teller, fizik dünyasında dışlanmış birisiydi. 1954'teki bir soruşturmada, Hiroşima ve Nagazaki bombalarının yapıldığı Manhattan Projesi'nin bilimsel lideri Robert Oppenheimer'ın güvenlik izninin kaldırılması gerektiğini düşündüğünü söylemişti. Teller gibi, Oppenheimer'ın altında çalışmış olanların çoğu, bunu bir ihanet olarak gördü ve hainden uzak

durdu. Ancak Teller, Livermore'a özenle seçtiği genç meslektaşlarında evlatlarda olana benzer bir sadakat duygusu uyardı ve onları, fiziğin (sık sık nükleer patlama fiziği de dahil olmak üzere) silah yapımından başka sorunlara da uygulanabileceği yollar hakkında geniş biçimde düşünmeye teşvik etti. Teller ve meslektaşları, öldürme işine ara verdiklerinde, kilit çalışanlarının hayata ilgisini tazeleyecek her türlü dikkat dağıtıcı şeye para harcamaktan memnun olan bir laboratuvar sayesinde bütün bunların keyfini çıkardı.

Teller ve Wood, 1990'ların ortalarında, ana akım bilim politikalarından ve kariyerlerini güçlendirecek makaleler yayımlama zorunluluğundan kurtulmuş olarak ve bilimin, insanlara neredeyse sınırsız bir güç verebileceğine duydukları inançtan emin bir şekilde –tasarladıkları silahlar güneşin kalbindeki ateşi yeniden yaratmamış mıydı?– iklimi nasıl değiştireceklerine dair bazı hesaplamalar yapmaya başladılar. 1997'de, Roderick Hyde adında bir meslektaşlarıyla birlikte, stratosferik perde oluşturma üzerine 1990'larda yayımlanan tek büyük makaleyi yazdılar ancak bunu akademik bir dergiye göndermek yerine laboratuvar içi bir çalışma bildirisi olarak yayımladılar.

Bu bildiri, çeşitli aerosol türlerinin nasıl kullanılabileceğine dair fiziksel bilgilerle doluydu; sülfatların yanı sıra, saçılma ya neden olan metal parçacıklara, küçük karbon kafeslere hapsolmuş, etki ettikleri dalga boylarında ince ayar yapabilen iyonlara ve saçılmanın stratosferdeki aerosoller yerine uzaydaki aynalar tarafından yapıldığı sistemlere de bakıyordu. Makale ayrıca ufukta bir buzul çağı olması durumunda gezegeni ısıtmak için kullanılabilecek benzer sistemlerle de ilgileniyordu. Livermore büyücüleri, insanlığın evrendeki yeri hakkında, jeolojik çağlar kadar mevcut politik çıkmazlar hakkında da endişelenmeye yetecek çapta bir anlayışa sahipti. Buz devrine geri dönme ihtimali, Livermore'da yapılan bu çalışmaların, insan yapımı iklim değişikliğinin, Teller'ın yakın ilişki içinde olduğu Amerikan siyasi sağındaki bazı kişilerin

gölge düşürmeye can attığı öneminin ötesinde bir öneme sahip olduğu mesajını da vermiş oluyordu. Bildiri ayrıca, söz konusu seçmen grubunun gözüyle, güneş ışığını saçma planlarının çalışılması gerektiğinde ısrar ediyordu çünkü karbondioksit emisyonlarının azaltılmasıyla karşılaştırıldığında bunlar çok daha ucuzdu.

Wood, bu makalenin sonuçlarını 1998’de Kolorado, Aspen’de düzenlenen iklim sorunlarıyla ilgili bir toplantıda sundu. David Keith ve Ken Caldeira, anlattıklarına göre, salonun arka tarafında oturmuş ukala çocuklar gibi alay ediyorlardı. Keith, fizik eğitimi almıştı. 1990’ların başında bir araştırmacı olarak yola çıktığında, atomları tek başlarına yakalamanın yeni yolları üzerine yaptığı araştırmalar çok önemsenmişti. Ancak, hep çevre sorunlarına merak duyduğundan kendisini iklimle ilgili oldukça geniş bir araştırma yelpazesine adanmıştı. Mühendislik temelli politika analizleri yaptı, ekvatorдан kutuplara ısı akışının hızının hesaplanması üzerine çalıştı, radyasyonun yerküre sistemine girme ve çıkma hızını eşi görülmemiş bir kesinlikle saptayabilen bir uydu cihazı tasarladı. (Büyük ölçüde NASA’nın iç politikası yüzünden, bu cihaz on beş yıldır hâlâ kullanılmayı bekliyor.)

Keith, iklimbiliminde Wood’dan çok daha bilgili olduğunu düşünüyordu. Aynı şey, yerküre sistemi modellemesine odaklı çalışan Caldeira için de geçerliydi. O, Wall Street’te çalışma ve nükleer silahlara karşı makul bir siyasi aktivizmi de içeren ilginç bir geçmişten geliyordu. 1980’lerin sonlarında yüksek öğrenime geri döndüğünde, New York Üniversitesi’ndeki küçük, eklektik ve efsanevi Yerküre Sistem Bilimi Bölümü’nde entelektüel bir yuva bulmuştu. (Ne kadar eklektik? Bahsettiğim yıldızlar arası uzay yolculuklarıyla ilgili konferansı hatırlıyor musunuz? Onu organize edecek kadar.)

Keith ve Caldeira birbirlerine, Wood’un gerçek bir iklimbilimcisi olsaydı, sadece bir sisteme giren ve çıkan enerjiyi analiz etmenin her zaman gerekli olsa da asla yeterli olmadığını

takdir edebileceğini söylediler. Wood, karbondioksitin iki katına çıkması nedeniyle artan ısınmayı dengelemek için metrekare başına vat cinsinden yeterli enerjiyi yansıtan stratosferik bir perdeden veya uzaya yerleştirilen bir aynadan bahsederken, bu iki etkinin nicel olarak denk olmasına rağmen nitel olarak çok farklı oldukları gerçeğini görmezden geliyordu. Sera etkisi günde yirmi dört saat çalışırken aynalar sadece gündüzleri iş görüyordu. Sera etkisi kışın ve kutuplarda en güçlüydü, oysa bu zaman dilimi ve bölgeler, aynaların en az etkiye sahip olduğu zaman ve yerlerdi. Bu uyumsuzluklar büyük bir mesele gibi geldi. Bunları görmezden gelmek Wood'u, kendini beğenmiş bir davetsiz misafir olarak damgalamalarına neden oldu ve bu izlenimi, Wood'un aşırıya kaçan şu sonucu daha da pekiştirdi: Prometeyen fizikçiler, güneş ve yerküre sisteminin bu konuda ne söyleyeceğine pek aldırmadan, insanlar için optimize edilmiş bir iklim oluşturabilir yani gezegeni bir termostat ile donatabilirler.

Caldeira da, Livermore'da, Teller'in savaş sonrası, hava durumunu tahmin ve mümkünse kontrol etmeye duyduğu ilgiyle bağlantısı kurulabilecek bir iklim modelleme bölümünde çalıştı. Ancak laboratuvarın silah tasarım bölümüyle hiçbir teması yoktu ve bunu istemiyordu. Teller, Wood ve Hyde kendi fikirleri üzerinde çalışırken ona danışmamışlardı.²² Caldeira ve meslektaşı Govindasamy Bala, Wood'un analizinde bulacağından emin olduğu kusurları araştırmak için Sera Gezegeni, Tasarlanmış Gezegen ve Ana Gezegeni karşılaştıran güncel bir iklim modelini kullandılar. İklim jeomühendisliği gündemden o kadar çıkmıştı ki, gerçekten bunu daha önce hiç kimse yapmamıştı.

22 Bu tuhaf gelebilir ama Livermore biraz garip bir kurumdur. Farklı güvenlik izin ve kültürleri, "çitin içindeki" nükleer silah tasarımcılarıyla diğer araştırmacıları birbirinden ayırır. Ayrıca, aynı konular hakkında kafa yoran başka insanlara danışmak, Teller veya Wood kalıbındaki fizikçilerin her zaman yapmak isteyeceği türden bir şey değildir. Genellikle kendi sonuçlarına, ilk ilkelere hareketle varmayı tercih ederler; bu, bir yandan yeni önseziilere öte yandan önlenabilir hatalara yol açabilir.

Caldeira ve Bala, sonradan GeoMIP gibi modellerin de teyit ettiği sonuçlar buldular. Stratosferden daha az güneş ışığının geçmesiyle sağlanan soğuma ile sera gazlarının etkisiyle oluşan ısınma, tam olmamakla birlikte, gerçekten de birbirine oldukça yakındı. Keith ve Caldeira'nın Aspen'de üzerinde durmaktan gurur duydukları farklılıkların pek de önemli olmadığı ortaya çıktı. Yavaş ısınan okyanuslar, enerjinin gündüz mü gece mi aktığını hiç umursamıyor ve kış ile yaz arasında pek bir fark görmüyordu. Ve iklim değışikliğinin büyük bir kısmı okyanuslar tarafından yönetiliyordu.

Caldeira iklim jeomühendisliğine tam olarak dönmedi. Ama biraz utanarak, jeomühendisliğin potansiyelini göz ardı etmeye fazla yatkın olduğunu fark etti ve jeomühendisliği daha sistematik bir şekilde araştırmaya başladı. Sonraki birkaç yıl boyunca, başka model deneyler yaparak hidrolojik döngü ve ekosistemler üzerindeki etkilere baktı. Bu, ona çekici gelen türden, ana akımdan biraz uzakta, doğru sorular sormanın ve bunlara birinci dereceden cevaplar almanın yepyeni bir alanını araştırmaya izin veren, büyük resimle ilgili bir bilimdi. Aynı lezzet, daha sonra onu, çözünmüş karbondioksidin okyanus kimyasına neler yapabileceğine bakmaya yani ancak o zaman öne çıkan “okyanus asitlenmesi” sorununa yöneltti.²³ Suda çözünen karbondioksidin zayıf bir asit üreteceği bir temel kimya bilgisidir ve bu küresel ölçekte olduğunda, okyanusların pH'ının –asitliğinin bir ölçüsü– değışeceği Revelle zamanından beri biliniyor ancak bu tür pH değışiklikleri genellikle önemsiz bir mesele olarak görülüyordu. Karbondioksit seviyesinin iki katına çıkması, Caldeira'nın değimiyle “kaçınılması gereken bir kabus” olmaktan çıkıp “en azından kurtulabileceğimiz bir şey” haline gelince, okyanusların

23 Karışıklığı önlemek için okyanusların aslında asidik hale gelmeyeceğini belirtmekte fayda var zira asitlenme göreceli bir terimdir. Dünyanın okyanusları hafif alkaliktir –asidin tersi. Karbondioksit eklemek onları biraz daha asidik yapar; bu onu bir miktar “asitleştirmedi.” Ancak bu, denizlerin asidik hale geleceği anlamına gelmez; alkali olarak kalırlar.

asitlenmesi yeni bir önem kazandı ve Caldeira bunu ilk fark edenlerden birisiydi. Sonrasında çok sayıda araştırmamanın konusu oldu. Getireceği ekolojik etkilerin kapsamını ölçmek hâlâ zordur çünkü deniz suyunun pH'ı birçok yerde zaten değişkendir ve hem organizmalar hem de ekosistemler pH seviyesindeki değişikliklere uyum sağlamak için belli bir kapasiteye sahiptir. Buna rağmen Caldeira ve başkaları, bu sürecin dünyadaki birçok mercan resifiyle birlikte bir dizi başka ekosistemi tehlikeye atacağına inanmaya başladılar.

Caldeira'nın jeomühendislik çalışmaları, diğer iklim modelleme grupları tarafından benimsenmedi fakat büyük etki sahibi bir adamın dikkatini çekti: Paul Crutzen. Crutzen'in ozon tabakasının kimyası üzerine çalışmaları, ona, paylaştığı bir Nobel Ödülü (atmosfer üzerinde yapılan çalışmalara verilen ikinci ödül) kazandırmış ve Montreal Protokolü'nü desteklemişti. Atmosfer biliminde, sırf bunun için bile ona saygı duyuluyordu fakat bir de gerek Avrupa'da gerekse Birleşik Devletler'deki etkisini artıran, sade, oldukça Hollandalı, biraz Yodavari bir karizması vardı. Kendisine akademinin ötesinde de hizmet eden siyasi içgüdüleri, önemli şeylere ve bunların önemli olduğunu insanlara nasıl göstereceğine dair hisleri vardı. "Antroposen" terimini 2000'lerin başında bilim sözlüğüne sokmayı başarmasının arkasında da bu vardır. 2006 yılında, Stephen Schneider'ın *Climatic Change* dergisinde yayımlanan bir makalesinde, iklim jeomühendisliğinin önemli bir şey haline geldiğini ve bilim insanlarının bu konuda daha fazla araştırma yapmaya başlaması gerektiğini duyurdu.

Makale basit, nazik ve inandırıcıydı. Karbondioksit emisyonlarının azaltılmadığı gerçeğinden yakınen başlayordu. Ardından, Caldeira'nın çalışmasından hareketle bir tür stratosferik perdenin alternatif bir cevap sağlayabileceğini kaydediyordu. Böyle bir eylemin ozon tabakasını ille de ciddi bir tehlikeye sokmayacağını düşündüğünü de eklemişti. Crutzen şöyle devam etti: Bu, emisyonları azaltmanın yerini asla ala-

mazdı; teklif edilen emisyon indirimleri, istikrarlı bir iklime giden en emin ve okyanus asitlenmesini kesen tek yoldu.

Asitlenme üzerindeki bu vurgu, Crutzen'in argümanını zekice çerçeveleme yollarından biriydi. Güneş ışığı jeomühendisliği- nin artan karbondioksitin iklimsel olmayan bu etkisiyle ilgili hiçbir şey yapmadığı gerçeği, bu fikri eleştirenler tarafından genellikle ölümcül bir eksiklik olarak ele alınır. Crutzen bu durumun siyasi bir değeri olabileceğini gördü. Güneş ışığı jeomühendisliğiyle ilgili çabalar, okyanusların asitlenmesi konusunda hiçbir etkisi olmayacağından, karbondioksit emisyonlarının azaltılmasıyla ilgili politikaları baltalayacak bir şey yapmamıştı. Sıcaklıkları dengeleyecek stratosferik perdeler üzerinde çalışan bilim insanları, çalışmaları meyve verse bile başka bir sorun olan asitlenme probleminin, karbondioksit emisyonlarının kontrol altında tutulmasını, hâlâ büyük bir ihtiyaç olarak tutacağı konusunda insanlara güvence verebilirdi.

Ancak bu makaleyle ilgili en önemli husus ne okyanusların asitlenmesi ne de başka bir şey hakkında söyledikleriydi. Söylediği her şeyin ozon tabakasının kurtarıcısı Paul Crutzen tarafından söylenmiş olmasıydı. Schneider daha sonra bana, “Mesaj, mesajı taşıyanın kendisiydi,” dedi. Crutzen'in stratosferik kimya alanındaki prestiji, özelde, daha fazla araştırma çağrısını takip etmek isteyen herkesi, bir ozon vandali olarak görülmekten kurtardı. Genel anlamda ise Crutzen'in bu onayı, iklim değişikliğine yönelik karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına odaklanmaktan başka herhangi bir yaklaşımın, Teller'in, bu hafifletmelerin gerektirdiği masraflardan kaçınma taraftarı olan sağcı arkadaşlarının işine yarayabileceği şüphesine karşı belli bir koruma sağladı.²⁴

24 Teller'in 1990'larda, kendisinin Livermore'dan mesai arkadaşları Ben Santer, Wood, Caldeira ve Bala da dahil olmak üzere, karbondioksit emisyonlarının önemini gösteren iklimbilimcilere yönelik utanç verici *ad hominem* saldırıların bazılarından sorumlu bir düşünce kuruluşu olan George C. Marshall Enstitüsü ile yakın bir ilişkisi vardı.

Sülfat aerosollerinin soğutucu ajan olarak kullanılma imkanına gösterilen ilgi elbette karbondioksitin iklimdeki rolünü inkar etmekle aynı şey değildir. Aslında böyle bir inkar, insanı iklim konusunda herhangi bir eyleme karşı da ilgisiz bırakmalıdır. Ancak bunların her ikisi de farklı şekillerde olsa bile, karbondioksit emisyonlarının iklimden ayrıştırılmasını içerdiğinden, karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına karşı geliştirilen argümanlara güç katabilir. İnsanların hiçbir sorun olmadığını söyleme konumundan, bir sorun olduğunu ancak çözümün emisyonların azaltılması değil, iklim jeomühendisliği olduğunu söylemeye geçme olasılığı, jeomühendislik üzerinde çalışan akademisyenlerin çoğunu endişelendiriyor. Bu akademisyenlerin çoğunun, iklim meseleleri üzerinde çalışanlar arasında yaygın olan sol sempatiyi paylaştığı, bence güvenle söylenebilir. Bariz tutarsızlığı göz önüne alınırsa, böyle bir pozisyonun ne kadar ucuz olduğu, Chicago ekonomisti Steven Levitt ve gazeteci Stephen Dubner'in yazdığı *Superfreakonomics* adlı kitapta görülebilir. İklim değişikliğiyle ilgili bölüme karbondioksitin o kadar da büyük bir sorun olmadığını gösteren argümanlarla başlıyorlar; sonra akıcı bir şekilde stratosferik aerosollerin bu soruna emisyonları hafifletmekten çok daha ucuz bir çözüm sunduğu fikrine geçiyorlar. Aerosol planına ilişkin görüşlerinin ana kaynağı, Bill Gates'in arkadaşı ve bir zamanlar Microsoft'un baş teknoloji sorumlusu olan Nathan Myhrvold'dur. Myhrvold, sülfürü, balonlarla desteklenen borular yoluyla stratosfere taşıma planlarını araştırmıştı; bu fikir üzerinde onunla birlikte çalışanlardan birisi de Lowell Wood idi.

Bu tür argümanlar ve bağlantılar, jeomühendisliği bazılarının gözünde siyasi anlamda çok şüpheli bir hale getirmektedir. Crutzen'in lütfu olmasaydı, sanırım şüpheler daha da kökleşir ve bu alanda çok daha az bilim insanı faaliyet gösterirdi. İşte bu yüzden, Crutzen'in bazı meslektaşları oldukça güçlü bir şekilde onu söz konusu makaleyi yayımlamaktan vazgeçirmeye çalıştı. Ancak kurnaz bir adam olan Crutzen, sadece ve hatta

öncelikli olarak, bu konuyu araştıranlara destek olmakla ilgilenmiyordu. Makalesi, iklim mühendisliğinin, hiçbir zaman eyleme geçirilmese bile, düşünülmesi ve araştırılması gereken bir şey olduğuna dair dürüst bir öneri olarak okunabilir. Ama aynı zamanda, emisyonların azaltılmasına yönelik eylemler ciddileşmedikçe, bu tür uç eylemlerin ya hayati bir gereklilik ya da siyaseten elverişli bir çare haline gelebileceğine dair bir uyarı olarak da okunabilir. Crutzen, ne yazarsa yazsın, çevre üzerinde çalışan çoğu bilim insanının bu olasılığa korku ve hoşnutsuzlukla bakacağını biliyordu. Makalesinin, gün ışığı jeomühendisliğini daha gerçekçi hale getirerek, bu imkanı daha az olası kılacak eylemi özendirmesini bekliyordu. Bugün Crutzen, amaçladığı şeyin ikinci okumadaki yorum olduğunu söylüyor: İnsanları korkutmak istemişti. Ancak her iki okuma da mümkündü ve her iki mesaj da alındı.

Bu makaleyle ilgili çarpıcı bir diğer şey de şudur: Eğer 2006'daki emisyon hafifletme miktarı Crutzen'e zayıf ve cılız gelmişse, 2014'teki, yaklaşık 300 milyar ton fazladan karbon-dioksit kadar daha zayıf ve daha cılız gelecektir.

B Planından Nefes Alma Alanına

Crutzen'in makalesinden sonra, iklim jeomühendisliği üzerine yayınlar hızla arttı. Dünyadaki birçok iklim modelleme grubu, bilgisayarlarıyla, Tasarlanmış Gezegenlere bakmaya başladı ve bu çabalar sonunda GeoMIP programının yapısal karşılaştırmalarına yol açtı. Stratosferi bozma fikrinden korkan ancak Crutzen'in kısmi oluruyla merakları uyanan bazı atmosfer kimyacıları, jeomühendisliğin ozona olası etkileriyle ilgilenmeye başladılar. Volkanologlar uzmanlıklarını patlamalardan sonra olacaklarla birleştirdi. Kurumlar, konuyla ilgili toplantılara ihtiyatlı bir şekilde ev sahipliği yapmaya başladı.²⁵

²⁵ NASA Ames Araştırma Merkezi, Livermore körfezinin karşısında ve Stanford'dan fazla uzakta değildir. Söz konusu toplantıların ilklerinden biri,

O sıralarda, Bill Gates de alanın deneyimli babası rolünü üstlendi. Gates, hayatındaki her şeyin Microsoft olmadığı bir döneme girmeye başladığında, zeki, ufku geniş uzmanların gelip kendisiyle konuşmasını sağlayarak ilgi duyduğu konular hakkında bilgi edinmeye başlamıştı. Böylece hem Keith hem de Caldeira iklim ve enerji konularında ona danışmanlık yapmaya başladı. İkisi de jeomühendislikle ilgilendiği için konu gündeme geldi ve Gates fikri ilginç buldu. Bu tür araştırmalara yönelik devlet fonu olmadığını öğrenen Gates ve Microsoft'tan bazı eski arkadaşları, ticari yatırım için kullanılamayan, Keith ve Caldeira'nın hibe aldıkları fonu kurdular. Keith ve Caldeira, kendi çalışmalarıyla bu alanın lideri olabilirlerdi ama bu fonun da ellerinin altında olması şüphesiz onlara ayrı bir güç kattı. Fon, aksi takdirde desteklenmeyecek işlerin desteklenmesine ve gerçekleştirilmeyecek tartışmaların gerçekleşmesine imkan sağladı.

2008 yılına gelindiğinde, Caldeira ve Keith'in çevresinde, gazeteci Eli Kintisch'in "jeoklik" dediği şey oluşmaya başlamıştı. Konuya yönelik, sayıları giderek artan konferanslarda bu kliğin alt bileşenleri ortaya çıkacaktı. En etkili olanı, *Royal Society*'nin 2009 raporu "İklim Jeomühendisliği: Bilim, Yönetim ve Belirsizlik" de dahil olmak üzere ilgili raporların yazarları arasında genellikle Keith, Caldeira ve kliğin diğer bazı üyeleri

Caldeira'nın şu anda çalıştığı Ames'te yapılmış ve bu konferansta ilgili literatüre yeni ve görgüsüz bir terim eklenmişti. Bu toplantının iznini, Ames'in o zamanki direktörü, Yıldız Savaşları Programı'nda Teller ve Wood ile birlikte çalışmış eski bir Hava Kuvvetleri generali olan Pete Worden vermişti. Toplantı, benzer bir provokatif teknolojik yüreklendirme eğilimini, daha gerçekçi olan, büyük bir bürokrasiden ne koparabilirseniz iyidir anlayışla birleştirmişti. Fakat onun altındaki bürokratlar, "jeomühendislik" ve "NASA" kelimelerinin özellikle konferans başlığında ilişkilendirilmesini istemediler. Konferansı organize edenlerin birisi olan Caldeira, bürokratların bu endişesini duyunca, "jeomühendislik" yerine, yarı şaka ve olabilecek en sıkıcı idari laf cambazlığı olarak "solar radyasyon yönetimi" gibi bir şey yazabileceklerini söyledi. SRM harfleriyle kısaltılan bu terim yapışıp kaldı ve literatüre yayıldı. Bu terimden hiç hoşlanmıyorum. Dünya Uzay Gemisi'nin bir odasından dışarı çıkmış bir vananın altında bulacağınız bir klişeye benziyor. Dünya hakkında hiçbir şey söylemiyor.

oluyordu. Klik, iklimbilimcilerle sınırlı değildi; mühendisler, sosyal bilimciler, politikacılar ve gazeteciler de vardı. *Science* dergisi muhabiri Kintisch'in yanı sıra *Rolling Stone* muhabiri Jeff Goodell ve ben de vardık.²⁶

O sıralarda üç veya daha fazla jeomühendislik konferansında gördüğüm insanları bu kliğin bir üyesi olarak görürüm. Bu şekilde tanımlandığında görüşlerinde bir ittifak yoktu. GeoMIP'in liderlerinden Alan Robock, stratosferik perdelelerin umut veren bir müdahale şekli olduğu fikrine kararlı bir şüpheyile yaklaşıyordu. İklim jeomühendisliği üzerine yazdığı makalelerden en çok okunanının adı "Jeomühendisliğin Kötü Bir Fikir Olabileceğinin Yirmi Nedeni" idi. İlk kez Kopenhag konferansında tanıştığım Avustralyalı filozof ve kamu entelektüeli Clive Hamilton, jeomühendislik tartışmalarında yaygın olarak gördüğü kibirli ve tutucu siyaset ile insan merkeziliğe karşı derin bir kuşku duyuyordu. Amerika'nın önde gelen meteoroloji tarihçisi James Fleming'e, ordu ve başkalarının daha önce denediği hava ve iklim değiştirme çalışmalarının, bu tartışmalarda ne kadar az dikkate alındığına işaret ediyordu ve onun, bu çalışmaların, tarihi unutanlar onu tekrar etmeye mahkûmdur kapsamına girdiği düşüncesine itimat edilebilirdi. Klik içindeki tartışmalar çoğunlukla dostçaydı ancak uzun süredir devam eden anlaşmazlıkların bazen sıkıcı bir şekilde tekrar edilmesi veya harbi gazezlerin ara sıra izhar edilmesi hiç olmuyor değildi.

Bu tartışmalara katılan insan sayısı, jeokliğin ilk günlerinden bu yana istikrarlı bir şekilde büyüdü. Jeomühendislik araştırmaları üzerine, 2014 yazında Berlin'de düzenlenen ilk uluslararası akademik konferansa yaklaşık dört yüz kişi katılmıştı.²⁷ GeoMIP, kariyerlerinin erken döneminde doğa bilimleri

26 Kintisch'in *Hack the Planet* ve Goodell'in *How to Cool the Planet* adlı kitapları 2011'de çıktı.

27 Kamuoyu açıklaması: Bu konferansın danışma kurulundaydım ve bildirilerin bazı bölümlerine başkanlık ettim.

çalışmış bir grup araştırmacı getirdi. Ancak ilgideki artışın büyük kısmı sosyal ve beşeri bilimlerde olmuştu. Berlin konferansına gönderilen makalelerin çoğu donanım değil, hukuk üzerineydi.

Tartışmadaki anafikirler, (halen az çok devam eden) büyüme boyunca, pek fazla değişmedi. Özellikle iyi işlenen argümanlardan biri, iklim jeomühendisliği hakkında konuşmanın, sorunun çözümü hakkında ters bir etkiye yol açacağı endişesidir ve bu, geçmişte uyum çabalarının marjinalleşmesine yardım eden şeyle ilgili endişenin aynısıdır. Bu şey genellikle “ahlaki tehlike” problemi olarak adlandırılır. Ekonomide, bir sigorta poliçesinin ahlaki tehlikesi, sigortalıyı daha fazla risk almaya teşvik etme derecesidir. Sübvansiyonlu sel sigortası, bu nedenle, insanları taşkın ovaları üzerine kayıtsızca inşaat yapmaya teşvik eder; benzer şekilde, işler ters gittiğinde bankaların kurtarılma şansının çok yüksek olduğu bilgisi, bankacıları kendi çıkarları için daha fazla risk almaya yönlendirir.

Jeomühendislikte “ahlaki tehlike”, soğutma teknolojilerinin gerçek bir imkan olarak görülmesi durumunda, insanların karbondioksit emisyonlarını azaltmak için daha az çaba harcamalarıdır. Bu endişe, açıkça, Amerikan sağının bir gecede, iklim konusunda hiçbir şey yapmama konumundan, sadece bir tür acil jeomühendislik programı yoluyla hareket etme konumuna geçtiği, inatçı “süper kaçık dönüş” kabusuyla bağlantılıdır. Ancak ahlaki tehlike bundan daha geniş bir konudur. Süper kaçık dönüş, jeomühendislik için yeni bir istek olmasını bekler; halbuki ahlaki tehlike endişesi, jeomühendislik için bir istek gerektirmez, sırf jeomühendisliğin bir seçenek olduğu düşüncesi, emisyonların azaltılmasında gevşeme meydana getirir. İnsanlar işe yarayabilecek bir B planının olduğuna inandığında, A planını daha gevşek takip ederler.

Endişe edilen bu tehlikenin, kısa vadede gerçekleşmesi pek olası görünmüyor. Poliçe hedeflerinin aksine, hafifletmeye yöne-

lik A planını yönlendiren siyasi saikler, kendilerini yeşil olarak tanımlayan seçmenleri ve yenilenebilir enerji donanımı üreten şirketlerin lobilerini memnun etmektedir. İklim jeomühendisliği bunların hiçbirini yapmaz ve bu, mevcut “inanılmaz ekonomisini” tartışmalı hale getiren bir gerçektir çünkü önerilen seçenek seçmenlerin istediği cevap değilse, ucuz olmasının bir önemi olmaz. George W. Bush yönetiminin, Kyoto Protokolü’nü reddettiği sıralarda, kendi enerji bakanlığının hazırladığı, jeomühendisliğin olası ve ucuz bir seçenek olduğu hakkındaki raporu sessizce sümen altı ettiğini belirtmekte fayda var; çünkü o zaman böyle bir raporu ortaya çıkarmak, hükümetin istediğinden çok daha fazla çılgınca görünecekti; yeşil görüşü, neden daha fazla tahrik etsinlerdi ki? Hafifletme peşinde olmayan bir hükümet, jeomühendisliği kamuoyu önünde tartışmaya cesaret edemiyorsa, bunu diğeri içinde yapamaz. Ben bu kitabı yazarken jeomühendislik araştırmalarına en çok para harcayan ülke, iklim jeomühendisliğine, doğa bilimleri, sosyal bilimler ve politik ihtiyaçların farklı yaklaşımlarıyla bakan, çok sayıda iyi finanse edilmiş disiplinlerarası projeye sahip olan Almanya’ydı. Almanya aynı zamanda fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişte dünyanın en iddialı stratejisi olan *Energiewende*’ye de ev sahipliği yapıyordu.

Şu anda politik olarak uygun görülme bile ahlaki tehlike noktası ciddiye alınmalıdır. İklim jeomühendisliğinin iklim politikasında artan rolü, diğer unsurların değişmemesi durumunda, emisyonların azaltılması için baskıyı azaltacaktır. Bunun ille de olumsuz olması gerekmez. Ahlaki tehlikenin bir sorun olması için, teşvik ettiği davranışın aslında kötü bir şey olduğunu göstermeniz gerekir. Dolayısıyla, iklim jeomühendisliği araştırmaları ancak iklim değişikliği risklerini azaltmada kendi ilerlemesini sağlamadan hafifletme eylemini azaltırsa gerçek bir ahlaki tehlike oluşturur. Jeomühendislik araştırmaları, ısınmayı, yeterince güvenli ve adil bir şekilde yavaşlatmanın bir yolunu bularak işe yarıyorsa,

hafifletmeye duyulan ilginin azalması rasyonel ve ahlaki bakımdan haklı olabilir.

Ne yazık ki, jeomühendislik konusunu düşünen birçok insan, aksine, sadece acil durumlarda kullanın diyerek ahlaki tehlikeyi artıracak şekilde konuşmuş oluyor. Bir Amerikan düşünce kuruluşu olan Novim'in 2008 raporu, iklim jeomühendisliğini, "iklimsel acil durumlarda" olası bir cevap olarak kısıtlamıştı. Buradaki anafikir, "normal" iklim değişikliğine doğru tepkinin karbondioksit emisyonlarının azaltılması olduğu ancak bu azaltmaların üzerinde ve ötesinde daha hızlı bir cevap gerektiren iklimsel acil durumlarla karşılaşma riski, örneğin, kutuplardaki kalıcı buzdan sızan metan ya da okyanus akıntılarının yeniden düzenlenmesi veya çöken bir buz tabakası nedeniyle, güneş ışığı jeomühendisliği tekniklerine yönelik araştırmalara ihtiyaç duyulduğuydu. Benzer bir düşünce tarzı, bir yıl sonra yayımlanan etkili *Royal Society* raporunda ve ondan iki yıl sonra yayımlanan *US Bipartisan Policy Center* raporunda da görülebilir.²⁸

Yalnızca acil durumlarda kullanma fikrinin çeşitli çekici yönleri vardır, özellikle iklim eyleminin önünde bir engel veya süper kaçık dönüşe izin veren birisi olarak görülmeden jeomühendislik okumak isteyen bir araştırmacıysanız. Bu fikir, güneş enerjisi jeomühendisliğinin, iklimi, bir volkanik patlama gibi, birkaç ay içinde soğutmaya başlayabileceğine, buna karşın emisyonların azaltılmasının kayda değer bir şey yapmasının birkaç on yıl süreceğine dikkat çekerken acil bir durum olmadığında bu tür hafifletmelerin öncelikli olduğunu söyler.

İklim jeomühendisliğini, şu anda gerekli olmayan son bir çare olarak ele almak, araştırmacıların, konuyla ilgili çalışmalarına devam ederken bunların pratik kullanımı konusundaki şüp-

28 Üç toplantıya katılma tanımına göre, bu üç raporun her birinin yazarlarının en az yarısı jeoklik üyesiydi; Keith ve Caldeira bu raporların üçüne de katkıda bulundu.

helerini kaydetmelerine imkan tanır; adil ve uygun bir şekilde nasıl hayata geçirileceklerine dair tartışmalara girmek zorunda kalmaktan kurtarır. Bu, Plan-A/Plan-B yaklaşımının oldukça güçlü bir versiyonudur; Plan-B'nin, sadece baştan daha az cazip gelen bir plan olarak tanımlanmadığı, aslında aynı zamanda bir camın altına kapatıldığı bir yaklaşımdır.

Bana göre, bu yaklaşımın ahlaki tehlikeyi körüklüyor olmasının nedeni, jeomühendisliğin gerçekten işe yarayabileceği yolları bulmak için çok çalışmaya yönlendirmek yerine, jeomühendislik hakkında konuşmaya yönelik yasaklardan kurtarıyor olmasıdır. İşe yarayabilecek yollar derken, sadece iklimsel faydaları nasıl sağlayabileceğini kastetmiyorum, bunu adil ve sorumlu bir şekilde nasıl yapabileceğini de kastediyorum. Benim düşüncem, jeomühendisliğin yol açtığı ahlaki tehlikelerin çoğunun önden deneyimlendiğidir. Bu tehlikeyi yaratan şey, jeomühendislik araştırmalarının olduğu gerçektir. Ancak tüm jeomühendislik araştırmaları, daha fazla riskin azaltılmasına aynı derecede uygun değildir. Riskin azaltılması, işe yarayabilecek yaklaşımlar ile kesinlikle yaramayacak yaklaşımları bulmaya –aslında tasarlamaya– bağlıdır. Ancak birçok jeomühendislik araştırması, bazı basitleştirilmiş senaryolara o ya da bu ölçüde doğal fenomenlermiş gibi, sözgelimi El Nino benzeri bir şey gibi bakar. Bunlar, jeomühendisliği daha iyi yapmanın yollarını bulmaya yardımcı olmaktan veya hangi yolların kesinlikle denenmemesi gerektiğini göstermekten ziyade, birkaç senaryoda olup bittiği gibi, insanların jeomühendislik hakkında daha fazla şey söylemesini sağlamak için tasarlanmıştır. Oysa geleceğin gerçekten hoş karşılayacağı şey, nasıl yapılmalı ya da yapılmamalı türünden bilgilerdir. Filozof Stephen Gardiner'in işaret ettiği gibi, işleri halen yapıldığı gibi yapmak, gelecek nesillerin kötü sonuçlarla karşılaşma riskini artırır zira araştırmalar, hafifletme zorunluluğunu azaltır, aynı zamanda onları, tartışılmış ancak denenmemiş jeomühendislik teknolojilerini

fiilen kullanmaktan kaynaklanacak tüm risklerle karşı karşıya bırakır çünkü araştırmalar bu riskleri anlamayı ve azaltmayı amaçlamamaktadır. Böylece gelecek daha iyi korunmak yerine iki kat daha riskli hale gelir.

İklim jeomühendisliğine Plan-B çerçevesinden bakmanın bir alternatifi var, bilimsel literatürde ilk kez, 1970'lerden beri alanın merkezinde yer alan Avustralyalı iklimbilimci Tom Wigley'nin ortaya attığı bir alternatif. Paul Crutzen'in makalesinden hemen sonra yayımlanan bir makalede Wigley, "nefes alma alanı" olarak adlandırılabilir yaklaşımın ana hatlarını çizdi. Bu yaklaşımda, ısınma hızı, iklim jeomühendisliği kullanarak yaklaşık elli yıl boyunca yavaşlatılır, böylece fosil yakıt kullanmayan ve bugünkünden çok daha fazla gelişmiş enerji teknolojilerinin oluşması ve uygulanması için belli bir zaman kazanılmış olur.

Makul bir süre içinde kullanılabilecek sistemler tasarlamaya çalışmak anlamına gelen nefes alma alanı, konuya sadece takip etmek anlamına gelen acil durum yaklaşımından çok daha radikal görünüyor. Ama birçok avantajı var. Acil durum yaklaşımı, iklim mühendisliğinin başlatıldığında hızlı bir şekilde ve tüm gücüyle uygulanmasını gerektirir çünkü ne yazık ki bu bir acil durumdur! Üstelik, iklim sistemi özellikle altüst olacak derecede istikrarsızlık gösterdiğinde devreye alınması gerekir ki bu, siyasi sistemin de altüst olacağı anlamına gelir. Panik halindeki bir kargaşa, dünyayı yeniden şekillendiren radikal bir teknolojiyi aceleyle kullanmak için pek de iyi bir ortam gibi görünmüyor. Oysa nefes alma alanı, çok daha az bir zorlama ve çok daha yavaş bir inşa süreciyle teknolojinin aşamalı olarak devreye girmesini sağlar.

Ayrıca, insanların baştan bir çıkış stratejisi planlamasına izin verir. Bu stratejilerden açık olan bir tanesi, bir gün emisyonlar aşağı yukarı sıfıra indiğinde, atmosferden karbondioksit çekmeye başlamak, perdeyi tıpkı inşa edildiği gibi yavaş ve kade-

meli olarak inceltmek olacaktır. Bu senkronizasyon, Budyko, Marchetti ve Dyson'ın ilk çalışmalarından bu yana "jeomühendislik" olarak birleştirilmiş olan ancak çoğu zaman çok az ortak noktası bulunan iki ayrı fikri yani güneş ışığı yaklaşımıyla karbon yaklaşımını birbirine bağlayacaktır.

Bu iki yaklaşım arasındaki ilişki, jeokliğin tekrar tekrar tartıştığı konulardan biridir. Karbondioksit yaklaşımları üzerinde çalışan bazı insanlar, jeomühendislik konusundaki tartışmaların çoğunun perde ve benzeri güneş ışığı yaklaşımlarıyla ilgili olduğu gerçeğine içerliyor (fikirlerinin bu kitabın ancak daha sonraki bir bölümünde ele alındığı gerçeği, onlarda böyle bir izlenim bırakabilir). Başka bir grup ise jeomühendislik teriminin normalde, örneğin karbon stoklarını artıran toprak yönetimi biçimlerine meraklı olan yeşilleri ürkütebileceği için, karbondioksit indiriminin ilk etapta jeomühendislik olarak ele alınmasına itiraz ediyor.

Nefes alma alanı senaryosu, iki yaklaşımın karşıt değil tamamlayıcı olduğunu gösteren bir senaryodur.²⁹ Ayrıca Plan-A/Plan-B ikilemini yumuşatmaktadır. Emisyonların azaltılması hâlâ birincil süreç olarak görüldüğünden onu baltalamaz. Ancak nefes alma alanı, güneş ışığı jeomühendisliğini, kaçınılması gereken veya başarısızlık durumunda aceleyle uygulanması gereken bir alternatif olmaktan ziyade hafifletmeye yardımcı bir yöntem haline getirir.

Ancak nefes alma alanı bana acil bir durum beklemekten daha mantıklı bir jeomühendislik yaklaşımı gibi gelse de, bazı sorunları daha akut hale getiriyor. Acil bir durum hiç oluşmayabilir; oysa nefes alma alanı, en azından bazı jeomühendisliklerin geleceğini telkin ediyor. Ve bu nedenle, bu sürecin nasıl yönetileceğine dair cevaplar bulmamızı gerektiriyor.

29 Oxford Üniversitesi'nde jeomühendislik çalışan Tim Kruger'in de belirttiği gibi, bu "inanılmaz ekonomi" fikrine yönelik bir başka darbe gibi görülebilir. Bir kalkan inşa etmeyi ve daha sonra bunu gerekli kılan sera gazlarını ortadan kaldırmayı tek bir süreç olarak düşünüyorsanız, iklim jeomühendisliği hiç de ucuz bir şey olmayacaktır.

Yukarıda gördüğümüz gibi, bütün bölgelerin daha iyi bir durumda olacağı iklim jeomühendisliği seviyelerinin mümkün olması makul bir düşüncedir. Ancak aynı araştırmalar, hemen hemen her jeomühendislik seviyesinin gezegendeki çoğu bölge için olabilecekleri en iyi durumun altında kalacağını da gösteriyor. Hepsi kazanacaktır ancak hepsi, sistem farklı bir şekilde uygulansa daha fazla kazanabilecekleri bir durumda olacaktır. Fakat daha fazla kazanmaları, en iyi ihtimalle, diğerlerinin daha az kazanmaları anlamına gelir ki bu, kaybetmek gibi hissettirebilir. Ve bazıları gerçekten mutlak anlamda kaybedebilir. Buna kim karar verecek? Ve nasıl sorumlu tutulacaklar?

Bu genellikle “termostat kimin elinde” olacak sorunu olarak adlandırılır ve neden böyle adlandırıldığını görebilirsiniz ancak bu benim hoşlandığım bir imaj değildir. Öncelikle, termostat düşüncesi, iklim üzerinde çok kesin ve tekdüze bir kontrolün sağlanabileceği ve dünyanın büsbütün kontrol altına alınabileceği gibi aşırı abartılı bir tasavvura yol açıyor. Daha temel bir nokta olarak ise, termostadı kontrol eden bir el imajı, tamamen bir kontrol mekanizması olarak görülen teknolojinin gelişimini, onu kullanan ajandan ayırıyor ki bu, örtülü bir şekilde, insanların bu eli, dünyadaki ulus devletler gibi kendi başına hareket etme izni olan mevcut bir dizi kurumdan birisi gibi görmesini sağlıyor.

Jeomühendisliğin ortaya çıkışı böyle olabilir yani bazı siyasi prosedürler veya güç kullanımıyla ele geçirilecek hatta belki de uğruna savaşılabacak bir kurum tarafından yönetilecek tamamen araçsal yollarla geliştirilen bir teknoloji olabilir. Ancak, karar verme süreçlerinin, bu kararları uygulama teknolojileriyle birlikte büyümesi, birbirini etkileyen bu iki sürecin açtığı imkanlarla birlikte büyümesi çok daha iyidir. Jeomühendisliği, siyasetten kaçınarak teknokratik bir yolla ele almaktansa, yeni politikalar oluşturma bir yolu olarak kullanmak çok daha iyidir. Jeomühendislikteki potansiyeli araştırmak, küresel kararlar almanın yeni bir yolunu teşvik edip şekillen-

direbilir. Amaç sadece bir termostat geliştirmek değil, bu termostatı kullanacak yeni bir el geliştirmek olmalıdır. Yerküre sistemini hareket ettirebilecek kaldıraçların baskı ve taleplerini karşılayan, beşeri dñyanın kurum ve beklentilerine uygun bir dayanak noktası oluşturmak olmalıdır.

Sınırları Genişletmek

2010 yılında Meksika, Cancun’da yapılan UNFCCC müzakerelerinde, dünya uluslarının, bir önceki yıl Kopenhag konferansında bir avuç büyük güç tarafından kabataslak ve yetersiz bir şeklinde hazırlanan Kopenhag Antlaşması’nı imzalamasını izledim. Bu anlaşmayı onaylayarak, iklim değişikliğini, sanayileşme öncesi ortalamanın iki santigrat derece üzerinde sınırlamayı resmen taahhüt etmiş oldular. İki derece sınırı, muhtelif siyasilere, bir önceki iklim değişimi hızını sınırlama fikrine bir alternatif olarak benimsediği 1990’lardan beri çok tartıldı. Bu sağlam bilimsel kökleri olan bir sınır değildir. İki dereceden az bir değişiklik, bazı yerlere ve bazı türlere felaket getirebilir. Öte yandan, iki derecelik bir değişikliğin mutlaka veya küresel bir felaket olması da gerekmez; aşırı güçlölklere yol açmayan bir adaptasyon kapsamında kalabilir. Her zaman olduğu gibi, birçok belirsizlik vardır. Ancak sürecin üstüne bina edildiği şey bu iki derece sınırıdır.

Yerküre sisteminin sera gazlarına karşı iklimbilimcilerin inandığından daha az duyarlı olduğu ortaya çıkarsa, bu sınır geçilmeyebilir. Eğer öyle olursa, bu iyi bir tahmin değil, iyi bir şans meselesi olacaktır. Birçok ülkenin, 2015 sonunda Paris’te yapılacak bir sonraki büyük toplantının arifesinde UNFCCC’ye sunduğu emisyon azaltma hedefi –zorunlu olmayan ve kesinlikle karşılanma ihtimalleri çok düşük olan hedefler– iklimsel duyarlılıkla ilgili çoğu varsayıma göre böyle bir sonucu olası kılmak için çok yetersizdir. Sonuçta, iklim değişikliği alanındaki seçkin kişilerin iki derece hedefine basitçe

ulaşılamayacağını söylediğini duymak giderek daha yaygın hale geliyor. Bazıları bunu gerçekçilik olarak, bazıları ise umutsuzluk olarak görüyor.

Ben bunun doğru olduğunu düşünmüyorum. Nefes alma alanı senaryosunda, nispeten mütevazı bir iklim jeomühendisliği –çok daha uzun ömürlü olmasına rağmen Pinatubo’nunkinden çok daha ince bir perde– bu yüzyılın büyük bir bölümü için ve belki de, nihai emisyon azaltma oranına ve iklimsel duyarlılığa bağlı olarak çok daha uzun bir süre için küresel sıcaklık artışını iki santigrat derecenin oldukça altında tutma şansına sahip olacaktır.

İki derece sınırını ciddiye aldığınız halde solar jeomühendislikle çalışan bir çözümünüz yoksa, karbon tabanlı bir jeomühendislik düşünüyor olmanız gerekir. En son IPCC raporu için çalıştırılan bilgisayar modellerinin yarısı, iklim, iki derece sınırının altında tutulacaksa, emisyonların 2100 yılına kadar negatife dönmesi gerektiğini söylüyor. Yani insanlar havaya yeni karbondioksit salmak şöyle dursun mevcut olanı çekmek zorunda kalıyor.

Dolayısıyla, iki derece sınırı konusunda gerçekten ciddiysek, jeomühendisliğin şu veya bu biçiminin gerçek bir olasılık olarak ele alınması gerekir. Risklerin, maliyetlerin, politikaların ve uygulanabilirliklerin, iklim değişikliğinde emisyon azaltma ve uyumdan daha fazlasının olduğunu kabul eden bir süreç içinde tartışılması gerekiyor. Bu büyük bir değişim olur. Mevcut iklim değişikliği tartışmalarının, katılım bakımından olmasa da kapsam bakımından küçük olması, bu zorluğu daha da büyütüyor. 1990’larda başlayan UNFCCC süreci, bir toplantıdan ötekine, Kopenhag’dan Cancun ve Paris’e düşe kalkan ilerledi; özünü, kendi prosedür ve ayrıntılarına kaptırdı; ilgili hükümetlerde gerçek güce sahip olanlar tarafından büyük ölçüde görmezden gelindi. Başından beri çeşitli aksaklıklara uğramış olsa da, bu süreci takip etmeyen birçok kişinin zan-

nettiğinden daha büyük bir saygıya layıktır. Ancak bu görev için yeterli değildir.

Yeterli olsaydı harika olurdu. İnsanların bugün iklime yaptıklarının daha önce bir benzeri hiç olmadı. Bunun etkileri yüzyıllarca hatta binyıllarca sürecek. İnsan bu sorunun, birkaç yıl içinde oluşturulan ve iklimsel endişelere pek de aşına olmayan küresel bir siyasi sistem tarafından yasalaştırılan bir dizi politikayla yeterince iyi ele alınacağına neden inansın ki? İnsanların geçmişte iklim değişikliği hakkında ne kadar farklı düşündüklerinin, bunu, dünyanın değişen ahlaki düzeninin bir parçası olarak, okyanusların pinpon toplarıyla kaplanması yoluyla halledilebilecek bir şey olarak, endüstriyel uygarlığın toptan yeniden tasarlanması gerektiğini düşündüren bir şey olarak gördüklerinin farkında olmak, bu görüşlerden herhangi birinin doğru olduğunu söylemek değildir. Birkaç yüzyıl boyunca, bütün bu görüşlerin ve daha fazlasının ifade edildiğini ve hissedildiğini söylemektir. Bu görüş çeşitliliğine baktıktan sonra hâlâ 1990'ların başında siyasi eylem için bir temel oluşturmaya çalışın insanların iklim değişikliğiyle başa çıkma yolunu, gelecek yüzyıllar için de tek doğru yol olarak görmek, Roger Revelle, Percival Lowell, Ferdinand de Lesseps ve Thomas Jefferson dönemleri ne kadar geçmişte kalmışsa o kadar uzak bir gelecekte de aşağı yukarı aynı yolu takip etmek budalalık gibi geliyor.

Bu temelde, iklim değişikliğine karşı beşeri tepkinin bir parçası olarak jeomühendisliğin daha iddialı ve daha geniş kapsamlı bir şekilde tartışılmasının hayati önemi haiz bir konu olduğunu düşünüyorum. İklimi bilinçli bir şekilde değiştirecek sistemler tasarlamak elbette mümkündür ve uluslararası müzakereler bu gerçeği kabul etmelidir. Bu tür tekniklerin en iyi nasıl kullanılabileceğini araştırmak, sonuçta hiçbir mühendislik planı uygulamaya geçmese bile yararlı hatta dönüştürücü bir genişleme olacaktır. Dwight Eisenhower, "Ne zaman çözemeyeceğim bir problemle karşılaşsam, onu

hep daha da büyütürüm. Problemi küçültmeye çalışarak asla çözemem ama yeterince büyütürsem bir çözümün ana hatlarını görmeye başlayabilirim,” demişti. İklim jeomühendisliği, Wigley’in nefes alma alanının bir kısmını sağlamak için hiç kullanılmasa bile bunun üzerinde durmak, mevcut tartışmaların yetersizliğini netleştirmeye yardımcı olabilir ve ileriye dönük yeni yollar bulmak için bir istek oluşturabilir. Bu tür tartışmalar, onu kullanan elin –eğer kullanılırsa– inşasının başlayabileceği yerlerdir.

Mevcut fikirlerin çeşitliliğini artırmak ve ilgili düşünür havuzunu derinleştirmek sadece iklim politikasını iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda jeomühendislik tartışmalarını da geliştirecektir. İklim jeomühendisliği halen çok küçük bir alandır. Finansmanı sağlanmış çok az program vardır. Dünyanın hiçbir yerinde neredeyse hiçbir kıdemli araştırmacı zamanının çoğunu bu konuya ayırmaz. Önde gelenlerin bir kısmı emekli olmuştur. Kavramsal olarak da küçüktür. Yeni fikirler oldukça nadirdir ve yayımlanan birçok araştırma en iyi ihtimalle küçük katkılar sağlamıştır. Bu kadar sıradışı bir konudan bahsetmek konuşmacıları muhafazakar bir tarzda konuşmak zorunda bıraksa da, hâlâ pek çok kişinin tam bir çılgınlık olarak gördüğü bir alan, oldukça sıkıcı gelebilir.

2014 Berlin toplantısı gibi toplantılara katılan insanlar, jeomühendisliğin uygulanıp uygulanmayacağı konusunda çok endişeleniyorlar ve bu haklı bir endişedir. Ancak bunu, insanların jeomühendisliğin ne yapacağını (çoğunlukla GeoMIP senaryolarından birine benzeyen bir sonucun ortaya çıkacağı düşünülüyor) ve neden yapıldığını (iklimi kontrol altına almak ve değişmesini durdurmak için) bildiğini varsayan bir çerçevede yapıyorlar. Her yerde, belirli jeomühendislik senaryolarında ortaya çıkan, “aşırı soğuma” veya sonlandırma şoku gibi problemlerin, jeomühendisliğin özü olarak kabul edildiğini görüyorsunuz.

Jeomühendislik hakkında, henüz elde edilememiş bir şey olarak konuşmak yerine, ne olduğuna çoktan karar verilmiş bir şey olarak konuşmak gibi bir hataya hem doğa bilimcileri hem de sosyal bilimciler yatkındırlar. Bu tartışmalara katılan herkesin o ya da bu ölçüde paylaştığını söylediği bir hedef olarak jeomühendislikle ilgili tartışmaları genişletmek, jeomühendisliği yeniden tasavvur etmekten ziyade, şu anda anlaşıldığı haline daha fazla ve daha başka uzmanları dahil etmek meselesi olarak ele alınıyor. Bu durum, rahatsız edici bir şekilde, tepetaklak bir piramit yani zar zor genişleyen bir doğa bilimi temeli ile olası uygulama biçimlerine ilişkin sabit bir görüşler dizisinin istikrarsız bir dengesi üzerinde duran, geniş politik spekülasyon ve sosyal mülahazalar yığını inşa etmek gibi hissettiriyor.

Tartışmayı genişletmenin etkin bir yolu, tartışılacak başka ve farklı biçimler bulmak ve bu tartışmaları gerçek olası eylemler bağlamında yani termostatlarla birlikte eller bağlamında da yapmaktır. Jeomühendislik seçeneklerini, iklim politikası üzerine yapılan daha geniş tartışmalara dahil etmek bu konuda yardımcı olabilir. Bunu, önerilen mühendislik tekniklerinin gerçek dünyadaki etkilerini ölçmek üzere tasarlanan deneylerden elde edilen veriler de yapabilir.

Bu, David Keith'in üzerinde çalıştığı bir şeydir. O ve 1980'lerde Antarktika'daki ozon deliğine yapılan U-2 uçuşlarını izleyen arkadaşı ve hocası James Anderson, 2013'ten beri, muhtelif bileşikleri stratosfere eser miktarda püskürtüp sonraki günlerde oluşan kimyasal etkileri ölçerek, olası aerosol perdelerinin ozon üzerindeki etkilerini araştırıyorlar. Buradaki fikir, yalnızca belirli bir tür perdeleme aerosolünün etkilerinin ne olabileceğini ölçmek değil, aynı zamanda hangi süreçlerin devam ettiğini ve dolayısıyla bir perdeleme programının oluşturacağı zararın nasıl azaltılabileceğini veya aslında, kullanılan aerosollerin boyut dağılımını, enjeksiyon yüksekliğini veya bileşimini düzenleyerek zararın toptan nasıl ortadan

kaldırılabilirliğini çalışmaktır. Bu, bir “jeomühendisliğin ne yaptığını bulma” girişimi değildir; insanlar nasıl bir jeomühendislik olabileceğine karar vermek isterlerse ihtiyaç duyacakları bilginin bir kısmını üretme girişimidir.

Bu iki genişleme yani tartışma için yeni ortamlar ve buralarda tartışılacak yeni veriler birbiriyle bağlantılıdır. Keith’in önerdiği türden bir jeomühendislik odaklı saha çalışması yapmak veya diğer insanların baktığı bulut beyazlatma deneyleri –ki buna onuncu bölümde geleceğiz– bu tür çalışmaları tartışmak ve onaylamak için prosedürler geliştirmeyi gerektirir. Dolayısıyla bunlara benzer saha denemeleri, böyle bilgilerin nihai amacının ne olabileceğine ve en iyi şekilde nasıl kullanılabileceğine dair daha geniş bir kurumsal tartışmayı teşvik edecek ve ortam sağlayacaktır.

Gerçek bir jeomühendislik programının ne olacağı ve bunu uygulamanın ne anlama geleceği değiştirilemez şeyler değildir. Jeomühendislik yapılabilecek birçok yol vardır ve çok sayıda hedefe yönelik olabilir. Tabii ki acil bir duruma müdahale etmek için kullanılabilir ama aynı zamanda nefes alma alanı için bir kaynak veya başka bir eyleme karşı dengeleyici bir unsur ya da değişim hızını sınırlayan bir şey de olabilir. Olası senaryo yelpazesini genişletmek, hangi etkilerin elde edilebileceği, hangi yan etkilerin önlenebileceği, hangi ek faydaların tasarlanabileceği, hangi yasal kısıtlamaların halihazırda uygulandığını, hangilerinin uygulanması gerektiğini, hangi siyasi bağlamların meşruiyet sağlayabileceğini, hangi engellerin aşılmaz olduğunu, hangi risklerin kabul edilemez olduğunu ve araştırmanın sorumlu bir şekilde nasıl yönetilebileceğini bulmayı amaçlayan araştırmalarla el ele gidebilir ve gitmelidir.

Jeomühendislik tartışmasını ana akım iklim politikalarına sokmanın güzel bir sonucu, böyle bir genişleme olacaktır. Fakat beklenebilecek tek sonuç bu değildir. Her zaman olduğu gibi, bir süper kaçık dönüş korkusu vardır. Bu dönüş bir kez

gerçekleşirse, jeomühendislik fikri o kadar çekici hale gelir ki, şehirdeki tek oyun olarak hiç eleştirilmeden takip edilecektir. Bununla yakından ilişkili (ve bence çok daha muhtemel) olan bir başka endişe kaynağı, jeomühendisliğin kutuplaştırıcı olmasıdır. Bu, iklim politikalarında üzerinde anlaşmaya varılmamış birçok konudan biri ve çıkmazın bir başka payandasıdır. Bu, konu hakkında yeni düşünceler doğurması veya iklim politikasında yeni yollar açması pek muhtemel olmayan bir sonuçtur.

Söz konusu çıkmazdan uzaklaşmanın bir yolu, jeomühendislik tartışmasını genişletme sürecini, jeomühendislikten bir kontrol mekanizması olarak söz etmekten kurtulmak için kullanmaktır. Jeomühendislikten bir kontrol mekanizması olarak bahsetmek, öncelikle, gerçekçi değildir. Terimin normal herhangi bir anlamında kontrol, en azından şu an için, mümkün değildir. Jeomühendisler ister güneş ışığı ister karbon yoluyla olsun, ortalama iklimi ve sistemin içinde kalmak istediği sınırları, bir dereceye kadar tahmin edilebilir şekilde etkilemenin yollarını tasarlamaktan çok daha fazlasını bekleyemezler. Bu gerçekleşse, dikkate değer bir başarı olurdu ancak bir kontrol olmazdı.

Jeomühendisliğin gerçekte iklimi kontrol edemediği gerçeği bazen kendisine karşı bir argüman olarak kullanılır. Ancak bu yetersizlik, yalnızca amacın kontrol etmek olduğu kabul edilirse bir başarısızlık olarak görülebilir. Bence bunu bir başarısızlık olarak görmemelisiniz. Teknokratların kontrol özlemi, yüzyıllardır bilimin ve uygulamalarının içindedir. Bu özlem, sosyoloji, psikoloji ve biyolojinin sınırları hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Söz konusu uygulamaların birçoğunda, bunun, yanlış, ulaşılamaz veya hem yanlış hem de ulaşılamaz bir özlem olduğu ortaya çıkmıştır. Bazı uygulamaları çok zararlı olmuştur. İnsanların genetik yapılarını ya da ulusların ırki saflığını kontrol etme girişimlerini bir kenara bırakırsak, yirminci yüzyılın başlarında gerek bilimi yönetenler gerekse

biyologlar arasında duyulan “insan mühendisliğini” beşeri özgürlüğe saygıyla örtüştürmek çok zordur.

Kontrol etmekten daha iyi şeyler vardır. Benim için bunların en başında bakmak geliyor. Fransız düşünür Bruno Latour, Mary Shelley’nin *Frankenstein*’ı Tambora’nın karanlık gölgesinde yazılmış ve hatırlatmak gerekirse alt başlığı “Modern Prometheus” olan bir roman- üzerine yazdığı bir denemede, Victor Frankenstein’ın suçunun, ortaya, garip ve tanrısız bir yaratık çıkarmak olmadığını fakat onunla ilgilenmesi, kendi canavarını sevmesi gerekirken onu terk etmesi olduğunu söyler. Aynı şey, insanoğlunun yarattığı teknolojiyle dönüşen yerküre sistemi için de söylenebilir. Bunları yapmak ne kadar cazip gelirse gelsin, değişmiş bu sistemi reddetmemek ya da yüz çevirmemek gerekiyor; o burada ve bakılması gerekiyor. Reddetmek yerine, içinde yaşayanlar için, onun bir parçası olan canlılar için, kendisi, büyük ve harika ama yaralı bir şey olduğu için onunla ilgilenin. Jeomühendislik böyle bir bakım için bir araç olabilir.

İklimi kontrol etmek yerine, insanlarla ilgilenmek adına sunduğu imkanlara odaklanan bir jeomühendislik yaklaşımı daha iyi, daha akli başında ve daha üretken bir şey olacaktır. Pek çokları tarafından memnuniyetle karşılanacak kadar çekici olan ütöpik bir saik, küresel bir onay olmadan da devam edebilecek kadar sağlam ve geçici olabilir. Yerküre sistemini kontrol etmek isteyenler, hem kontrolü farklı şekilde yapmak isteyenlerle hem de kimsenin kendi üzerlerinde bir kontrol sahibi olmasını istemeyenlerle çatışmaya hazırdır. Halbuki, bir bakıma ihtiyaç olduğu düşüncesine katılmayan insanlar, başkalarının bunu yapmasını engellemek istemeyebilir.

Jeomühendisliği iklim tartışmalarının daha büyük bir parçası haline getirmek ve kullanım ihtimalini ciddiye almak, kulağa zor, tehlikeli ve çoğu kişi için tatsız geliyor. Bazılarının daima bir zorbalık olarak görmek istediği şeyi normalleştiriyor. Bu

tür şeylerin tartışıldığı bir dünya, daha az doğal olan ve bir daha eski haline döndürülemez bir dünyadır. Böyle bir dünya, yalnızca beşeri eylemlerle bozulmamış, aynı zamanda beşeri bir tasarıma göre bilinçli bir şekilde yeniden şekillendirilmiş ve eğer beşeri arzular değişirse başka değişikliklere de tabi olacak bir yerküre sistemi üzerine oturacaktır. Bu çok büyük bir değişiktir.

Oysa bu tür büyük değişiklikler, daha önce benzeri görülmemiş şeyler değildir. İnsanlar iklimi kasıtlı olarak değiştirmeye henüz başlamamış olabilirler ancak zihinlerini yerküre sisteminin diğer kısımlarını değiştirmeye adanmışlardır. Gezegenin metabolizmasındaki büyük döngüleri yani yaşam için gerekli olan karbon, nitrojen, kükürt ve diğer hayati elementleri yöneten sistemleri, bir asır önce hayal bile edilemeyen ve birçok insanın hâlâ farkında olmadığı bir derecede yönlendiriyoruz. Askeri yeteneklerimizi genişleterek, içinde yaşadığımız dünyaya kıyamet benzeri bir son ihtimali sunuyoruz. Bu değişikliklerden bazılarının başlı başına jeomühendislik biçimleri olduğunu düşünüyorum fakat çok az insan onları böyle görüyor. Diğerleri de bana, nasıl bir jeomühendislik olabileceği sorusunda çok önemli bir bağlam gibi görünüyor. Böyle bir şeyin mühendislerinin kim olabileceğini ve nasıl bir bakım yapabileceklerini hayal etmenize izin veriyorlar.

Bu kitabın sonunda iklim jeomühendisliğinin imkanlarına ve bunların siyasete entegrasyonuna geri döneceğiz. Ancak bundan önce şimdi, böyle bir olasılığa ilişkin daha zengin ve daha kapsamlı bir görüşe sahip olmak adına, insanoğlunun yerküre sisteminde halihazırda yapmış olduğu bazı müdahalelere bakmamız gerekiyor.

II



MADDELER

AZOT

Bundan böyle atmosferden yaşam döngüsüne giderek artan miktarlarda sentetik azot bileşikleri katılacağı hususunda pek bir şüphe yoktur...

Bu olağanüstü gelişme, temel ve yeni bir endüstriyel hareketten çok daha fazlasıdır. Bu, insanlık tarihinde yeni bir etnolojik çağın, yeni bir kozmik dönemin başlangıcından başka bir şey değildir.

İnsanoğlu, on yıl gibi kısa bir süre içinde –jeolojik ölçekte konuşursak bir anda– kelimenin tam anlamıyla kozmik süreçlerle kıyaslanabilecek büyüklükte dönüşümler başlatmıştır.

Alfred Lotka, *Elements of Physical Biology* (1925)

Yerküre sistemine yapılan en çarpıcı bilinçli insan müdahalesi ve hatta iklim dışı bir jeomühendislik biçimi olarak görülmeye en uygun pratik bile yücelikle ilgili neredeyse hiçbir işaret taşımaz. Hayranlık uyandıran volkanlar, havalı stratosferik jetler ya da korkutucu sembolist günbatımları yoktur; sadece gübre torbaları vardır. Ancak gübre yapma becerisi ile çeşitli ulusların ve küresel ilginin özenle beslediği bu çığır açıcı teknoloji, beşeri dünyanın boyutunu ve şeklini tarımın ve fosil yakıt kullanımının başlaması haricindeki büyük gelişmeler kadar değiştirmiştir. Sonuçta bu gelişmeler yerküre sistemi üzerinde yoğun bir etki yaratmakta ve bazı araştırmacıların söz konusu etkiler hakkındaki düşüncelerini de değiştirmektedir.

Dünya atmosferinin büyük bir bölümünü azot oluşturur ve dünya üzerindeki tüm yaşam nitrojene ihtiyaç duyar. Ancak gezegendeki yaşam formlarının neredeyse hiçbiri havada bolca bulunan nitrojeni olduğu gibi kullanamaz çünkü nitrojen, iki özdeş azot atomunun birbirine sıkıca bağlı olduğu oldukça atıl bir formda bulunur. DNA ve protein moleküllerindeki yerini alabilmesi için –bu olmadan ne DNA ne de proteinler meydana gelir– bu atomların birbirinden ayrılması ve başka bir elemente bağlanması yani bilimsel tabiriyle “sabitlenmesi” gerekir.

Dört milyar yıl kadar önce yani henüz Dünya’nın ilk zamanlarında nitrojen yıldırımlar sayesinde sabitleniyordu. Yıldırımlar o zaman da şimdi yaptıkları gibi karşılaştığı molekülleri parçalamak suretiyle nitrojen atomlarını serbest bırakarak karbondioksit moleküllerinden kopan oksijen atomlarıyla birleşmelerini sağlıyordu. Bu şekilde oluşan nitrojen oksitlerin, gezegendeki ilk yaşam için sabit nitrojenin ana kaynağı olduğu neredeyse kesindir.

Ancak çok geçmeden, yaşam kendi nitrojenini sabitlemenin bir yolunu buldu. Bakterilerin evrimi onları adeta biyokimyacılar haline getirdi ve bunların bazıları nitrojen moleküllerini kanırmanın ve ortaya çıkan açıklıklara hidrojen iyonları yerleştirmenin bir yolunu bularak nitrojeni amonyağa dönüştürmeye başladı. Amonyanın kimyasal özellikleri yıldırımların oluşturduğu oksitlerden oldukça farklıdır. Fakat amonyanın içindeki nitrojen de sabit kabul edilir. Çünkü elinizde amonyak varsa, tıpkı nitrojen oksitlerle başladığınızda olduğu gibi, yaşamın ihtiyaç duyduğu diğer tüm nitrojen moleküllerini oluşturmak nispeten kolaydır.

Sabit nitrojeni atıl forma geri döndürmek de mümkündür. Bu işleme azot giderme denir ki birtakım mikroplar da bu konuda uzmanlaşmıştı. Böylece biyojeokimyasal bir döngü başladı ve bu döngü, yerküre sisteminde yaşamı oluşturan temel maddelerin devamlı akışını sağlayan iç içe geçerek birbirine

kenetlenmiş birçok döngüden bir tanesiydi. Nitrojen sabitleyiciler ise, nitrojeni atmosferden çekip biyosfere kattılar ve canlı organizmalar sabit azottan yararlanırken, azot gidericiler de onu atıl atmosferik stoğa geri döndürdü.

Ve sonraki 3.5 milyar yıl boyunca devam eden hikayenin tamamı aşağı yukarı bundan ibaretti. Bu sırada yerküre sisteminin yaşam formları daha karmaşık ve ilginç hale geldi; sabit nitrojenin dahil olduğu kullanımlar daha da çeşitlendi ve içinden geçtiği besin zincirleri karmaşık ağlara dönüştü. Ancak, ağ ne kadar karmaşık olursa olsun, nitrojen sabitleyici mikroplar ağa girişi, azot giderici mikroplar da ağdan çıkışı sağladı. Yaklaşık 400 milyon yıl önce evrimleşen bazı bitkiler köklerinde nitrojen sabitleyen bakterilere besin sunarak onları orada himaye etmenin bir yolunu buldular. Bu da gezegendeki organik madde miktarının artmasını sağladı. Ancak azot döngüsünün temel dinamikleri aşağı yukarı daha önce olduğu gibiydi.

Yirminci yüzyıla gelindiğinde ise kasıtlı bir planlamayı, yersiz hevesleri ve birtakım zorlayıcı koşulları dikte eden insan ırkı idareyi devraldı.

On dokuzuncu yüzyıl, Avrupa'nın emperyal gücünün tüm dünyayı etkisi altına aldığına tanık oldu. Avrupalıların çizdiği haritalar, yönettikleri ticari ve askeri kuvvetler ağı diğer kıtalarda bir süredir yerleşik oldukları kıyıların ötesine geçti ve gitgide genişledi. Avrupa şehirleri insanlık tarihinde görülmemiş derecede büyüdü ve şehirleri birbirine bağlayan demiryolları insanlara daha önce hiç olmadıkları kadar hızlı hareket etme fırsatı verdi. Nehirler ıslah edildi, çiftliklerde verim arttı. Bir zamanlar ışık kaynağının mum, şimşek ve ay ışığından ibaret olduğu geceler gaz ve elektrikle aydınlandı. Sadece sözlü ya da yazılı olarak taşınabilen kelimeler, eskiden sokakları geçtikleri hızla okyanusları aşmaya başladı. Kanallar kıtaları birbirinden ayırdı, taş ocakları yamaçları aşındırdı ve maden rezervleri dağların içini oydu.

Ve artık bu yüzyılın sonunda bir yorgunluk ve rahatsız edici bir tamamlanmışlık duygusu vardı. Bilinmeyen tükenmişti, bilinen muzaffer olmuştu ve bir zamanlar yaldızlı görünen dünya şimdi yavan hissettirmeye başlamıştı; *fin de siecle* (yüzyılın sonu) gelmişti. Nüfus bilimci ve tarihçi Frederick Turner, yurttaşlarına Amerikan meydan okumasını ve potansiyelini tanımlayan cephenin kapandığını söylüyordu. Avrupa'nın son büyük hırsızlığı olan Afrika kapışması neredeyse bitmişti. Üzerinde güneşin hiç batmadığı Britanya İmparatorluğu, tam da bu nedenle, daha ötesine yelken açabileceği bir günbatımından yoksundu. Zenginlikler biriktirmeye, taş ocakları kurulmaya ve madenler çıkarılmaya devam etti. Ama çağ artık genişleme değil, yoğunlaşma çağıydı, alışılmamış sınırlarla kısıtlanan bir çağdı.

Bu nedenle, İngiltere'nin önde gelen kimyagerlerinden Sir William Crookes'un gezegen çapında önemli bir sınıra dikkat çekmesi yerinde bir eylemdi. Crookes 1860'larda talyum adında yeni bir element keşfetti. 1890'larda, topraktan alınan örneklerde helyum olduğunu gösteren ilk bilim insanlarından biri oldu –öncesinde bu elementin güneşte ve yıldızlarda mevcut olduğu biliniyordu. Oysa 1898'de *British Association for the Advancement of Science*'ta verdiği ikaz edici ve ilham verici başkanlık konuşması oldukça sıradan bir konuyla başlamıştı: Britanya İmparatorluğu'nun yetersiz gübre arzı.

Crookes, dünyadaki buğday arzı konusunda endişeliydi. Buğday tüketmek isteyenlerin sayısı ve tüketmek istedikleri miktar artıyordu. Halbuki buğdayın yetiştigi toprak miktarı, en azından yeterince artmıyordu; dünyanın haritası çıkarılmış ve verimli toprakların neredeyse hepsi bu haritaları çıkaranlar tarafından istimlak edilmişti. Ve en azından beyazlar için kabul edilebilir başka bir alternatif de yoktu. Crookes, şöyle diyordu:

Sayınca bizden çok daha üstün olan fakat maddi ve entelektüel ilerleme bakımından büyük farklılıklar gösteren diğer ırklar, Hint mısırı, pirinç, darı ve diğer hububatları tüketiyorlar. Ancak bu tahılların hiçbirisi buğdayın sahip olduğu gıda değerine ve sağlığı korumaya yönelik konsantre güce sahip değildir. İşte bu nedenle, uygarlaşmış insanlığın biriktirdiği deneyim, buğdayı kas ve beyin gelişimine uygun gıda olarak diğerlerinden ayırmıştır.

Dolayısıyla, her bir toprak parçasında üretilen buğday miktarının artırılması gerekiyordu: Bu, “uygar insanlığın ilerlemesi için hayati önem taşıyordu.” Elli yıl önce, büyük Alman kimyager Justus von Liebig, her ekin için her koşulda, ekinin büyümesini “sınırlayan” bir besin olduğuna dünyayı inandırmıştı; bu besin daha fazla miktarda verildiğinde ekinin kendi kendine büyümesini teşvik edecekti. Çiftçilerin karşılaştığı çoğu durumda, buğdayı sınırlayan besin hem madencilik hem de mühimmat üretimi için kritik öneme sahip patlayıcıların vazgeçilmez bileşeni olan sabit nitrojendi. Dünyadaki buğday tarlalarına daha fazla nitrojen sürülebilse, ekmeğe ihtiyaç duyan herkes için daha çok ekmek olacaktı. “Aksi takdirde,” diye uyarıyordu Crookes, “dünya küçük bir açlık krizinden doğan bir felaketle, dahası barutun yok olmasıyla karşı karşıya kalabilir.”

Bakterilerin nitrojeni sabitleme yeteneği Crookes’un konuşmasından on yıl önce keşfedilmişti ve bu gelişme umut verici bir işaret olarak görülebilirdi. Ancak insanlar farkında olmasa da aslında çok daha öncesinde bakteriyel nitrojen sabitlemeyi kullanıyorlardı. Yonca, baklagiller ve özellikle köklerindeki nitrojen sabitleyici bakterilerle iyi ilişkilere sahip diğer bitkiler verimsizleşmiş toprakları canlandırmak için zaten kullanılıyordu. Bu ziraatçılık türü on dokuzuncu yüzyılda çiftçiliğin popüler hale gelmesine yol açmıştı, yine de bu süreç sonsuza dek sürdürülebilir değildi. Azotunu yenilemek maksadıyla toprağınızın büyük bir kısmını bu bitkilerle kaplamanız durumunda, buğday yetiştirmek için size oldukça az bir alan

kalır. Ayrıca bakterileri daha hızlı çalışmaya sevkedecek belirgin bir yöntem de yoktu. Crookes'un üzümlerle belirttiği gibi, "milyonlarca küçük organizmanın yüzyıllar boyunca çalışarak atmosferden aldığı nitrojeni, bir savaş gemisinin bordasında neşeye serbest bırakıyorduk."

Diğer bir seçenek de atık gıda, hayvan ya da insan gübresi yoluyla nitrojeni toprağa geri vermektir. Liebig, İngiliz halkının örf ve adetlerinin onları, şehirlerinin kanalizasyon pisliğini toplayıp ülkeye geri getirmek yerine, İngiltere topraklarından ve Thames, Mersey ve Tyne nehirleri kıyısındaki imparatorluk ve ticaret ortaklarından çıkan zenginliğin çalınmasını tercih edecek kadar titiz yapmasını hayal kırıklığıyla not etmişti. Karl Marx, yiyeceklerin yetiştirildiği kırsal bölge ile tüketildiği şehirler arasındaki bu "metabolik yarığı" yani toprağın kendi besininin toprağa bir daha asla geri dönmemesini, kelimenin tam manasıyla sanayi toplumunu, kendi üretici köklerine yabancılaştıran şeylerden birisi olarak değerlendiriyordu. Crookes, Liebig'in görüşünü kabul etmişti ancak bakteriler gibi doğal gübrenin de öngördüğü iş için yetersiz kalacağını düşünüyordu.

Üçüncü bir seçenek, nitratları yeryüzüne çıkarmaktır. Yerküre sisteminin işleyişindeki bir espri, Peru kıyılarındaki adaları olağanüstü bir guano (martı gübresi) kaynağı haline getirmişti. Humboldt akıntısı, okyanusun derinliklerindeki soğuk ve besin açısından zengin suları bu kıyıların yüzeyine taşıyor, böylelikle çok sayıda balığı ve kuşu besliyordu. Düşük yağış oranı kuşların nitrojen ve fosfor açısından zengin dışkılarının denize geri dönmesine engel oluyor, onlarca metrelik tortular halinde birikmesini sağlıyordu. On dokuzuncu yüzyılın ortalarına kadar her yıl yüzbinlerce ton guano, köle muamelesi gören on binlerce Çinli işçinin sefaleti pahasına ihraç edildi.

En verimli guano adaları tükenmeye başladığında, kısmen guanonun yerini alan ve gezegende bu tür tortuların bulunduğu en zengin kaynak olan Atakama Çölü'ndeki mineral

nitratlar keşfedildi. Bu zenginliklerin ihracatı bölge ekonomisinde baskın hale geldi ve hatta savaşları tetikledi. İspanya, 1860'larda Peru'nun guano adalarını ele geçirmeye çalıştı. 1880'lerde Britanya tarafından desteklenen Şili, Peru ve Bolivya'daki Atakama nitrat yataklarına el koydu. Britanya kendisinin tercih edilmesini bu şekilde güvence altına almış olsa da 1890'lara gelindiğinde iyi guano büyük ölçüde tükenmişti ve nitratlar da azalıyordu. Crookes, sürekli artan talebin sadece birkaç yıl içinde çölün en iyi yataklarını yok edeceği konusunda uyarılarda bulunuyordu.

Gıda arzının nüfus artışına ayak uyduramayacağı endişesi yeni sayılmazdı. Crookes, rahip Thomas Malthus'un *Essay on the Principle of Population* [Popülasyonun İlkeleri Hakkında] adlı makalesinde bu konuyla ilgili endişelerini ilk kez dile getirmesinden tam bir asır sonra konuşuyordu. Maden kaynaklarının tükenebileceği endişesi de yeni değildi. Crookes'un belirttiği üzere, Stanley Jevons yıllar önce İngiltere'de kömürün bitebileceği konusunda uyarılar yapmış ve daha verimli kullanılması halinde ise kömür talebinin artacağını savunmuştu. Crookes aslında, Malthus ve Jevons'ın iç karartan fikirlerini sadece bir araya getirmişti: Hayati bir doğal kaynak tükenmekte olduğu için gıda arzı nüfus artışına ayak uyduramayabilirdi. O zamanlar çok yeni olan bu görüş, en ünlüsü 1970'lerde ortaya atılan *The Limits to Growth* (Büyümenin Sınırları) argümanıyla bugün son derece tanıdık gelmektedir.

Ancak Crookes, düşüncesinin kaynağı kasvetli olsa da karamsar değildi. Yalnızca, dünyadaki buğdayın bitme ihtimali olduğunu söylüyordu –bitmesi gerektiğini ya da kesin olarak biteceğini değil. Crookes, takipçilerine, bilimsel ilerlemeyi desteklemek adına kurulan *British Association*'ın bu sorunu çözebileceğini söyledi. Atıl durumdaki atmosferik nitrojeni sabit oksitlere veya amonyağa dönüştürmek sonuçta kimyasal bir reaksiyondan ibaretti ve her zamankinden daha zor ve daha kârlı kimyasal reaksiyonlarda uzmanlaşmak, kimyayı

son yüzyılın en büyük endüstriyel bilimi haline getirmişti. Bilimin nitrojeni endüstriyel olarak sabitleyebilmesi durumunda bu sorun çözülebilirdi.

Crookes bir önceki yüzyılda, ihtiyaç duyulan nitrojen sabitleme reaksiyonlarının “bu sırrı doğadan gasp etmeye çalışanların zorlu girişimlerinden kurtulduğunu” itiraf etti. Bu durum, onun söz konusu sırrın doğadan bir şekilde koparılacağına duyduğu inancını hiç azaltmadı ancak böyle bir becerinin kendi yolunu bulması için beklemenin de yeterli olmayacağı görünüyordu. Buğday kıtlığı riski nitrojen sorununun “deyim yerindeyse havada bulunan diğer kimyasal keşiflerden maddi anlamda farklı olduğu” anlamına geliyordu. Bilim insanları bunu bir öncelik haline getirmek için bir araya gelmeliydi.

Bugün acil ihtiyaç duyulan bir teknolojik atılımla ilgili benzer iddialarda bulunan çoğu bilim insanı destek için hükümetlere başvurur. Ancak yirminci yüzyıldan önce hükümetlerin biliminde çok az rolü vardı. Bilimsel araştırmaları belirli amaçlara yönlendirme girişimlerine aktif olarak direnildi: Crookes’un arkadaşlarından biri olan William Noble, “Society for Opposing the Endowment of Research”ü [Araştırma Vakfına Karşı Çıkma Derneği] yönetiyordu. Kamu yararını artıracak bir fikriniz olduğunda destek için başvurabileceğiniz Rockefeller ya da Bill ve Melinda Gates vakıfları gibi büyük vakıflar yoktu. Kimya endüstrisi büyük ölçekli araştırma ve geliştirmeyi modern tarzda yapmıyordu (gerçi Almanya bunu yapmaya başlamıştı). Bunlar temelde Crookes’un takipçileri gibi bilim insanlarına bağlıydı: “Kurtarmaya gelmesi gereken kişiler kimyagerlerdi.”

Dünyanın en ünlü kimyagerlerinden bazıları da dahil –Almanya’da Wilhelm Ostwald, Fransa’da Henri Louis Le Chatelier– birçok kimyager sonraki on yıl boyunca bu sorun üzerinde çalıştı. Crookes’un kendisi de çözümün yeni ve üretken hidroelektrik kaynaklarla ilgili olabileceğini düşünenler arasındaydı. Nitrojeni yıldırımların yaptığı gibi sabitlemeye

çalışırken Niagara Şelalesi'ne kurulan yeni tesis kullanıldı ve ozonun keskin sardunya kokusunu üreten –havaya işkence edilirken oluşan başka bir molekül– binlerce elektrik kıvılcımı oluşturuldu. Norveç barajları da aynı amaç için kullanıldı ve daha başarılı olundu. Ancak ucuz elektrikle bile çok az miktarda sabit nitrojen elde edilebilmesi ve maliyeti, satın alımını imkansız kılıyordu.

Büyük buluşu Alman kimya şirketi BASF ile birlikte çalışan, Freiburg Üniversitesi profesörü Fritz Haber gerçekleştirdi. Bir grup seçkin laboratuvar teknisyeniyle birlikte, elektriksel yoldan uzak durmayı seçti ve bunun yerine, çok yüksek basınçta sıcak bir katalizör üzerinden sürekli bir hidrojen ve nitrojen akımı geçirerek amonyak üreten bir sistem oluşturdu. BASF'den Carl Bosch, bu işlemi endüstriyel imkanlara sahip bir ölçeğe taşıdı. Haber, bu çalışmalarından dolayı 1919 Nobel Kimya Ödülü'nü aldı; Bosch da 1931'de aynı şekilde ödüllendirildi.³⁰

Haber ve Bosch'un teknolojisi dünyayı Crookes ya da bir başkasının hayal edebileceğinden çok daha köklü bir şekilde değiştirdi. Crookes, öngörülebilir gelecekte Avrupa'nın buğday arzını garanti altına almak için yılda birkaç milyon ton nitrojeni sabitlemekten bahsediyordu. Bugünün sanayisi yılda yüz milyon tondan fazla nitrojen sabitleyor ve bu miktar Dünya'nın bütün nitrojen sabitleyici toprak bakterilerinin yaptığından bariz bir şekilde daha fazladır. Gezegenimizin metabolizmasının böyle olağanüstü derecede sanayileşmesi insan ırkının yaşam koşullarını değiştirdi. Yerküre sistemini insan nüfusunun dört katına uyarladı ve insanoğluna yerküre sisteminin temel biyojeokimyasal döngülerinden birinde baskın bir rol verdi.

³⁰ Haber, aslında gübre ya da barut üretmeye çalışmıyordu; rakibi Walther Nernst ile girdiği termodinamik ile ilgili akademik bir tartışmayı kazanmaya çalışıyordu. Ancak bu arzusu, akademik özlemlerin endüstriyel çıkarlarla birleşebildiği bir bağlamda yerine geldi.

Bunu jeomühendislik olarak adlandırmak, Crookes, Ostwald ve Haber'in kabul etmeyeceği ve birçok insanı da itiraz etmeye sevk edecek bir dil kullanmak olur. Halbuki bence bu gayet yerinde bir adlandırmadır. İklimsel jeomühendislik tartışmalarıyla benzerliklerini düşünün. Haber ve Bosch'un yaptığı ve diğerlerinin yapmak istediği, kısmen belirli bir küresel tehdide yani artan nüfusu besleyememe riskine karşı bir cevaptı. Bu tehdit, günlük yaşamda iklim değişikliğinden daha belirgin değildi ama yine de bilim uzmanları onu tanımlamıştı.

Günümüz iklimbilimcilerinin çoğunun aksine (fakat iklim jeomühendisliğini ciddiye almak gerektiğini düşünenler gibi), Crookes ve çağdaşları söz konusu soruna siyasi bir çözüm bulamamışlardı. Crookes, herkesin daha az yemeyi kabul etmesini ya da beyazların pirinç için buğdaydan vazgeçmesini veya imparatorluğun baruttan vazgeçmesini önermeyi düşünmüyordu. O ve onun gibi adamlar, bunun yerine, yeni güçlü bilimle dikkat kesildiler. Şayet jeomühendislik, yerküre sisteminin belirli bir amaca yönelik olarak büyük ölçekte, kasti bir teknolojiyle değiştirilmesi anlamına geliyorsa, tarihin bununla ilgili sunduğu en iyi ve en dramatik örnek, Haber'in buluşunu takip eden yüzyılda nitrojen döngüsünün başına gelenlerdir. Azot sabitlemenin, tarımı ve insanlık tarihini dönüştürdüğü, bu süreç içinde çevresel düşünceyi yeniden şekillendirdiği bir yüzyıldan alınacak dersler, dikkatimizi buna vereceğimiz bir bölümü hak ediyor.

Nüfus Bombasının Yapılışı

Azot döngüsündeki bu dönüşümün işlere alışması biraz zaman aldı. Hollanda gibi bazı zengin ülkeler suni gübreleri yoğun bir şekilde kullanırken, dünyanın buğday hasadına acil yardımda bulunan şey başka bir endüstriyel atılım oldu: içten yanmalı motorlar. İçten yanmalı motorlar buğday hasadına yardımcı olurken gübrelerin kendi tarımsal, ekonomik ve entelektüel bağlamını da yaratmış oldu.

1931'de Britanya Tarım Bakanlığı'nda çalışan bir ekonomist, *British Association*'ın başka bir toplantısında Crookes'un konuşmasına değinirken, aradan on yıllar geçmiş olmasına rağmen küresel buğday veriminin yalnızca yüzde 11 arttığını belirtti. Bu, Crookes'un elzem gördüğünün gerisinde kalan bir artıştı. Buğday pazarındaki en önemli faktör daha çok verim değil, yeni topraklardı. Daha önce tarım için elverişsiz olan araziler yeni tarım makineleriyle tarıma açılmıştı.

1924'te Kanada'nın batılı asilzadeleri beş biçerdöverle övünüyordu. 1929'da bu sayı 7 bin 250'ye çıktı. O sıralarda Amerika yılda 200 binden fazla traktör üretiyordu. Benzer bir değişiklik Arjantin ve Avustralya'da da yaşanıyordu. Çiftçilikte ihtiyaç duyulan insan gücü düşüyordu ve bu durum ekili alanların yirmi yıldan daha kısa bir sürede yüzde 20'den fazla artmasına neden oldu. Artık sadece insansız yapılan işler yoktu. Traktörlerden sonra, önceden saban, araba ve kültivatör çeken atların merası olarak kullanılan araziler de ekilmeye başladı. Bu, bir çiftçiye fazladan bir çeyrek arazi daha veriyordu. Amerika'da, Birinci Dünya Savaşı'nın akabindeki nesilde yük hayvanlarının sayısı on beş milyon azaldı.

1920'lerin sonunda, birçok yerdeki sorun kıtlık değil, aksine arz fazlasıydı. Tahıl fiyatları düşüyor ve çiftçiler borca batıyordu. Yine de traktörler daha çok çalıştı. Amerika Birleşik Devletleri'nin ovalarında daha önce bakir olan yirmi bin hektar arazi her gün sürülüyordu. Yeni tarlaları zenginleştirmek, sulamak veya korumak içinse çok az şey yapıldı.

1930'ların başında kuraklık başladı. Rüzgar sürülmüş ve zayıflamış üst toprağı süpürdü; yağmur, aniden bastıran sağanaklar geride kalan toprağın üstünden geçti ve daha fazla kullanılamayacak şekilde aşındırdı. Yüz binlerce Amerikalı kadın, erkek ve çocuk bu çorak toprakları terk etmeye başladığında, geride, gökyüzüne doğru savrulan üç dört kilometrelik toz bulutlarından başka bir şey yoktu.

Daha önce hiçbir çevre sorunu, arazilerin kuraklaşması (toz çanağı haline gelmesi) kadar acil görülmemiştir. Toprakları koruma konusunun öncülerinden Hugh Bennett'in dediği gibi, "Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusundaki kıyılarda yaşayan insanların çoğu, 2 bin mil ötedeki ovalardan gelen taze toprağı tatmaya başladığında, bir yerlerde bir şeylerin ters gittiğini ilk kez fark etmişlerdi." Bu sırada *Deserts on the March* [Genişleyen Çöller] ve *The Rape of the Earth* [Dünyanın Gaspı] gibi adlar taşıyan kitaplar çıkmaya başladı. O zamana değin birçok Amerikan eyaletinde yerleşimci ve kölelerin gelişile birlikte toprağın yarısından fazlasının –bazılarında yarısından oldukça fazlasının– erozyona uğradığına dair tahminler ileri sürölüyordu.

İkinci Dünya Savaşı sırasında anlaşılır bir şekilde daha az vurgulanan bu endişeler, 1948'de yayımlanan Malthusçu iki çok satan kitapta daha geniş bir biçimde geri döndü. Bu kitapların ilki Fairfield Osborn'un yazdığı ve kapağında Albert Einstein ve Eleanor Roosevelt'in desteğini taşıyan *Our Plundered Planet* [Yağmalanan Gezegenimiz], ikincisi ise William Vogt'un yazdığı ve başkanlara finansörlük ve sırdaşlık yapan Bernard Baruch'un takdim ettiği *Road to Survival* [Hayatta Kalma Yolu] idi. Her iki kitap da erozyonun Dünya'nın insanları besleme kabiliyetini tükettiği gerçeğini esfle karşılıyordu. Gıdaya ihtiyacı olan insan sayısı her zamankinden daha hızlı artarken, tarımsal verim düşüyor ve doğal kaynaklar tükeniyordu.

İkinci bölüm doğrudur. Gezegende her zamankinden daha fazla insan vardı ve nüfusun büyüme hızı her zamankinden daha yüksekti. Malthus 1798'de nüfus hakkındaki makalesini yazdığında, dünyada bir milyardan biraz az insan olduğu tahmin edilmektedir. Crookes 1898'deki konuşmasını yaptığında bu rakam yaklaşık 1.6 milyardı. Elli yıl sonra, Vogt ve Osborn'un kitapları yayımlandığında, nüfus aşağı yukarı 1798 ve 1898 nüfuslarının toplamına ulaşmıştı: 2.5 milyar. Bu, Malthus'un on sekizinci yüzyılda dile getirdiği endişeye yeni

bir güç kattı. O, kendi kendini besleyen ve dolayısıyla her zaman biraz daha hızlanma eğilimi gösterecek olan nüfus artışının, gıda arzındaki büyümeyi geride bırakacağından endişe ediyordu çünkü gıda arzında benzer bir büyüme olabileceğini tasavvur edemiyordu. Ancak Vogt ve Osborn, Malthus'un ötesine geçtiler. Sadece gıda arzının nüfus artışına yetişemeyeceğini iddia etmediler. Bu arzın hiç artamayacağını hatta erozyon ve diğer toprak bozulma biçimleri nedeniyle azalacağını ve bu azalmanın devam edeceğini iddia ettiler.

Amerika'nın kendisini büyük yapan ihsanları tükettiği fikri on dokuzuncu yüzyılın sonlarında geçerlik kazandı. Bu, asrın sonu duygusunun bir başka ifadesi olarak görülebilir. Osborn'un New York Zooloji Derneği'nin başkanı olan amcası (ondan sonra da kendisi başkanlık yapmıştı), bunu seslendirenlerden biriydi. (Aynı zamanda önde gelen bir soy arıtımı savunucusuydu ve her iki kaygının da arkasında duran benzer bir duyarlılık görülebilir –kontrol dışı büyümenin tehdit ettiği asillik ve tekillik duygusu.) Yeğen Osborn ve Vogt, en iyinin geride kaldığı fikrini aldılar ve çevrenin bozulmasıyla ilgili yaygın endişeleri, tarihteki çölleşme ve gerileme olaylarıyla birleştiren hikâyelerle küreselleştirdiler. Toz çanağı deneyimi, bu hikâyelere yeni bir ağırlık katmıştı.

Bu kitapların her ikisi de, dünyanın aynı anda hem manevi hem mekanik hem de enerjik bakımdan iç içe geçmiş olduğuna dair bilimsel bir zihniyetle yazılmıştı. Güneş ışığından ısıpanak ve uçakları gökyüzüne kaldıran enerjiye kadar bütün enerji biçimleri kalori cinsinden ölçülebilirdi. Vogt şöyle diyordu: "Ford ya da Packard marka bir arabanın deposunun doldurulması ne kadar gerekiyorsa insanın beslenmesi de o kadar gereklidir." Kötü tarım ulusun tüm vücudunu riske atmıştı. Vogt, "Sadece toprağımız denize dökülmüyor; ekmeğimiz, domuz pirzolamız ve patateslerimiz de denize gidiyor. Meksika Körfezi, çocuklarımızın kemik, kas ve kan yapacağı maddelerle dolu," diye yazmıştı.

Bu kitaplar, insan, tahıl ve toprak arasındaki metabolik bağları ifade etmenin yanı sıra, insan yaşamının siyaset, ticaret ve savaşlarla birbirine nasıl bağlı olduğunu da vurguluyordu. Samimi bir enternasyonalizmle, küresel ölçekli çözümlere duyulan inançla övünüyordu. Ancak küresel çözümleri sindirmek zordur. Erozyon ve fakirleşmenin kontrol altına alınıp alınmayacağından bağımsız olarak birçok fakir ülkede çok fazla insan vardı. Bir şeyler yapılmalıydı. Osborn, çekingen bir şekilde “Nüfus baskısı, insanlığın idealleriyle tutarlı bir şekilde çözülemez,” diyerek durumu kabul etti. Vogt, bu tutarsızlığın sonuçlarını çarpıcı bir açık sözlülükle açıkladı: “İngilizlerin (‘Morina balığının sorumsuzluğuna sahip yerlilerin yaşadığı,’ diye ekledi) Hindistan’dan çekilmesi, bu ülkedeki nüfus trendini tersine çevirebilir ki buna son derece ihtiyaçları var. Önümüzdeki birkaç yıl içinde Çin’de yaşanacak büyük kıtlık felaketi, sadece arzu edilebilir değil, aynı zamanda zorunlu olabilir.”

Bir insan nasıl böyle şeyler yazabilir? Ancak, başkalarını aç bırakan sistemi değiştirmektense onları aç bırakmanın daha iyi olduğunu düşünen insanlar hep olmuştur. İkinci Dünya Savaşı’nda yaşanan emsalsiz katliamların uyuşturucu etkisi, belki bu, toplu ölümlere müdahale etmeme tavrını benimsemeyi kolaylaştırmıştır –o katliamlar Vogt için yetersiz olsa bile. (Şöyle yazmıştı: “Maalesef savaşa, Almanların yaptığı katliamlara ve yerel yetersiz beslenmelere rağmen Rusya hariç, Avrupa’nın nüfusu 1936 ile 1946 arasında on bir milyon arttı.”) Amerika’nın ötesindeki dünya hem huzursuz hem de kontrol dışı görünüyordu. Britanya İmparatorluğu çökmek üzereydi. Çin kargaşa içindeydi. Ve savaş sona erdiren atom bombaları doğanın sınırlarını fena halde zorlamıştı. Bütün şehirler –belki de bütün ülkeler– artık yok edilme riskiyle karşı karşıyaydı. 1945’in sonlarında yapılan kamuoyu yoklamaları, Amerikalıların dörtte birinin nükleer bilimin dünyayı yok edeceğini düşündüğünü gösterdi. İnsanlık hem her zaman-

kinden daha güçlü hem de her zamankinden daha korkunç tehdit ve sınırlarla kuşatılmış gibi görünüyordu; deyim yerindeyse içinde yaşadığı tabutun köşesine sıkışmıştı.

Dünyanın sonunun gerçekten geldiğini gösteren nükleer silahlar –ilk atom bombaları bu iş için yeterli olmasa da onları takip eden binlerce hidrojen bombası uygarlığı kolayca bitirebilirdi– yalnızca kendi varlıklarından kaynaklanan yeni kaygıları getirmekle kalmadı, aynı zamanda diğer bütün korkular için de bu bahsi yükseltti. İnsanların dünyayı sona erdirebileceği bir yol varsa, o zaman bunun şüphesiz başka yolları da olabilirdi.

Vogt’un, kitabının giriş bölümünü yazması için, henüz şekillenmekte olan nükleer diplomasisinin önemli bir figürü olan Baruch’u seçmesi tesadüf olamaz. Baruch’un “Dünya ile daha iyi bir biyofiziksel ilişki” kurmak için uluslararası bir çaba gösterme çağrısı, Vogt’un, fiziğin bu diğer dalının meyveleri üzerinde uluslararası bir anlaşmaya varma girişimleri bağlamında okunabilir. Vogt, sıtmaya çare bulan ama bunu insanlara söyleyip söylememe konusunda tereddüt eden bir bilim insanının düştüğü çıkmazdan söz ederek eskatolojik bir denklik kurmaya çalışıyordu. Neden milyonlarca insanı bu hastalıktan kurtararak hem onların hem de çocuklarının kaçınılmaz olarak açlıktan öldüğünü görelim ki? Vogt’un hayali bilim adamı, bulduğu tedavinin “belki atom bombası kadar tehlikeli” olduğunu fark ediyordu. 1950’lerin başlarında, ilerisi için varsayılan iki kötü son, General William Draper’ın ağırlıkla Vogt’tan yararlandığı bir broşürün başlığında birbirine açıkça bağlanmıştı: Buna “Nüfus Bombası” deniyordu. (Bu başlık daha sonra Stanford ekolojistleri Paul ve Anne Ehrlich tarafından, 1968 tarihli bir kitapta yeniden kullanıldı.)

Osborn, savaş sonrası nüfus kontrolü hareketinin liderlerinden biri oldu. Bu, amcasının muhafazakarlığı gibi, silinmez bir soy arıtımı mirasıyla lekelenmiş bir hareketti. Vogt da öyle. Hayırsever bağışçıların finanse ettiği ve çoğu belli bir

düzeyde öjenik inançlara sahip olan bilim insanlarının büyük ölçüde onayladığı bu hareket hem Amerika’da (bilhassa yerli Amerikalılar arasında) hem de dünyanın başka yerlerinde zorunlu kürtaj ve kısırlaştırma gibi korkunç baskılara önderlik etti. Hareketin, yerküre sisteminin kısa süre içinde karşılaşacağı insan sayısını taşıyamayacağına dair mesajı Ehrlichler gibi gelecek nesil Amerikan çevrecileri üzerinde derin izler bırakmıştı. Vogt şöyle yazmıştı: “Bundan elli yıl sonra dünyanın üç milyar insanı vasıfsız işçi standartları dışında besleyemeyeceği çok açıktır.” Fakat bu düşüncesinde yanılıyordu. Dünya, düşündüklerinden çok daha fazla insanı barındırabilirdi ve bunu yapacak araçlar, Vogt ve Osborn’un de yazdığı gibi, geliştiriliyordu.

Rockefeller Vakfı 1943’te, ülkenin kendini nasıl verimli bir şekilde besleyebileceğini ve kaynaklarını kaybetme tehlikesini nasıl önleyebileceğini araştırmak üzere bir “Meksika Tarım Programı” başlattı. Vogt, açılışından kısa bir süre sonra burayı ziyaret etti ve endüstriyel girdilerden uzak durarak toprağın korunmasının ve organik tarımın önemini vurguladı. Tavsiyesinin ikinci kısmı göz ardı edildi. Rockefeller’de çalışan yetenekli bir çiftçi olan Norman Borlaug, Meksika topraklarının fakirliği, özellikle de nitrat eksikliği yüzünden felç geçirmişti. Bunu, tropikal kuşağın ve bu kuşak altındaki çoğu ülke toprağının temel bir eksikliği olarak görüyordu. Yerel ekin çeşitlerinin bu eksikliğe adapte olduğunu biliyordu; yapılabilecek çok az şey olduğu için az ürün veriyor ve seyrek yetiştiriyorlardı. Ancak, bu ekinlerin daha zengin bir diyetle beslenebileceği ve aynı zamanda ekin dolu tarlaların yakalandığı hastalıklara direnebilecek versiyonlarını üretebileceğini düşündü. Ve eğer başarabilirse, bu obur bitkilerin ihtiyaç duyduğu tüm nitrojenin kolaylıkla temin edilebileceğini biliyordu zira dünya endüstriyel olarak üretilmiş nitrojenle dolup taşıyordu. Borlaug, ilk melez buğday soylarını oluştururken aslında ulusların kaderini belirliyordu.

Nüfus Bombasının Etkisiz Hale Getirilmesi

Crookes, Haber ve yirminci yüzyılın diğer bütün kimyacıları, nitrojen sabitlemeyi onayladılar ve bunun besin sağlamanın bir yolu olduğunu söylediler. Ancak daha acil başka bir amacı olduğu gerçeğini de gizlemediler. 1910'da ABD'ye ithal edilen Şili nitratlarının yüzde 13'ü gübreye çevrilirken kimya endüstrisinde bu miktarın neredeyse iki katı, patlayıcı üretiminde ise üç katı veya daha fazlası kullanılıyordu. Birinci Dünya Savaşı'nda kraliyet donanması Almanya'nın Şili nitrat tedarikini kesince, Haber-Bosch yöntemi Almanya'nın barut ve diğer mühimmatları kendi başına üretmeye devam etmesini sağladı ki bu, büyük olasılıkla savaşın uzamasına neden oldu. Almanya'nın mağlubiyetinin ardından Versay'da toplanan galipler, ganimetin bir parçası olarak Haber-Bosch yönteminin lisansının verilmesinde ısrar ettiler.

Azotun bir kısmı gerçekten de tarım için kullanıldı. Carl Bosch, 1931'de Nobel Ödülü'nü³¹ aldığı anda, BASF ve Almanya'nın diğer büyük kimya şirketlerini kendi bünyesinde toplayan devasa IG Farben şirketinin başkanıydı. Şirket patlayıcı üretti ama aynı zamanda Saksonya-Anhalt'taki dört küsur kilometrekarelik Leuna fabrikasında yılda yüz binlerce ton azotlu gübre de üretti. Ve nitrojenden imal edilen patlayıcılar her zaman bir silah olarak kullanılmıyordu. Dinamitin bollaştığı bu yeni dönemde madenciler daha derinlere inmeye başladı ama bu durum çoğunlukla bir öldürme aracı na hizmet ediyordu.

Bir tahmine göre, Haber-Bosch yöntemiyle imal edilen patlayıcılar, yirminci yüzyıl boyunca 150 milyon insanın ölümüne

31 Nitrojen bazlı patlayıcılarla öldürmenin kapsamını, Nobel'in kendi zamanında olduğundan çok daha büyük bir hale getiren bu iki adama verilen Nobel Ödüllerinde açık bir ironi vardır zira Alfred Nobel'in bu tür patlayıcılar ve silahların geliştiricisi olarak kazandığı paradan finanse edilen bu ödüller, en azından kısmen, bu patlayıcıların savaşlarda kullanılan bir silah olarak verdiği zararın bir kefareti olarak tasarlanmıştır.

neden oldu. İkinci Dünya Savaşı'nda gerçekleşen, daha önce benzeri görülmemiş katliamlar onsuz olamazdı. Nobel ödüllü kimyager Linus Pauling'e göre, bu savaş boyunca altı milyon ton TNT'ye eşdeğer miktarda patlayıcı kullanıldı. Hiroşima ve Nagazaki bombaları, bu toplamın yüzde 0.5'inden daha azına tekabül eder. Diğer her şey neredeyse tamamen Haber-Bosch yöntemiyle sağlandı. Müttefikler sadece Leuna tesisine yaptıkları saldırıda binlerce ton yüksek patlayıcı kullandı.

Borlaug'un Meksika ekinleri üzerinde çalışmaya başladığı sıralarda Amerika'da suni gübre kullanımı yaygınlaşıyordu. Bunun nedeni kısmen, devam eden savaşın daha az sayıda çiftçiden daha çok yiyecek talep etmesi, kısmen de mühimmat için sabitlenen bol miktarda nitrojenin bir bölümünün bu çiftçiler için ayrılmasıydı. Borlaug 1949'da ilk yüksek verimli, mantar hastalığına karşı dayanıklı ve nitrojene aç süper buğdayını ürettiğinde, bu ekini gübrelemekle ilgili hiçbir sorun yoktu. Daha sonra yetiştirdiği bodur çeşitler, sapları büyötmek için daha az ve protein ve dolayısıyla azot içeren tohumları büyötmek için daha fazla enerji kullandıkları için gübreyi daha iyi kullanıyordu.

Rockefeller Vakfı'nın sürekli desteğini almak hazır bir gübre arzından daha zordu. Nick Cullather'ın, gıda ve kalkınma tarihini anlattığı muhteşem eseri *The Hungry World*'de [Aç Dünya] belgelediği gibi, vakfın bazı liderleri, özellikle John D. Rockefeller III, Vogt ve Osborn'un yeni Malthusçuluğundan çok etkilendiler ve işleri kısa vadede iyileştirmeye yönelik herhangi bir girişimin, örneğin mahsul verimini bilimsel olarak iyileştirmenin, ileride daha büyük açlıklara yol açacağını düşündüler. Buna karşı, Borlaug'un Meksika'daki patronu E. C. Stakman ve New York'taki programın başkanı Warren Weaver (yirminci yüzyıl bilim tarihinde hayranlık bırakacak derecede etkili isimlerden biri), bilimin, Dünya'nın kapasitesini genişletebileceğini savundular. Weaver, gezegene düşen Dünya Şelalesi büyüklüğündeki güneş ışığı ile dünyayı besle-

mek için gereken kalori miktarı arasındaki büyük uyumsuzluğa dikkat çekti. Evet, gezegenin maddi zenginlikleri sınırlıydı. Ancak bu çerçeve dahilinde yaşamı destekleme kapasitesi artırılabilirdi. Vogt ve Osborn ile meslektaşlarının ve takipçilerinin çoğunun sahip olduğu, çevrenin kesin ve sabit bir “taşınma kapasitesi” olduğuna dair ortak inanç yanlıştı. Koşullar durumu değiştirebilirdi.

Weaver’ın görüşü bir noktaya kadar galip geldi. Rockefeller Vakfı, Malthusçu yolun her iki tarafında da oynamaya karar verdi. Hem nüfus kontrol programlarını hem de tarımla ilgili çalışmaları finanse etmeye devam edecek, nüfus ile çiftçi arasındaki yarışta arzu edilen sonucu elde etmek için hem birinciyi dizginlemeye hem de ikinciye hız vermeye çalışacaktı.

1950’lere gelindiğinde, sanayileşmiş dünyanın büyük bir kısmında çiftçiler yapay nitrojen kullanıyordu ve Meksika, doğru tahıl türleri ekilirse, bunun gelişmekte olan ülkelerde de nasıl kullanılabileceğine dair bir örnek teşkil ediyordu. Fakat bu modelin bazı sorunları vardı. Rockefeller projesinin asıl odak noktası köy tarımı olsa da Borlaug’un çalışmaları yerel temel gıda olan mısır değil, buğday üzerinde yoğunlaştı. Bu, büyük çiftçilik kaygıları ve dolayısıyla Amerikan ticari çıkarlarından faydalanmanın birkaç yolundan biriydi. Bir diğeri, yeni ekinlerin mümkün kıldığı dar, yüksek verimli tarlaların daha fazla zirai ilaç gerektirmesi ve böylece yeni bir ekolojik yük ile yeni bir maliyet eklemesiydi. Geçim kaynakları Rockefeller programının asıl odak noktalarından biri olan küçük çiftçiler, bunun faydalarından çoğu zaman yararlanamadı. Yine de verim çok arttı ve bu sadece insani açıdan değil, siyasi bakımdan da önemli bir sonuçtu.

1950 ve 60’larda, mütemadiyen komünist olma tehdidi altında bulunan Asyalı köylüler, Washington’un jeopolitik kaygısının büyük bir bölümünün merkezinde yer alıyordu. 1960’larda Hint alt kıtasına yüksek verimli tahılların ve ihtiyaç duydukları azotlu gübrelerin getirilmesi, orada Rus ve Çin etkisinin

yayılmasını durdurmanın bir yolu olarak düşünöldü. ABD Uluslararası Kalkınma Ajansı yöneticisi William Gaud, Hindistan'da kıtlığı bastıran 1968 buğday rekoltesini “Yeşil Devrim” olarak selamladığında, bu, Amerika'nın o kıtanın başka yerlerinde savaştığı kırmızı devrimlerle açık bir tezat teşkil ediyordu. Nitrojen döngüsünü ele geçirmeyi, bilinçli bir jeomühendislik biçimi olarak görmenin doğru olduğunu düşünmemin nedenlerinden bir tanesi de budur. Bu sadece gezegendeki tüm çiftçilerin kendi geçimlerini iyileştirmek için eyleme geçmesi meselesi değildi; gezegenin insani, jeopolitik, ekonomik ve daha birçok yönden daha iyi ve verimli bir yer olacağı inancına dayanan kasıtlı bir politika meselesiydi.

Aşağı yukarı Yeşil Devrim adının verildiği sıralarda, Haber-Bosch yöntemiyle sabitlenen nitrojen miktarı, dünyadaki tüm mikropların toprakta sabitlediği miktarı aşmıştı. Amerikan gübre kullanımı, 1940'lardaki yılda yaklaşık 500 bin ton nitrojen seviyesinden sekiz milyon tona kadar çıkmıştı. Avrupa'da bu miktar neredeyse on milyon tondur. Amerika ve Avrupa'daki kullanımlar daha önce hiç bu kadar yüksek olmasa da –şimdi her ikisi de yılda yaklaşık on bir veya on iki milyon ton kullanıyor– başka yerlerde işler daha yeni başlıyordu. Dünyadaki gübre şirketleri 1980 ve 2000 yılları arasında, yirminci yüzyılın geri kalanında sabitlenen azot miktarı kadar azotu sabitledi. 1970'lerde kurulan Çin azotlu gübre endüstrisi, şimdi yılda yaklaşık elli milyon ton azotu sabitliyor. Haber-Bosch prosesi toplamda yılda artık 140 milyon tonun üzerinde sabitleme yapıyor. Bunun yaklaşık yüzde 20'si kimya endüstrisinde ve patlayıcı yapımında kullanılıyor; geri kalanı ise çoğu gelişmekte olan ölkelerdeki çiftçiler tarafından dünyayı beslemek amacıyla kullanılıyor.

Azot kullanımındaki olağanüstü artışa verimdeki olağanüstü artışlar eşlik etti. İkinci Dünya Savaşı'nın bitiminden sonraki elli yıl içinde nitratlı gübre kullanımının neredeyse on kat artmasıyla verimi dört kat artan ve hektar başına 8 tonun üzeri-

ne çıkan İngiliz kış buğdayı buna bir örnek teşkil etmektedir. Başka yerlerdeki sonuçlar daha da etkileyiciydi. Azotun çoğu tahıl yetiştirmek için kullanılırken, kabaca onda biri yağ bitki yetiştirmek, onda biri meyve ve sebzeler ve onda biri de meraları zenginleştirmek ve yem yetiştirmek için kullanılır.

Bunun bir maliyeti vardır ve ilk maliyet kalemi enerjiyle ölçülür. Yerküre sisteminin biyojeokimyasal çevrimleri kendi kendine dönmez. Okyanus akıntılarının ve rüzgarların sürülmesi için enerji gerektiği gibi, bu çevrimleri döndürmek için de enerji gerekir. Azot döngüsünü gezegen ölçeğinde yeniden tasarlamak, enerjinin yeniden dağıtımını gerektirir. Bu, yerküre sistemi standartlarında küçük olsa da insanı için büyük bir şeydir. Dünyanın endüstriyel enerji kullanımının yaklaşık yüzde 1.5'i nitrojen sabitlemeye gitmektedir. Bu, Crookes zamanında kullanılan küresel enerjinin neredeyse beşte birine eşdeğerdir. Crookes'un nitrojen sabitlemenin bu kadar ileri gideceğini asla öngörememiş olmasının nedenlerinden biri budur. Azot sabitleme, mekanikleşme ve tarım ilacı kullanımı, tarımı son derece enerji yoğun bir çalışma alanı haline getirdi. Aşlında, artık gelişmiş ülkelerde ekonominin en enerji yoğun sektörü tarımdır. Bir dolar değerinde bir gıda üretmek, genellikle, aynı değeri imalat yoluyla üretmekten beş kat daha fazla enerji gerektirir.

Tarımdaki bu enerji yoğunlaşması, doğal dünya ile insan ilişkilerini temelinden değiştirdi. Sanayi öncesi çiftliklerde, gıda şeklinde üretilen enerji insan ve hayvan emeği olarak ortaya konan enerjinin genellikle on katıydı. Bugün çiftliklerde üretilen gıda enerjisi, traktörlerden nitrojen sabitleme tesislerine kadar o gıdanın yetiştirilmesinde ve hasat edilmesinde kullanılan birçok makineye güç sağlayan enerjiden tipik olarak daha azdır. Güneş ışığının karbonhidrat, yağ ve protein kalorilerine dönüştüğü şartları oluşturmak için kullanılan enerji, bu şekilde dönüştürülen ve sonunda yenen güneş ışığı miktarından daha fazladır.

Bu kulağa neredeyse saçma geliyor: Neden daha az enerji üretmek için daha fazla enerji tüketelim? Cevap, çiftçilerin sonuçta daha az kullandığı şeylerde yatıyor: emek ve toprak. Daha fazla gıda üretmek, bunlardan birinden ya da ötekinden daha fazlasını gerektiriyordu ve bu ne kadar fazla gıda üretebileceğinizi sınırlıyordu. Emegi ve toprağı enerjiyle değıştirmek mümkün hale geldikçe, dünyanın yetiştirebileceğı toplam gıda miktarı arttı. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, çiftçiliğı daha enerji yoğun hale getirerek çok daha fazla gıda üretmek mümkün hale geldi. Ve enerji her zamankinden daha ucuz ve daha bol hale geldiğinden, bu oldukça makul geliyordu.

Yirminci yüzyıl tarımının bütün hikayesi enerji dönüşümünden ibaret değildir ve yalnızca kalori sağlanması kısıtlılığı veya açlığı ortadan kaldırmaz, insanların ihtiyaç duydukları gıdayı elde edebilmesi için siyasi ve ekonomik bir kabiliyetlerinin de olması gerekir. Ancak büyük ölçüde artan üretkenlik, Vogt ve Osborn'un, Malthusçu kıtlık senaryoları konusunda yanıldıklarını ortaya koydu. Günümüzün 1.5 milyar hektarlık ekili alanı yirminci yüzyılın başındaki gibi ekilseydi, yaklaşık üç milyar insanı ancak 1900'e özgü bir günlük besin miktarıyla (yani yetersiz bir miktarla) besleyebilirdi ve bu, Vogt'un kıt kanaat beslenen "vasıfsız işçiler" öngörüsüne yeterince yakın bir dünya olurdu. Halbuki söz konusu ekili alanlar bugün yedi milyar insanı besliyor. Zenginlikler eşit şekilde dağılmış değil ve aç olan çok sayıda insan var. Bu rakam 840 milyondur ve neredeyse tüm dünyanın Malthus zamanındaki nüfusu kadar. Ancak genel olarak, daha adil bir dağıtımın bu tür bir açlığı ortadan kaldırmasına yetecek kadar yiyecek vardır. Ve adil olmayan mevcut durumda bile kronik olarak yetersiz beslenenlerin hem nüfusa oranı hem de sayısı her zamankinden daha azdır.

Ve bu dönüşümün merkezinde yeniden tasarlanmış nitrojen döngüsü vardır. Azot devriminin büyüklüğünü ölçmek ve bunu anlatmak için herkesten fazlasını yapan Vaclav Smil,

dünyadaki tüm gıdalarda bulunan azot atomlarının yüzde 50'sinin, prensipte, bir Haber-Bosch dönüştürücüsüne kadar izlenebileceğini söylüyor. Ve insan ne yerse odur. Kaslarındaki lifler, beyninizdeki sinir kavşakları, genomunuzun depolandığı kromozomlar: Hepsi bir fabrikada, atmosferden elde edilen atomlardan yapılmıştır. Vogt, Amerika'nın çocuklarının etlerinin ve kemiklerinin Meksika Körfezi'nin sularını kirlettiğini öne sürerken bir şekilde gerçek dışı bir şey söylüyordu (bir bakıma takdir etmeme rağmen). Oysa ben, dünyanın endüstriyel-azot metabolizması hücrelerinizin her birinden geçer ve her düşüncenizin temelini oluşturur derken hiç de gerçek dışı bir şey söylemiyorum. Bu fiziksel bir gerçektir.

Sabitlenmiş Olmaktan Çok Uzak

Ama yine de Meksika Körfezi hâlâ kirlidir ve bu durum hâlâ bir endişe kaynağıdır ve bu endişe de hâlâ toprağın verimliliği ve azot kullanımıyla bağlantılıdır. 1960'lardan bu yana her yaz, bilhassa Mississippi'nin ağzının batısına fotosentetik alg patlamalarını beraberinde getirir. Bu zengin yosun çorbasının bozulması, sudaki tüm oksijeni tüketir ve hayvanların kıt kanaat yaşayabileceği bir yer bırakmaz. Patlamanın yaşandığı bölge balıksız, tabanı çölleşmiş ölü bir alana döner. Son on yılda bu ölü bölgenin alanı ortalama 15 bin kilometrekaredir.

Alg patlaması, Amerikan tarımının merkezinde yer alan aşırı gübre kullanımı yüzünden gerçekleşmektedir. Mississippi ve Atchafalaya nehirleriyle körfeze akan nitrojen miktarı 1960'lardan 90'lara gelindiğinde iki katına çıkmıştır. Daha önce zaman zaman oluşan ölü bölge, artık sadece kurak yıllarda değil, neredeyse her yıl görülmektedir ve 1980'ler ile 2000'ler arasında boyutu ortalama iki katına çıkmıştır. Bu belki de gezegenin yirminci yüzyıl nitrojen döngüsünü yeniden yapılandırmak için ödediği yüksek bedelin en görünür kısmı fakat ödemesi gereken toplam bedelin sadece küçük bir bölümüdür. Azot kirliliği, hava kirliliğinden biyoçeşitliliğe kadar

çevresel kaygının hemen hemen her alanında artık önemli bir sorundur.

Bu sorunların tümü Haber-Bosch sürecinden kaynaklanmıyor. Bilimsel tarımın getirdiği diğer değişiklikler, bazı ekinlerin kendi sabitledikleri nitrojen miktarını artırmıştır. Ve fosil yakıtlar, özellikle yüksek sıcaklıklarda yakıldığında havadaki nitrojenin bir kısmı da yanar ve topluca NO_x olarak bilinen nitrojen oksitlere döner. Yirminci yüzyılda daha çok fosil yakıt kullanıldıkça bu şekilde sabitlenen nitrojen miktarı da artmıştır. Bugün söz konusu yanma yoluyla sabitlenen nitrojen miktarı, Haber-Bosch yöntemiyle sabitlenen miktarın yaklaşık dörtte birine eşittir.

Bu müdahalelerin hepsinin ortak yanı, döngünün sabitleyici tarafını güçlendirmeleridir. Bu arada diğer tarafı yani nitrojeni atıl forma geri döndüren muhtelif mikrobiyal azot giderme biçimlerini teşvik etmek için çok az şey yapıldı. İnsanoğlunun bilinçli bir çabası olmamasına rağmen işlerin bu tarafından sorumlu olan azot giderici bakteriler, artık daha fazla sabit nitrojen olduğundan daha çok çalışmaya başladılar. Ancak insanlığın bütün işlerini onlar halledemezler. Dolayısıyla daha çok girdi ve daha az çıktı yüzünden dünyanın sabit nitrojen stoğu büyümeye devam ediyor.

Bu noktada, simyacıların dünya görüşüne kadar uzanan “sabit” terimi, yanıltıcı hale geliyor. Bu terim, biyoloji ve kimya için gayet uygundur çünkü sadece, etrafta dolaşan nitrojenin organik bir maddeye bağlandığını güzel bir şekilde ifade eder. Ancak çevresel bakış açısından önemli olan, bu ilk bağlanmadan sonra ne olduğudur. Sabit nitrojen yerinde kalmaz; fiziksel olarak topraktan su ve havaya ve oralardan tekrar toprağa geçer; böylece kimyasal eğilimleri de değişir.

Çevre bilimciler bu hareketlilik ve faaliyetlerle ilgilendiği için sabit nitrojenden değil, aşamalı olarak bir formdan diğerine geçen reaktif nitrojenden bahseder ve onun hakkında çok

konusurlar. Eğer iklim değışikliği olmasaydı, muhtemelen çevresel tartışmaların ve endişelerin en büyük konusu, toprak, su ve havada biriken çeşitli reaktif nitrojen formları olurdu. IPCC'nin raporlarından farklı olmayan, iki yüz yazarlı ve altı yüz sayfalık 2011 *Avrupa Azot Tespiti* raporu Avrupa'da reaktif nitrojenden kaynaklanan yıllık zararın 70 ila 320 milyar avro arasında olduğunu hesapladı. Bunu, tüm dünyaya doğrudan oranlayamazsınız zira Avrupa nitrojenle ilgili bazı sorunlardan, diğer yerlerdekilerden daha muzdariptir ve bu sorunun başka sorunlarla yakın ilişkisi vardır. Yine de dünya ölçeğindeki rakam kesinlikle yüz milyarlarca dolar ve belki de bir trilyonun üzerindedir.

Bu zararın bir kısmı, gübre işlevi görmesi için üretilen reaktif azot tarafından yapılır. Gübre bazı organizmalara diğerlerinden daha çok yardım eder. Borlaug'un Yeşil Devrim için çıktığı yolda amaçlarından biri, nitrojeni zevkle yutan ekinler yetiştirmektir. Bu dengesiz tepki nitrojenin, uygulandığı toprakların biyolojik çeşitliliğini azaltacağı anlamına gelir. Nitrojeni iyi kullanan nispeten az sayıda bitki ve mikroorganizmaların popülasyonunu artırırken buna daha az uygun olan çoğunluğun popülasyonunu azaltır. Bu durum, biyoçeşitliliğin sağladığı esneklikle ilgili bir sorun oluşturur çünkü toprakta yaşayan daha geniş bir canlı yelpazesi, değişime cevap vermesi için toprağa daha fazla seçenek sunar.

Meksika Körfezi'ndeki ölü bölgenin gösterdiği gibi, aşırı besleyici madde tedarikinden kaynaklanan sorunlar, uygulandıkları yerin ötesine geçiyor. Halen Cortez Denizi'nden Japonya Denizi'ne ve Shetland'den Tazmanya'ya kadar 540'tan fazla yerde ölü bölge tespit edilmiştir. Besin maddelerinin çevreye rahatsızlık vermesi için ölü bölge seviyesine çıkması gerekmez, örneğin mercan larvaları yerine alglerin büyümesini teşvik ederek mercanlara zarar verebilirler. Öte yandan, bazen insanlara fayda da sağlayabilirler. 1960'larda inşa edilen Aswan Barajı, Nil'den Akdeniz'e doğru akan tortuyu delta

balıkçılarının avlarını bitirecek kadar azaltmıştı. Ancak barajın aşağısında kalan Mısır çiftliklerinde, artık bolca kullanılan gübrenin karıştığı akıntı denizin üretkenliğini geri kazanmanın bir yolu oldu. İstenmeyen bir zararın istenmeyen bir şekilde telafisini sorunsuz ve mutlu edici bir sonuç olarak karşılamak Pollyannavari bir tepki olur. Fakat geçimlerini bu sayede sürdüren balıkçılar bunu her şeye rağmen hoş karşılayabilir.

Sudaki reaktif azotun bir etki göstermesi için denize karışması şart değildir. Tarım arazilerinin yakınındaki birçok nehir ve göl, aşırı gübrelemenin bir sonucu olarak yabancı ot ve yosunlarla boğulur. İçme suyundaki nitratlar da sağlık için tehlike oluşturabilir. Gelişmiş ülkelerdeki su arıtma sistemleri bunun oluşturduğu riski en aza indirir ancak gelişmekte olan ülkelerde çok fazla gübre kullanılan topraklardan arıtılmamış su içen insanlar kolon kanseri de dahil olmak üzere çeşitli rahatsızlıklar açısından yüksek risk altındadır.

Reaktif azotun tamamı toprağı su yoluyla terk etmez. Bazıları taşlaşmış formlar şeklinde etrafta yıllarca kalabilir. Ve bazıları, çoğunlukla amonyak, bir miktar NO_x ve bir miktar nitroz oksit (N_2O , O'ne rağmen NO_x olarak sınıflandırılmaz ve oldukça farklı davranır³²) olmak üzere gaza dönüşür. Ve reaktif nitrojen gazları, çiftliklerin toprağından, elektrik santrallerinin bacasından veya arabaların egzozundan atmosfere karıştıklarında, çok daha fazla kimya ortaya çıkarır ve çok daha fazla zarara yol açarlar.

Azot ve oksijenin çeşitli form ve kombinasyonları arasındaki bir dizi reaksiyon ozon üretir. Stratosferdeki ozon, ultraviyole ışığı perdeleyen bir nimetken troposferdeki ozon, insanların ciğerlerine ve bitkilerin yapraklarına zarar veren bir felakettir. Diğer reaksiyonlar, insan sağlığına zararlı başka organik

32 NO_x molekülleri, oksijen atomlarının kendilerine yapışmış olduğu tek nitrojen atomlarıdır; reaktif ve kısa ömürlüdürler. N_2O 'da ise nitrojen atomlarından biri, bir tarafta başka bir nitrojen atomuna, diğer tarafta ise bir oksijene sıkıca bağlıdır ve bu, çok daha kararlı bir yapı sağlar.

bileşikler ve muhtelif aerosol parçacıkları üretir. Avrupa Azot Tespiti raporunun yazarları, havadaki reaktif nitrojenin tüm Orta Avrupa nüfusunun ömrünü altı ay ile bir yıl kadar azalttığını tahmin ediyor (Atlantik'ten gelen temiz havayı soluyan Batı Avrupa daha iyi durumdadır). Nitrojenin verdiği zararlar ilgili tahminlerinin büyük bir kısmını, kötü havanın yol açtığı hastalıklara atfettikleri sağlık maliyetleri oluşturmaktadır. Hava kirliliğinin dünya çapında yılda dört ila yedi milyon ölüme neden olduğu düşünülüyor. Bu kirliliğin önemli bir bölümünü reaktif nitrojen ve ürettiği şeyler oluşturuyor.

Atmosferdeki nitrojen ya yağmurda (ki bu yağmuru normalde olduğundan daha fazla asidik yapar) ya da aerosol veya gazlarda çözülerek yeryüzüne geri döndüğünde, bitkileri yeniden gübrelemeye başlar. Hemen hemen tüm karasal ekosistemler, fundalıklar, sulak alanlar, gözetilen veya gözetilmeyen ormanlar, tundralar, kıyı kumulları ve tarlalar eşit şekilde etkilenmeseler de artık bu yolla gübreniliyor.³³ Modeller bunun birçok ekosistemin üretkenliğini artırdığını güçlü bir şekilde gösteriyor; daha iyi beslenen bitkiler daha fazla fotosentez yapıyor. Uyduların son on yılda gezegenimizin ortalama renginin, bir yaprağın rengine biraz daha yaklaştığını göstermesinin nedenlerinden biri de budur. Bu artış, çiftliklerde olduğu gibi, seçicidir. Ekolojistler, üretkenlik artsa da bazı türlerin marjinalleşmesi veya yaşam alanlarından büsbütün çıkarılması nedeniyle biyoçeşitliliğin azalacağını öngörüyorlar. Bunun ne kadar büyük bir sorun meydana getirebileceğini söylemek zor.

33 Bu istenmeyen gübreleme hikayesi, endüstriyel gübre kullanmamaya özen gösterenler de dahil olmak üzere çiftlikler için de geçerlidir. Dünyanın her yerindeki organik çiftlikler, kaynağı, elektrik santralleri, arabalar ve endüstriyel olarak gübrenilmiş arazilerden gelen rüzgara kadar izlenebilen nitrojen tarafından kendi istekleri dışında gübrenilmekte ve bu nitrojenin miktarı, organik olmayan çiftliklerde uygulanana kıyasla küçük olsa da, mahsul üzerinde muhtemel bir etkisi olacak kadar büyük olmaktadır. Nüfusun geri kalanından çok daha az ölçüde olmasına rağmen tam anlamıyla organik diyetleri takip eden insanların hücrelerinde bile bir zamanlar endüstriyel olan nitrojen vardır.

Fakat yüzeye geri dönen reaktif nitrojen, orada ilk etapta olduğundan daha fazla kalmaz. Tıpkı isteğe bağlı olarak uygulanan gübre gibi, havadan gelen reaktif nitrojen de topraktan suya veya havaya tekrar tekrar geçebilir. Reaktif nitrojen, plaka tektoniği dışında herhangi bir geri dönüşüm mekanizmasının erişemeyeceği bir okyanus tortusunda saklanana veya geldiği atmosfere atıl olarak geri dönene dek her türlü kılığa girmeye devam edebilir.³⁴

Ancak bazı reaktif nitrojenler, en azından bir asır boyunca, bu kavganın dışında kalmayı başarabilirler. Bunlar nitröz oksit şeklinde salınan azotlardır. Nitröz oksitler, troposferdeki NO_x 'i tüketen reaksiyonlara girmeyecek kadar karardır ve çözünür olmadıkları için yağmurla birlikte yere geri dönmeyizler. Ancak bu, çevresel bir etkisinin olmadığı anlamına gelmez. Nitröz oksit güçlü bir sera gazıdır. Bir nitröz oksit molekülünün bir yüzyıl boyunca oluşturduğu etkinin bir karbondioksit molekülünün etkisinin yaklaşık 300 katı olduğu hesaplanmıştır. IPCC, çoğunlukla tarımsal insan faaliyetlerinin, bu gazın atmosferik seviyesini yaklaşık beşte bir oranında artırdığını tahmin ediyor. Şu anda, insanlığın toplam azot oksit emisyonları tarafından atmosferde tutulan ısı miktarı, karbondioksit tarafından tutulanan ısı kadardır. Atmosfere eklenen nitröz oksidin çoğu, nitrojen üretiminin çoğu gibi, sadece son birkaç on yılda ortaya çıkmıştır.

Nitröz oksit onlarca yıl kalabilecek kadar kararlı olduğundan, stratosfere sürüklenmeye yetecek bir zamanı vardır. Oradaki ultraviyole ışık altında nihayetinde ozona saldıran NO_x bileşiklerine ayrışır. Paul Crutzen ve Harold Johnston'ın ozon tabakasına zarar veren kimyasal reaksiyonlarla ilgili ilk çalışması –onlar NO_x 'in süpersonik uçak filolarından geleceğini

³⁴ Belirli bir nitrojen molekülü, atmosfere geri döndükten sonra prensipte yeniden sabitlenerek oyuna tekrar girebilir ancak olasılıklar buna karşıdır. Yirmi birinci yüzyılın artmış hızında bile her yıl, atmosferdeki nitrojen stoğunun yalnızca on milyonda biri sabitlenmektedir.

düşünmüş olsalar da- tam da bu soruna bakmıştı. O uçaklar hiç inşa edilmedi; dünyanın dikkati, haklı olarak, CFClere kaydı. Ama artık CFC emisyonları kesildi ve stratosferdeki oranları sabit hale geldi; halbuki azot oksit emisyonları artmaya devam ediyor. Sonuç olarak, çoğunlukla tarım alanlarından gelen nitroz oksit emisyonları, ozon tabakasının iyileşmesini yavaşlatan diğer antropojenik kimyasal emisyonların yaptığından daha fazlasını yapıyor.

Bir Jeomühendis Nasıl Fark Edilir?

Sir William Crookes'un, meslektaşlarına, beyaz adamın buğday ve dumansız barutun avantajlarından yararlanmaya devam etmesinin garantiye alınması çağrısını yaparken, stratosfer hakkında hiç düşünmediği çok açıktır çünkü bunları stratosfer keşfedilmeden önce söylemişti. Gezegenin reaktif nitrojen stoğundaki artışın diğer yan etkilerinin çoğuna biraz daha fazla kafa yorduğu ise güvenle iddia edilebilir. Stratosferde olduğu gibi, bu tür endişeler bilim dünyasının henüz sahip olmadığı fikirlere bağlıydı.

Yirminci yüzyılın başında, dünyanın kuşatıldığına dair bir sezgi oluştuğunda, bu kuşatmanın çevresel sonuçları henüz yeni ortaya çıkmaya başlamıştı. Barry Commoner'ın, sonlu bir gezegende nesnelerin fırlatılabileceği bir "uzağın" olmadığı görüşü, hâlâ bir ömür ötedeydi. Düşük azot arındırma hızı yüzünden reaktif nitrojenle dolan yerküre sisteminin tüm nitrojen döngüsünü tersine çevireceği düşüncesi, biyojeokimyasal döngüler hakkında sadece bulanık bir fikre sahip olan Crookes ve çağdaşları için tuhaf bir şey olurdu.

Ve eğer Crookes bunu bilseydi yani ona, dünyayı, bilimin şimdi gördüğü gibi görme lütfu bahşedilmiş olsaydı, elbette dünyaya çeşitli şekillerde özen gösterilmesini isterdi. Belki de teknoloji kullanımının tek bir ülkeye verilmesi için çalışırdı. Ama havadan gübre çekme düşüncesinin ya da Fritz Haber'i

öven bir yazarın dediği gibi, havadan ekmek yapma vizyonunun, dünyaya vereceği zarara değmeyeceğini mi söylerdi, yoksa o da sıtma araştırmacısı Vogt'un *Road to Survival*'da sergilediği gibi, hastalığı iyileştirme ve daha fazla insanın yaşamasına izin vermenin nükleer savaş ölçeğinde ölümlere ve sefalete yol açacağı korkusunun pençesine mi düşerdi?

Sanmıyorum. Bu, imparatorluğun kalbinde yaşayan bir bilim insanının kolayca sahip olacağı türden bir tutum değildi. İlerde sorunlar olacaksa, bunların tıpkı küresel buğday kıtlığını öngördüğü gibi, öngörülmesi ve uygun çözümler aranması gerektiğini söylemesi çok daha muhtemel görünüyor. Yine, bir bilim insanı olarak, dünyanın dönmesi gerektiğini düşünecekti.

Keşke farklı düşünmüş olsaydı diyenler var. Organik tarım yapan ve diğer tüm çiftçilerin de bu yolu izlemesi gerektiğini düşünen bir çiftçi, dolaylı olarak endüstriyel nitrojen sabitlemenin olmadığı bir dünya ister. Böyle bir dünya neye benzer? Bugün nüfusun yarısının fiilen endüstriyel nitrojenle beslendiği göz önüne alındığında, böyle bir dünyanın önemli ölçüde daha düşük bir nüfusa sahip olacağını düşünebilirsiniz. Birçok kişi için bu bir artıdır. Çünkü çevreciler, azot devriminin en büyük zararının nüfusun bir kez daha ikiye katlanmasına izin vermesi olduğunu söyler. Günümüz nüfusunu yarıya indirmek için alelacele tasarlanan önlemleri çok azı savunacaktır ama görünüşe göre ikinci yarıyı hiç eklememiş olma fikri pek çok kişiye çekici geliyor. İnsanlığın çevre üzerindeki baskısının böyle bir dünyada kesinlikle daha az olacağını düşünüyorlar.

Oysa öyle olmak zorunda değildir. Demografik geçiş, uzun süredir durağan olan nüfusların, ölüm oranlarının düşmesi sayesinde hızla büyümesiyle başladı ve sonra, nitrojen devrimi gerçekleşmeden çok önce, doğum oranlarındaki düşüşün dünyanın birçok yerinde işleri düzeltmesiyle sona erdi. Vogt ve Osborn'un 1940'larda nüfus alarmı verdiği sırada gezegende

zaten iki buçuk milyar insan yaşıyordu. Yüzyılın geri kalanındaki nüfus dinamiklerini bu insanların sahip oldukları çocuk sayısı belirledi. Ve kaç çocuk yapacakları, gelecekte ne kadar yiyecek olacağına dair inançlarına bağlı değildi. Devam eden bir nitrojen jeomühendisliği olmasaydı da aşağı yukarı aynı sayıda çocuğa sahip olacaklarını düşünmek makuldür. Yani eğer nüfus yüzyılın ortasındaki düzeye yakın kalsaydı, bu daha az doğum nedeniyle değil, daha fazla ölüm nedeniyle olurdu.

Sentetik gübre olmaması yüzünden ölmek istemeyen ya da çocuklarının ölümünü görmek istemeyen bu insanlar, mevcut yiyecekleri arttırmanın başka yollarını arayacaklardı. Danimarkalı iktisatçı Ester Boserup yirminci yüzyılın ortalarında, Malthus'un betimlediği, tarımsal üretimin sürekli olarak zaten olabildiğince yüksek olduğu ve daima nüfus artışının gerisinde kalma riski altında kaldığı bir dünyanın pek de kendi gözlemlediği dünyaya benzemediğini savundu. Bunun yerine onun gördüğü şey, insanların ürettikleri yiyecek miktarını nüfuslarına uyacak şekilde değiştirdiğiydi. Yirminci yüzyılın ortalarındaki insanlar, üretimi ilave nitrojen yoluyla arttırmasalardı, başka yollar arayacaklardı.

Yirminci yüzyılın ilk yarısı, organik tarımın zorunlu olduğu bir gezegendeki muhtemel sonuçlardan birini gösteriyor: yani çok daha fazla toprağın sabanla sürüleceğini. 1940'ların nitrojen öncesi tarımsal verimiyle, günümüz nüfusunu beslemek için ne kadar toprak gerekeceğine dair hesaplar, ihtiyaç duyulan fazladan arazinin on yedi milyon kilometrekare yani kabaca Rusya büyüklüğünde bir alan olacağını gösteriyor.

Bu tür tasfiyeler belki yapılabilirdi. Azot devriminin büyüklüğü tam olarak anlaşılmadan önce, Malthusçuluğa karşı çıkan insanlar arazi kullanımında elli yıl sonra dikkate değer büyüklükte değişimler önermekten mutluydu. *Nature*'ın editörü John Maddox, 1972 tarihli *The Doomsday Syndrome* [Kıyamet Günü Sendromu] adlı kitabında, "Çok büyük alanlar verimsiz

tropik ormanlara kalıyor,” diye yazdı; “Örneğin, Amazon ve Kongo [nehir havzaları], bir milyardan fazla insanı beslemeye yetecek ve halen tarım için kullanılmayan bir milyar İngiliz dönümü [dört milyon kilometrekare] ekilebilir arazi içeriyor.” Dört milyon kilometrekare, Amazon ve Kongo yağmur ormanlarının toplam alanının yarısıdır. Dolayısıyla, organik çiftliklerden oluşan böyle bir dünyada vahşi yaşam alanı sıkışıp kalmış olurdu.

Azot bulunmasaydı, çiftliklerin her yere yayılacağı gerçeği, hiçbir şekilde o yerlerin iyi birer tarım arazisi olacağı anlamına gelmez. 1920 ve 30’larda, borç ve içten yanmalı motorların Amerikan ovalarını paramparça etmesi gibi, yeni tarım arazileri açma girişimi, muhtemelen Maddox’un tercih ettiği Amazon ve Kongo havzaları da dahil olmak üzere birçok yerde belki de başarısız olacaktı. Oradaki çiftçileri ekinlerinden ve ailelerini yiyeceklerinden mahrum eden ve ne insanlar ne de hayvanlar için uygun olmayan çok daha fazla toz çanağı oluşacaktı.

Çiftlik alanlarını ikiye katlanma çözümü muhtemelen gerçekçi değildir. Son altmış yıldaki verim artışından büyük oranda sorumlu olan şey sentetik gübreler olsa da tek faktör onlar değildir ve eğer onlar olmasaydı diğer faktörler daha fazla rol oynayabilirdi. Ancak gerekecek ilave tarım arazisi, Rusya’nın sadece yarısı kadar olsa bile çok fazla olacaktı. Aynı zamanda daha fazla çiftçi gerekecekti. Azotlu gübrelerin sağladığı verim artışı tarladaki emeğe bağlı değildi ve bazen bu ihtiyacı etkin bir şekilde azaltıyordu. Örneğin, hayvancılık ile ekip biçmenin birbirinden ayrılmasını teşvik etti zira benzer ve serpmeye hazır bir şey kolayca satın alınabildiği için hayvansal gübrenin değeri azalmıştı. Çiftçiliğin iki kolu arasındaki bu, Marx’ın deyimiyle “metabolik yarıklık”, makineleşmeyle birlikte üretilen gıda miktarı için çok daha az işçiye ihtiyaç duyulması sayesinde, her ikisinin de şimdiye kadar olduğundan çok daha büyük ölçeklerde yapılmasını sağladı.

Endüstriyel nitrojenin kullanılmadığı yüksek yoğunluklu tarım, karma çiftliklere daha çok yaslanmak zorunda kalacaktı. Bu tür iyi çiftliklerin çalışma şekli, büyük basit tek kültürlü çiftliklerden daha karmaşıktır ve bu nedenle, neredeyse kesin olarak daha fazla işçi gerektirir. Tarımdaki işgücü istihdamının artması, ekonomik bakımdan daha canlı olan alanlarda büyümeyi ve dolayısıyla genel olarak ekonomik büyümeyi yavaşlatır. Çiftliklerde çalışmak kuşkusuz tatmin edici olabilse de birçok insanın bir alternatif bulduğunda bu işi bırakmaya gösterdiği heves, bu türden çok daha fazla istihdama duyulacak bir ihtiyacın, sonuçta insanları mutlu etmeyeceğini gösteriyor.

Ve benim endüstriyel nitrojen sabitlemenin olmadığı böyle bir dünyaya dair tasvirim –çok daha az vahşi ve yaban hayatın olduğu, bazı ciddi bölgesel çevre krizlerinin bulunduğu, daha fazla insanın yoksul ve yaşamamayı isteyecek kadar sıkıntılı hayatlar sürdüğü, hem ekonomik büyümeye hem de genellikle kişisel özgürleşmeye hizmet eden şehirleşmenin daha az olduğu bir dünya– Boserupvari bir iyimserliği temsil ediyor. Oysa öyle bir dünya, Malthusçuların haklı olduğunu da ortaya çıkabilir ve toplu ölümler nüfusu bugünün üçte ikisine veya dörtte üçüne kadar indirebilirdi.

Bana öyle geliyor ki böyle bir sonuçtan kurtulmayı sağlayan nitrojen devrimi, Tom Wigley'nin iklim jeomühendisliğinin yaptığını düşündüğü şeye çok benzer bir şey yaptı: Nefes alma alanı sağladı. Küresel demografik geçişin, büyük miktarda araziye bozmadan ve başka hasarlara yol açmadan gerçekleşmesi için, fosil yakıt enerjisini kullanarak yerküre sisteminde yer açtı. Bunu yaparken epey karmaşaya neden oldu ancak çok daha kötü sonuçlarla karşılaşma riskini de azalttı.

Elbette bu çok daha iyi yapılabilirdi; nitrojen döngüsünü hızlandırmak ve yeniden yönlendirmek konusunda insanlar kuşkusuz bir karmaşa yarattı. Ancak müdahale ile karmaşayı birbirinden ayırt etmek mümkündür ve bence bu fark nitrojen

döngüsüne insan müdahalesinin bir jeomühendislik olarak değerlendirilmesini gerektiren son nedendir. İklim jeomühendisliği tartışmalarında, insanların zaten halen Dünya'nın yüzeyine, atmosferine ve biyojeokimyasal döngülerine büyük müdahalelerde bulunmasından dolayı jeomühendisliğin hâlâ devam etmekte olduğu fikri sık sık duyulur. Söz konusu fikir bazen, halihazırda olup bitenlerin bir devamı olacağı fakat bunun daha akıllıca ve daha iyi bir sonuç için tasarlanacağı düşüncesiyle bilinçli jeomühendislik lehine bir argüman olarak kullanılır. Bazen de mevcut karışıklıkların insanların bu tür küresel süreçlerle başa çıkamayacağını ve bu "jeomühendislikten" kaynaklanan sorunları bilinçli jeomühendislik ile çözmeye çalışmanın hem sonuçsuz hem de inatçı bir tavır olduğunu gösterdiği düşüncesiyle jeomühendisliğe karşı bir argüman olarak kullanılır.

Ancak David Keith'in belirttiği gibi, mühendislik yapmak ile ortalığı karıştırmayı özdeşleştirmek mühendislere karşı bir hakarettir. Mühendisler de diğer insanlar gibi genellikle ortalığı karıştırırlar ama yaptıklarının tamamı ve yapmak istedikleri bu değildir. Ayrıca yaptıkları şeyin kaçınılmaz bir sonucu olmak zorunda değildir. Sorun bir kez tespit edildikten sonra, çoğu zaman düzeltilir.

Şu anda nitrojen karmaşasını düzeltmek için çalışan birçok insan var. Amaçları endüstriyel nitrojen sabitlemeyi ortadan kaldırmak değil, kapsamını ve yan etkilerini sınırlamak ve sağladığı faydaları sürdürülebilir kılmaktır. Bunu bir dereceye kadar yapabilecek teknik yollar mevcut: örneğin, çok miktarda pazzarsız gübre üreten hayvan besi alanlarında azot giderici sistemler kurarak döngünün atmosfere dönüş ayağını hızlandırmak. Fakat bu tür yollar hikayenin tamamı olamaz. Küresel azot arındırmayı, Haber-Bosch yöntemine benzer bir teknolojik yenilikle hızlandırmak o kadar kolay değildir.

Bu, 120 bin teravatlık yerküre sisteminin işleyişi üzerinde bir etki oluşturmak için 15 teravatlık insan dünyasının bir kaldı-

raca ihtiyacı olduğu şeklindeki temel ilkeyi hatırlatıyor. Azot döngüsünde ve sonraki iki bölümde inceleyeceğimiz karbon döngüsünde kaldıraç görevi gören şey yoğunluktur. İnsanlar, döngü içinde elementin en yoğun olduğu noktada devreye girerek kendi etkilerini oluştururlar. Azotun en yoğun olduğu depo atmosferdir. Döngüdeki şeylerin dağınık ve seyreltik olduğu aşamaları kavramak çok daha zordur ve nitrojen havanın yüzde 80'ini oluştururken, çevredeki reaktif nitrojen milyarda bir parçacık mertebesindedir.

Bu nedenle, reaktif nitrojenin çevre üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için çeşitli teknolojilere ihtiyaç duyan bilim insanlarının bundan daha fazla ihtiyaç duydukları şey, meslektaşlarının ve halkın kendilerine daha fazla dikkat etmesi ve politikada bir role sahip olmaktır.

Nitrojen döngüsünün jeomühendisliğin işe yarayan bir örneği olduğu düşüncesini ilk kez, böyle bir dikkate değer bilim insanlarından biri olan ve Edinburgh Karasal Ekoloji Merkezi'nde çalışan Mark Sutton'dan duydum. Nitrojen döngüsünün tarihini, bu bölümde olduğu gibi, öğrenmek beni haklı olduğuına ikna etti. Ama çalışırken yani bilim insanlarını o Avrupa Azot Tespiti raporunu hazırlamak üzere koordine ederken, çiftçilik ve beslenme konularında uygulanan nitrojen politikasının belirli yönlerine bakmak için toplantılar düzenlerken, uluslararası anlaşmalar ve protokollerden oluşan bir ilkeler bütününün çeşitli alt komitelerine katılırken ve sorunların ele alınabileceği ittifakları bir araya getirirken izlemek de ikna olmamda işe yaradı.

Bana öyle geliyor ki Sutton ve dünyanın dört bir yanından meslektaşlarının oluşturduğu ağ, tüm bunları yaparak William Crookes, Rockefeller Vakfı, Lyndon Johnson ve Çin Komünist Partisi Merkez Komitesi'nin başlattığı işi sürdürmüş oluyor. Nitrojen döngüsüne müdahaleyi mevcut seviyeye çıkaran ve açıkça beyan edilmiş dünyayı, ülkeler, kıtalar ve

insanlık ölçeğinde bir bütün olarak değiştirme niyeti, Sutton ve arkadaşlarının Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi'ni güçlendirme arayışlarında veya Avrupa Birliği'nde çiftliklerin sübvansede edilme şeklini değiştirmeyi savunuşlarında ya da varlıklıkların et tüketimini azaltma ısrarlarında veya nitröz oksitlerin Viyana Sözleşmesi'ne –halihazırda Montreal Protokolü aracılığıyla stratosferi koruyan sözleşme– dahil edilmesini istemelerinde ya da Malavi'de satılacak gübreler için pratik yeni formüller aramalarında hâlâ görülebiliyor.

Bu insanlar nitrojen döngüsüne insan müdahalesini durdurmaya çalışmıyorlar. Hiçbiri modern dünyanın Haber-Bosch yöntemi olmadan çalışabileceğini tasavvur dahi etmez. Onlar boş harcanan nitrojen miktarını, dolayısıyla üretilmesi gereken miktarı azaltarak insan müdahalesinin toplam büyüklüğünü azaltmayı amaçlıyor. Ama bu basit bir geri çekilme değildir. İnsanların nitrojen döngüsünü manipüle ederken gösterdiği özen ve düşünceliliği, sahip oldukları teşvik ve güvenceleri güçlendirmeye çalışırken müdahalenin genel etkisini azaltmaya çalışmalarına rağmen derinliğini ve zekasını artırmış oluyorlar. Bunu, vergi sistemi ve anlaşma yükümlölüklerine ve aynı zamanda sağlıkla ilgili tavsiyeler ve sosyal normlar alanına da taşıyorlar. Onların, mühendisliği karmaşı yaratmaktan ayırma ve öncekilerin oluşturduğu sistemi, sağladığı ilerlemeden ödün vermeden temizleme çabası bilinçli, küresel ölçekli ve ilham vericidir.

Bana öyle geliyor ki jeomühendisliği tanımanın bir yolu, kendini işine adanmış jeomühendisler görmektir.

KARBONUN DÜNÜ VE BUGÜNÜ

Sekiz yaşında bir çocuktum, babamla kum tepelerinin üstünde yürüyorduk. “Etrafına bak,” dedi. “Görebildiğin her şey gerçekten orada. Fakat her şeyin arkasında, gözlerin göremediği bir gizem var. Eğer çok gayret edersen, o dünyaya bir göz atabilirsin ama asla hepsini göremezsın.”

Peter Westbroek, *Life as a Geological Force* (1991)

Her hikayenin yanından geçen veya tersi yönde ilerleyen bir başka hikaye vardır. Dedektif için bir cinayetle başlayan hikaye, suçlu için bir sonraki ölümün yarım kalmış hikayesidir. Vahşi doğaya kaçış, yanında, artık vahşi olmayan ancak medeni gözlerle görülebilen bir vahşi doğa öyküsünü de götürür. Ay’a gittiğinizde, Dünya’nın oradan görülen haliyle karşılaşsınız. On dokuzuncu yüzyılda, insan imparatorluğunun kendi sınırlarına ulaştığını anlatan hikaye, anlatıldığı sırada bile o sınırların da artık geçmişte kaldığına dair başka hikayelerle karşılaşmıştı.

Tekil atomların kendilerini tüm dünyaya gözle görünür enerji patlamalarıyla duyurduğu radyoaktivite 1897’de keşfedildi. Ernest Rutherford ve Frederick Soddy bu fenomenin bir açıklamasını 1903’te yaptı: Bir elementin atomları başka bir

elementin atomlarına dönüşüyor ve bu sırada iç enerjilerinin bir kısmını serbest bırakıyorlardı. Bu “dönüşüm” (mistik bir yönü olan kimyager Soddy bu kelimeyi sevmiştir; ciddi bir fizikçi olan Rutherford, terimin simyasal imalarına karşı temkinliydi) iç enerjinin fevkalade büyük olduğunu gösterdi. Sir William Crookes, İngiliz gazete okurlarına bir gram radyumdaki enerjinin tüm kraliyet donanmasını bir kilometre kadar yukarı kaldırmaya yeteceğini söyledi.

Rutherford, bu enerjiyi atomik sınırlarından sonsuza dek özgürleştirme imkanını küçümseme eğilimindeydi. Soddy buna daha çok meraklıydı. Soddy, H. G. Wells’in 1914 tarihli *The World Set Free* [Serbest Kalan Dünya] adlı romanına ve yirminci yüzyılın nükleer hülya ve kabuslarından pek çoğuna ilham veren, 1909 tarihli *The Interpretation of Radium* [Radyum Yorumu] adlı kitabının dikkat çekici son bölümünde, radyum atomlarındaki ve prensipte diğer tüm elementlerdeki olağanüstü enerjiden faydalanmanın ne anlama gelebileceğini ortaya koymuştu.

Soddy, insan imparatorluğunun tüm dünyaya yayılan endüstriyel ihtişamına karşın okurlarına, Edwardyen bir medeniyeteki yaşamın “tarımdan ve ateş yakma araçlarından habersiz, yerli bir yabanın yaşamından biraz daha iyi” olacağını anlattı. Oysa radyum üzerine yapılan araştırmalar, “insanın mümkün ve kalıcı olan tek şansının (...) doğal enerjinin yalın kalıntıları üzerinde verilen zorlu bir var olma mücadelesi” olmadığını gösterdi. Dünyada “yaşamı destekleyen enerjinin, bilginin sınırlarının dayattığı sınır dışında bir hududu yoktu (...) Gelecek için tamamen yeni bir perspektif (...) daha önce söylenenlerden çok daha büyük maddi bir kader açılmıştı.” Sunulan Prometeyen güçler iklime bile uygulanabilir, “çölleşmiş kıtaları dönüştürmeyi, donmuş kutupları çözmeyi ve tüm dünyayı tek ve mutlu bir cennet bahçesi haline getirmeyi” mümkün kılabilirdi.

Yirminci yüzyıl enerji bakımından gerçekten de eşi görülmemiş bir bolluk çağına tanık oldu. Ancak Soddy ve atomun

gücüne benzer şekilde hayran kalan sonraki bilim insanlarının beklentisinin aksine, dönüştürücü enerji atomdaki enerji değildi. Büyük sosyal teorisyen Ernest Gellner, milliyetçiliğin yükselişine dair Marksist “yanlış adres teorisini” taklit ediyordu, “tarihin ruhu” on dokuzuncu yüzyılda “korkunç bir yanlış yapmıştı”, işçi sınıfına kazandırması gereken yüksek kolektif bilinci onun yerine uluslara teslim etmiş ve böylece sosyalizmin kırmayı amaçladığı prangaların çoğu biraz daha güçlenmişti. Bununla, Soddy ve Wells’in atomdan geldiğini, dünya hükümetlerine yön verdiğini, savaşın ortadan kalkmasına ve bereketli bir bolluğa yol açacağını düşündükleri eşi görülmemiş büyüklükteki enerjinin, bunlar yerine, zaten var olan, o günden bu yana fosil yakıtlardaki karbon ve hidrojen den güç alan ve yine o günden bugüne ulus devletler tarafından yönetilen endüstriyel bir ekonomiye aktarılmasında garip bir benzerlik vardı.

Bunun, yirminci yüzyılda radikal bir dönüşüm yaşanmış olmasından ziyade enerji alanında olağan bir iş yapıldığı anlamına geldiğini düşünüyorsanız, fosil yakıtların neler yaptığına bir bakın. 1900’de, odun ve diğer biyokütlelerin yakılmasını bir süreliğine ihmal edersek, dünyanın toplam birincil enerji arzı, neredeyse tamamen odun ve fosil yakıtlardan elde edilen 33 exajoule idi.³⁵ 2000 yılında yaklaşık 400 exajoule oldu ve bunun yüzde 85’inden fazlası hâlâ fosil yakıtlardan geliyordu. Böylece nüfusun iki kere iki katına çıktığı bir yüzyılda, fosil yakıtlardan elde edilen enerji miktarı dört katına çıktı; buna bağlı olarak dünya gayrisafi milli hasılasının da (GSYİH) dört katına çıkması gibi. Kömür, petrol ve gaz her zamankinden daha bol ve daha ucuz hale geldi. Petrol üretimi 1920’den 1970’e kadar on kat artarken petrol fiyatları üçte birine indi. Soddy için bir yakıt bile olmayan doğal gaz büyüyerek

35 Bir milyar kere milyar joule olan exajoule, kolayca hissedilebilecek bir birim değildir. Bu kadar büyük enerjileri tanıdık bir şeye benzetmek kolay değildir. Eğer işe yarayacaksa, bir exajoule, 164 milyon varil petrol veya 278 teravat-saatteki enerjiye eşittir.

yüzyılın sonuna dek toplam enerji miktarının yüzde 20'sinden fazlasını oluşturmaya başladı; diğer şeylerin yanı sıra, nüfusun ikinci kez iki katına çıkmasında hayati önem taşıyan endüstriyel gübre fabrikalarına da güç sağladı. Atom enerjisi ise ancak yüzde 5'e ulaşmıştı.

Bu etkileyici rakamlar, yüzyılın enerji dönüşümünün gerçek büyüklüğünü olduğundan az gösterir. Gerek belirli bir enerji miktarıyla yapılan faydalı iş miktarı, gerekse yapılan iş türlerinin genişlemesine bağlı olarak kullanılan toplam enerjideki olağanüstü büyümenin etkileri katlandı. Soddy ve Rutherford'un simya tartışmaları yaptığı sıralarda, buhar motorlarının pistonlarını hâlâ muhtelif yakıtlar çalıştırıyordu ama çok daha verimli buhar türbinleri, çok daha hafif içten yanmalı motorlar gibi varlığını hissettirmeye başlıyordu. Bu teknolojiler her zamankinden daha kabiliyetli ve daha uygun fiyatlı hale geldi; makinelerin yük hayvanlarının ve insanların yerini almasını veya onların yaptığı işleri geliştirmesini sağladı. Elektrik, fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin daha verimli ve çok daha çeşitli endüstriyel ve evsel amaçlar için daha temiz bir şekilde kullanılmasını sağladı. Vaclav Smil'e göre dünya 1900'de yaklaşık 0.2 exajoule elektrik tüketiyordu (bu kabaca Massachusetts'in bugün kullandığı elektrik kadardır). 2000 yılında bu rakam 2 bin 300 kat arttı.

Daha fazla yakıt ve daha iyi teknolojiler, hayal dahi edilmeyenleri mümkün hale getirdi. Yüzyılın ilk yarısında kömürün ekonomideki olağanüstü rolü, madencilere ekonomi üzerinde daha önce hiçbir iş kolunun sahip olmadığı bir güç sağladı. Bu, organize emeğin kaderini ve sanayileşmiş ülkelerdeki siyasi yaşamın temelini değiştiren bir güçtü. Uluslararası ilişkiler de değişti. Kimse, Crookes'un radyum için hayal ettiği gibi, fosil yakıtları tüm donanmayı kaldırmak için kullanmadı. Ancak on dokuzuncu yüzyıl okyanuslarında görülenlerden çok daha korkunç silahlı hava kuvvetlerini kaldırdılar ve fosil yakıtlar, fosil yakıtla sabitlenmiş nitro-

jenle birlikte, Wells'in önceden haber verdiği savaşlardaki kadar büyük bir katliamı gerçekleştirilebilir hale getirdi. Soddy'nin en uzak hayali, atom enerjisinin diğer gezegenlere giden yolu açacağıydı. Fakat kitabının yayımlanmasından altmış yıl sonra, gigavat mertebesinde güce sahip motorlar, *Apollo 8*'i fırlatma rampasından kaldırırken bunu Soddy ve Rutherford'un laboratuvarındaki parafin ısıtıcılarından biraz farklı olan bir uçak yakıtı ile yapıyordu. Donmuş kutupların çözülmesi meselesinde ise fosil yakıtlar konuyu, üzerinde hiç uğraşmadan ele almıştı bile.

O halde, şayet bu kadar yanlıssa (ya da en azından yanlışı aktarılmışsa) Soddy'nin Prometeyen atomik spekülasyonlarını neden anlatıyorum? Nedenlerden biri, yirminci yüzyıl bir şekilde bir kapanış gibi hissettirmesine rağmen kendisini bir açılış olarak da sunduğunu ve radyasyon ve atomdan başka hiçbir şeyin bu yenilikten onlar kadar söz etmediğini vurgulamaktır. Bu atomik hayallerin fosil yakıtlar tarafından ne ölçüde gerçekleştirildiğini görmek, o yüzyılın merkezi bir gerçeğini yani fosil yakıtların dünyayı hiçbir tarihsel benzeri olmayan bir ölçüde şekillendirdiğini daha iyi anlamayı sağlar. Diğer bir neden de, atomik rüyaların hayal gücü için ne anlama geldiğini takdir etmenin önemli olduğunu düşünmemdir. Atom bombası yirminci yüzyıldaki felaket senaryolarını nasıl şekillendirdiyse, atomun potansiyelini barış için kullanma imkanı da birçok ilgili senaryoyu şekillendirmiştir. Soddy, bu hayalleri ilk dile getirenler arasındaydı.

Ve bu bölüme Soddy ile başlamak için üçüncü bir neden daha var. O, radyum araştırmasının sadece enerjiye erişimi artırması açısından ne anlama geldiğinden bahsetmedi. Ayrıca, insanın geçmiş ve gelecek zaman deneyimini genişletmesi açısından ne anlama geldiğinden de bahsetti. Bu bölümdeki tartışmayı, bir sonraki bölümde ele alacağımız karbon jeomühendisliği yerine, insanları şekillendiren ve insanların şekillendirmeye başladığı, yerküre sisteminin yaşam ile iklim

arasındaki en derin bağlantılarına aracılık eden karbon döngüsünün geniş zaman dilimlerine ayırmak istiyorum.

İnsanlığın nitrojen döngüsüyle ilgili hikayesi, yirminci yüzyılın çerçevesine oldukça iyi oturur. Yüzyılın başında insanlar nitrojen döngüsünde küçük bir rol oynuyordu. Yüzyılın sonunda ise onu ele geçirmişlerdi. Oysa insanoğlunun karbon döngüsüyle ilişkisinin öyküsü, yüz milyonlarca yıl geriye ve binlerce yıl ileriye kadar uzanır. Bu nedenle zamanın, dünyada radyoaktiviteden önce hiçbir ölçüsü olmayan derinliklerine inmemiz gerekiyor.

On dokuzuncu yüzyılın sonunda hissedilen kapanma duygusunun bir kısmı fiziğe havale edilebilir. On sekizinci yüzyıldan itibaren, Dünya'nın muhtemelen bir kuyruklu yıldızın güneşe çarpmasıyla sıcak bir şekilde doğduğu ve ardından yavaş yavaş soğuduğu yaygın olarak kabul ediliyordu. Aynı şekilde atmosferin de uzaya doğru çıktıkça soğuduğu ve incelendiği düşünülüyordu. On dokuzuncu yüzyılda termodinamiğin ikinci yasası yani faydalı işler yapılacaksa sıcaklık farklılıklarının gerekli olduğunu söyleyen yasa, bu fikre uzun süreli yeni bir ümitsizlik kattı. Sıcak şeyler soğudukça, onlarla dünyanın geri kalanı arasındaki faydalı sıcaklık farkı azalır ve bu, buhar makineleri için ne kadar geçerliyse güneş sistemleri için de o kadar geçerlidir. Ve böylece dünya için yeni bir son tahayyül edildi: Sıcak olan her şeyin soğuduğu, soğuk olan her şeyin ısındığı ve anlamlı herhangi bir etkinliğin mümkün olmadığı bir "ısı-ölüm" yani daha önce Wells'in *Zaman Makinesi* adlı kitabının son sayfalarında anlatılan, şişmiş ve ölmekte olan güneşin gökyüzünü kırmızıya boyadığı neredeyse cansız bir Dünya'dan oluşan entropik son.

Soddy, *The Interpretation of Radium*'da bu termodinamik karamsarlığın, on dokuzuncu yüzyıl fizikçilerinin çalışmalarının insanlar için ne anlama geldiği hakkında pek konuşmamaları için iyi bir neden oluşturduğunu yazmıştı zira sonuçlar çok iç

karartıcıydı. “Eğer oyun alanı, yavaş yavaş ölen ve eninde sonunda sahip olduğu her şeyi kaçınılmaz bir kıyamete taşımaya mahkum olan bir dünya ise, tarihin ve biyolojik bilimlerin söylediği durmaksızın devam eden medeniyet mücadelesinin amaca nedir?” diye soruyordu.

Radyoaktivite bunu, ortaya, yalnızca yeni enerji kaynakları değil, aynı zamanda bu kaynakların kullanılabileceği ve keyfinin çıkarılabileceği yeni zaman alanları da çıkararak değiştirdi. Radyoaktivitenin bilim tarafından o zamana kadar fark edilmemesinin nedeni, doğanın atomun muazzam enerjisini olağanüstü yavaş bir hızda salmasıydı. “Radyoaktivite,” diye yazdı Soddy, “bizi, tamamlanması milyarlarca yıl süren hadiseleri laboratuvarında soğuk kanlı bir şekilde araştırmaya alıştırdı. Bu tür süreçlerin, zamanı, bir anlamda geniş bir ölçekte yok ettiği söylenebilir. Başka bir deyişle, geçmiş ve gelecek zamanın olası kapsamı, tek bir sıçrayışla muazzam ölçüde artmıştır. Bizler artık sadece yavaş yavaş ölmekte olan bir dünyanın ölmekte olan sakinleri değiliz.” Termodinamiğin ikinci yasası yürürlükten tam olarak kalkmamıştı; işler hâlâ yokuş aşağı gidiyordu. Ancak yokuş daha önce düşünülenenden çok daha büyüktü.

Zamanın bu yeni genişliğiyle tanışan Soddy hem geçmiş hem de gelecek zaman içinde yaşanan muazzam büyüklükteki kozmik yaratılış ve yıkım döngülerini, atom enerjisinden yararlanan farklı ırklara ait kayıp uygarlıklarla birlikte tasavvur ederek ortaya büyüleyici bir hayal gücü koydu. (Onun, buzulları eritmek ve çöllere hayat getirmek için atom enerjisi kullanmaya yönelik açıklamaları, geleceğe dair umut veya tahminler olarak değil, geçmişin kayıp çağlarında neler yapılabildiğine dair spekülasyonlar olarak sunuldu.) Ancak başkaları, yeni olasılıklara daha pratik bir yaklaşım getirdi.

Termodinamik, Dünya’nın soğuması için yalnızca kasvetli bir son ısı-ölüm noktası belirlememişti, ayrıca soğuma hızının nitel bir biçimde tahmin edilmesini de sağlamıştı. Bu tahminler, Dünya’nın belki de yüz milyon yaşında olduğunu ileri

sürüyordu. Benzer hesaplamalar, Güneş'in de (o da basitçe, soğuyan sıcak bir şey olarak tasavvur edilebilir) bundan çok yaşlı olmadığını söylüyordu. Böylece termodinamik yalnızca geleceği değil, inceledikleri kayaların ve içlerindeki fosillerin çok daha yaşlı bir gezegene işaret ettiğini düşünen jeolog ve paleontologları afallatacak şekilde geçmiş de sınırladı. Rutherford, 1904'te radyoaktivitenin bu anlaşmazlığı çözebileceğini öne sürdü. Genç bir İngiliz jeolog olan Arthur Holmes, 1911'de, uranyum ve bazı uranyum atomlarının bozulduğu kurşun arasındaki orana dayanan bir radyolojik tarihleme yöntemi kullanarak, kayıtlardaki en eski dönemden hayli uzak olan Devoniyen çağından kalan bir kayaya 370 milyon yıllık bir yaş tayin etti. Dünya açıkça ya bir milyar yaşında ya da bundan daha yaşlıydı.³⁶

Yirminci yüzyıl pek çok açıdan kısıtlanmış ve kalabalık görünse de geriye dönüp bakılması gereken zamanın genişliği açısından benzersizdi. Yavaş radyoaktif süreçlerin izlenmesiyle, o güne kadar elde edilen en ince ve en kesin tarihleme yöntemleri, Dünya'nın yaşını, 1950'lerde 4.5 milyar yıla ulaşana kadar geri itti ve orada durdu. Yaşamın tarihi de aşağı yukarı bu kadardır.

Karbon döngüsü, bakterilerin karbonu sabitlemek için güneş ışığındaki enerjiyi kullanmayı öğrendiği çok erken bir tarihte, modern yöntemle benzer bir şeye dönüşmeye başladı. Karbonu sabitlemek, nitrojeni sabitlemek gibi, havadaki atıl gaz formunu alıp biyolojik olarak yararlı bir şeye dönüştürmek anlamına gelir. Atıl atmosferik karbon, karbondioksittir; karbondioksidi sabitlemek, oksijenin uzaklaştırılması demektir ve buna indirgeme denir. Karbon, fotosentez yoluyla indir-

³⁶ Radyoaktivite sadece önceki fikirlerin yanlış olduğunu ispatlayan tarihler vermekle kalmadı, aynı zamanda büyük ölçüde neden yanlış olduklarını da açıkladı. Dünya, manto (yer kabuğu ile yerin çekirdeği arasında kalan bir katman) bozulması sırasında sürekli olarak radyoaktif elementler şeklinde kaybedeceği yeni ısıyla donatılır; güneş, radyoaktif dönüşümler yoluyla ısı olarak kaybettiği enerji kadar enerji üretir.

gendikten sonra, çok çeşitli şeker, protein, yağ, nükleik asit ve canlıların yapı taşı olan diğer tüm “organik” moleküllerde kullanır. Tüm bu indirgenmiş sabit karbonlar daha sonra başka canlılar tarafından yenebilir.

Herhangi bir maddeyi indirgemek için bir elektron kaynağı gerekir. İlk fotosentezciler, ihtiyaç duydukları elektronları muhtelif kimyasal bileşiklerden elde ediyorlardı fakat bir süre sonra bir grup, elektronları sudan elde etmenin etkileyici bir yolunu buldu ve bu işlemin sonunda serbest oksijen açığa çıkıyordu. Bu, yerküre sisteminin çalışma şeklini, yaşam tarihindeki diğer tüm evrimsel yeniliklerden daha fazla değiştirdi. Çıplak gözle görülebilen tüm yaşamın o ya da bu ölçüde bağlı olduğu metabolik yolları açtı ve karbon döngüsünü bugünkü haline getirdi. Fotosentezciler karbondioksit ve sudan, indirgenmiş organik karbon ve oksijen üretirler; diğer hemen her şey bu oksijeni (veya onun bir türevini), indirgenmiş karbonu tekrar karbondioksit ve suya dönüştürmek üzere kullanır ki buna solunum denir. Fotosentezcilerin sabitlediği karbonun neredeyse tamamı, bitkileri yiyenlerin veya bitkileri yiyenleri yiyenlerin solunumu yoluyla hızla yeniden salınır. Sabit karbonun küçük bir kısmı yenilmekten kurtulur ve tortullara gömülür.

Karada yaşayan likenler, göl ve nehirlerde yaşayan algler de olmasına rağmen Dünya tarihinin çoğu için, bunların neredeyse tamamı denizlerde yaşamaya devam etti. Fakat 500 milyon yıldan biraz daha az bir süre önce, bitkiler ilk kez karaya çıktı. Karbon Dönemi’nde kıtalar –o sırada tek bir büyük süper kıta olan Pangea halinde bulunuyorlardı– ormanlar ve bataklıklar açısından zengindi. Ve oksijenin kıt olduğu bataklıklarda, indirgenmiş karbonun indirgenmiş halde kalması ve kömüre dönüşmesi mümkündü. Milyonlarca yıllık güneş ışığı trilyonlarca ton kayaya hapsedildi.

Ve öylece kaldı. Pangea’nın dağılıp Atlantik Okyanusu’nun Amerika kıtasını dünyanın geri kalanından ayırdığı, dinozorların egemenliğini sürdürdüğü, bitkilerin ilk kez çiçek

açtığı, Himalayalar'ın tropopoza dokunmak üzere okyanusun tabanından yükseldiği bütün o yüz milyonlarca yıl boyunca, trilyonlarca ton kömür yerin altında saklı kaldı. Ve şu anki kullanım hızıyla, insanlar bunun tamamını bin yıldan kısa bir süre içinde yakıp bitirecek.

Dünya'nın kömür ve petrol oluşturmak için harcadığı süre ile insanların tüm rezervi yakabileceği süre arasındaki dikkate değer zıtlığı ilk görenlerden biri Alfred Lotka'ydı. *Elements of Physical Biology* (1925) adlı eseri, bu duruma ilişkin oldukça ileri görüşlü bir değerlendirme içerir:

Fosilleşme süreci yavaştır ve kısa dönemlerde karbon döngüsünü kendi başına önemli ölçüde etkilemez. Bununla birlikte, kozmik bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, kısacık bir parıltıyı temsil eden ama bizim için yani yirminci yüzyıldaki insan için büsbütün aşkın bir öneme sahip bir fenomeni ortaya çıkardı: Büyük sanayi çağı geçmiş jeolojik çağlarda biriken fosil yakıtların sömürülmesi üzerine kuruludur ve günümüzde buna kaçınılmaz biçimde bağımlıdır.

İyimser olmak ve insanlığın gidişatıyla ilgili bu büyük selin sonunda, kendimizi daha güvenli bir limanda bulacağımıza inanmak için pek çok nedene sahibiz. Orada, bizi limana götüren yakıtın tükenişini, o sırada, zamanın sonuna kadar yapacağımız bütün yolculuklara fazlasıyla yetecek, pratikte yok edilemez kaynakların kilidinin açılmış olduğunu bilerek, tarafsız bir zihinle izleyeceğiz. Ancak olayların nihai seyri ne olursa olsun, zamanımız fazlasıyla değişik bir çağdır. Ekonomik bakımdan kendi sermayemizin üzerinde yaşıyoruz ve biyolojik olarak doğal solunum süreçlerinin ürettiğinden on kat fazla karbondioksidi, kömür ocakları ve metalürjik fırınlardan atmosfere salarak karbon döngüsündeki payımızı kökten değiştiriyoruz. Bu tek ögenin ne kadar bir büyüklüğü temsil ettiği, tek başına bu insan faktörünün yaklaşık beş yüz yıl içinde, şayet oyuna herhangi bir telafi edici etki dahil olmazsa, tüm atmosferdeki karbondioksit miktarını iki katına çıkaracağı gerçeğine dikkat çekildiğinde anlaşılacaktır.

Lotka'nın fosil yakıt rezervlerinin tükenmesini, zamanı gelince telafi edecek hangi "pratikte yok edilemez kaynakların" bulunmasını beklediğini bilmiyorum. Atom enerjisini kastetmiş olabilir zira bu kesinlikle bildiği bir konuydu. Ayrıca bir tür yenilenebilir enerji düşünüyor olması da muhtemel çünkü kitabının ilerleyen bölümlerinde, kömürden elde edilen enerjinin 5 bin katına tekabül eden rüzgar gücünden ve okyanus akıntıları ile hidroelektriğin potansiyelleri bakımından benzer şekilde muazzam büyüklüklerde olduğundan bahsediyor. Bu, John Adolphus Etzler'in ütöpik yenilenebilir enerji düşüncesini hatırlatan bir dildir. İnsanların sadece beş yüz yılda karbondioksit seviyesini iki katına çıkarabileceğini hayal etmenin, o zamanlar için dramatik bir iddia olduğunu biliyorum. Oysa bugün bunun eksik bir tahmin olduğunu biliyoruz çünkü bu sadece tek bir yüzyıl içinde gerçekleşebilir.

Antroposen

Antroposen düşüncesinin merkezinde, Dünya'nın, kendi başına gerçekleştirebilmesi için, üzerinde milyonlarca yıl çalışması gereken değişiklikleri, insanların kendi yaşamları esnasında yapabilmesi gerçeği yer alır. 2000 yılında Paul Crutzen'in bu fikri öne çıkarmasından bu yana Antroposen, küresel değişimlerle ilgilenen pek çok insan tarafından bir tanımlama aracı olarak kullanılıyor. Bazı doğa bilimcileri bunu, insanın yerküre sistemine ne kadar derin bir müdahalede bulunduğunu vurgulamanın bir yolu olarak görüyor. Kimi sosyal bilimciler ve tarihçiler de, sosyal ve doğa bilimleri arasındaki modasının geçtiğini düşündükleri bariyerleri yıkmak için bunu yararlı bir yol olarak görüyor. Lowell'ın Mars'ından bahsederken, gezegenin fiziksel durumu ile sakinlerinin amaçlarının birbirine bağlanması gerekliliği gibi, yerküre sistemi hakkındaki konuşmalar da insani olanla daha önce insanlık dışı görülenlerin iç içe geçişini anlatmanın yeni bir yolunu bulmak zorunda kaldı. Beşeri eylemi, gezegenle ilgili mevcut bilimlerin merkezi

haline getiren Antroposen adı, bu büyük yeni yönelimin gerçekleşebileceği bir alan olarak görülüyor.

Aynı zamanda birçok insan da bu fikre direniyor. Bazıları bunu yaygın bir propaganda ve kimi bilim insanlarının, yerküre sistemine beşeri müdahalenin boyutu ve tehlikesi hakkında kendi görüşlerine ağırlık katmak için, isimleri koyanlar olarak sahip oldukları güçten yararlanmaya çalıştıkları çarpıcı bir ad olarak görüyor. Bunda bir doğruluk payı var. Crutzen kurnaz bir adamdır ve belli bir ajandayla hareket eder, onu takip edenler de öyle. Bununla birlikte, dünyaya belli bir şekilde bakmayı savunanlar için uygun olması, bu adı başlı başına geçersiz kılmaz.

Bazıları, amacın bunu tersine çevirmek olması gerekirken, insanın yerküre sistemine yaptığı müdahalenin seviyesini meşrulaştırdığı gerekçesiyle bu kavrama itiraz ediyor. Antroposen'den bahsetmek, çevreyle ilgili tartışmaları, yerküre sistemi üzerindeki insan egemenliğini yönetecek en iyi stratejilere doğru kaydırıyorsa ve böyle bir fikri desteklemeyi kararlı bir şekilde reddetmekten uzaklaştırıyorsa, bu, çevresel düşüncede doğaya temelden dönüş fikrinin terk edildiği anlamına gelir. Bu analize göre, Antroposen hakkında konuşmanın tek anlamı, ondan bir an önce geri çekilme ve mümkün olduğunca çabuk bir şekilde daha doğal bir çağa geri dönme bağlamında olabilir.

Bazıları ise Antroposen'i bir kategori hatası olarak görür. İnsanların gezegene yaptığı bu büyük kötülüğün, jeolojik adlandırma kurallarının dayattığı katı ve nesnel sınırların arasına sıkıştırılmasının hem jeoloji disiplininin inceliklerine hem de insanın doğa üzerindeki etkilerini çevreleyen söyleme zarar verdiğini söylerler. İnsanların yerküre sistemi üzerindeki etkisi, bir deniz seviyesinin hareketinden, bir dağ silsilesinin yükselmesinden veya bir asteroidin çarpmasından, anlam yönüyle, daha büyük, daha garip ve daha zengin bir şeydir. Evet, bu da yine kötü bir nokta değildir.

Antroposen teriminin gerek kabul edilmesi gerekse karşı çıkılması için geliştirilen muhtelif argümanlar hakkında söylenecek çok şeyin olması, bu kavramın ne kadar önemli ve paradoksal olduğunu gösteriyor. Paradoks özetle şudur: İnsanlar o kadar güçlendiler ki doğal bir güç haline geldiler, oysa doğal güçler tanım gereği, beşeri kontrolün ötesinde kalan şeylerdir.

Antroposen yanlıları, nitrojen döngüsüne hakim olma, büyük miktarda toprağın yerini buldozer ve sabanlarla değiştirme, tortuların denize akma hızını büyük ölçüde artırma, farklı kıtaların türlerini bir araya getiren yepyeni ekosistemler yaratma ve canlı türlerini çok büyük bir hızla yok etme gibi insanın artık doğayı geride bıraktığı tüm yollara işaret edebilirler. Beşeri faaliyetlerin, Soddy'nin sözünü ettiği zaman aralıkları boyunca korunacak yönlerine işaret ederler. Jeologlar bunu önemser zira Amsterdam, İskenderiye veya Adelaide gibi şehirleri oluşturan ilginç metal ve taş karışımı kalıntılar var olduğu sürece, bunlar fosil kayıtlarında tanınabilir olacaktır.

Ancak eğer Antroposen için bir A-göstergesi varsa, bu karbondioksit seviyesidir. Sanayi devriminden önce karbon döngüsü büyük ölçüde dengede idi. Karasal bitkiler fotosentez yoluyla yılda yüz milyar tondan fazla karbonu bünyelerine alıyordu, elli milyar tonu da okyanustaki mikroorganizmalar tarafından sabitleniyordu; solunum ise aynı miktarda karbondioksidi atmosfere geri veriyordu. Döngünün geçtiği, kolayca erişilebilen üç karbon havuzu –atmosfer, organik biyosfer ve okyanuslarda çözünmüş karbon stoğu– boyut olarak neredeyse sabitti. Biyosfer, atmosferden üç ila beş kat daha fazla karbon içeriyordu ve bunun çoğu canlı bitkilerden ziyade topraktaydı. Okyanuslar ise atmosferden yaklaşık yirmi kat fazla olan, çoğunlukla bikarbonat iyonları şeklindeki kırk trilyon karbonu içeriyordu. Karbon daima bu havuzlar arasında hareket etti ancak akışlar her yönde eşitti.

İnsanların yılda on milyar ton karbon eklemesi, bu rakamlarla kıyaslandığında küçük görünüyor fakat bu ilavenin hepsi

rezervuarların en küçüğü olan atmosfere gidiyor. Karbonun atmosferden fotosentez ya da deniz suyunda çözülme yoluyla ayrılma hızı, bu artışa tepki olarak arttı çünkü yerküre sistemi dengesini yeniden kurmaya ve insan katkısını üç havuz arasında paylaştırmaya çalışıyor. Ancak havuzlar arasındaki bağlantılar, atmosferden net çıkışı, beşeri ilave ölçüsünde gerçekleştiriyor. İnsanların her yıl saldığı karbonun yaklaşık dörtte biri fotosentez yoluyla geri emilir ve yaklaşık ikinci bir dörtte biri de okyanuslarda çözülür; bilim insanlarının “havadaki fraksiyon” dediğı diğer kısım atmosferde kalır. 1700’de atmosfer, karbondioksit formunda yaklaşık 600 milyar ton karbon içeriyordu. Şimdi 250 milyar ton daha fazlasını içeriyor ve bu, kıtalardaki canlı bitkilerin içerdğı karbonun yarısına eşit. Bu 250 milyar tonun yarısı sadece son kırk yılda salınmıştır.

Bilim insanları, sanayi devriminden önce atmosferin ne kadar karbondioksit içerdğinin tespiti için, Grönland ve Antarktika’daki buz tabakalarında donan atmosfer kalıntılarına bakarlar. Buz tabakalarını delerek, on veya yüz binlerce yıllık atmosferleri örnekleyebilirsiniz. Bu tür örnekler, sanayi devriminin başlangıcı ile en son buzul çağının on iki bin yıl önce bitmesi arasında yani Antroposen fikrinin kafaları karıştırmaya başlamasından önce geleneksel olarak Holosen diye bilinen çağda, karbondioksit seviyelerinin bir milyon parçada 250 ila 280 arasında kaldığını gösteriyor. Holosen’den önceki yüz bin yıllık buzul çağında, seviye milyonda 180 parçaya kadar düşüyor. Daha önceki bir milyon yıl boyunca buzdaki karbondioksit seviyesi, Holosen’de görülen ve her zaman benzer şekilde buzullar arası adıyla bilinen sıcak ve güzel dönemlerle ilişkilendirilen en yüksek seviye ile buzul çağlarında görülen en düşük seviye arasında gidip geliyor. Atmosferin karbondioksit seviyesinin bugünkü kadar yüksek olduğı bir zamanı bulmak için on milyonlarca yıl geriye yani tıpkı bugünün karbondioksit seviyesinin, buzul çağlarındaki seviyeden çok daha yüksek olması gibi, sıcaklıkların ve deniz seviyele-

rinin bugünkünden çok daha yüksek olduğu bir jeolojik çağa bakmanız (ve buz çekirdeklerinde bulunanlardan başka veriler kullanmanız) gerekir.

Karbondioksit seviyelerinin buzul çağları ile buzullar arası dönemler arasında ileri geri salınması, bugün, Dünya'nın yörüngesi ve dönüş ekseninin yönündeki küçük döngüsel değişikliklere yerküre sisteminin verdiği tepki olarak anlaşılmaktadır. Bunlar güneşten gelen enerjinin enlem ve mevsime göre dağılışını değiştirir. 1970'lerde yapılan araştırmalar, kuzey orta enlemlerde yaz güneşi miktarındaki değişikliklerin buzullar arası dönemlerin sonunu tetiklediğini ortaya çıkardı. Bunlar, iklimbiliminin büyük ve kalıcı sorusu olan buzul çağlarının nedenine verilen cevaptı. Güneş ışığının deseninde meydana gelen değişimin, kar örtüsü ve okyanus sirkülasyonu üzerinde bazı sonuçları olur ve bu sonuçlar yerküre sistemini hep birlikte buz çağındaki düşük karbondioksit (sirkülasyondaki değişiklikler daha fazla karbondioksidin okyanuslara hapsolması anlamına gelir) ve yüksek albedo durumuna taşırlar. Zira buz-albedo geribildirimini deneyen şey, buz alanlarının büyüdükçe daha fazla güneş ışığını yansıtarak gezegeni daha fazla soğutması, böylece daha fazla buz oluşması ve bunun da daha fazla güneş ışığını yansıtmasıdır.

Bu, çoğu bilim insanının henüz insanların çok büyük bir rol oynamadığını düşündüğü bir hikayedir. Fakat bu görüşe katılmayanlar da var. Virginia Üniversitesi'nde iklimbilimci olan William Ruddiman, Holosen döneminin buz kayıtları ile daha önceki buzullar arası dönemlerin kayıtları arasındaki farklılıkların insan müdahalesine atfedilmesi gerektiğini savunuyor.

Önceki buzullar arası dönemlerde, karbondioksit ve metan seviyeleri yumuşak bir şekilde yükselmiş ve sonra inmişti. Holosen'deki desen ise bundan farklıdır. On iki bin yıl önce yaklaşık 250 ppm'den başlayan karbondioksit seviyesi yaklaşık dokuz bin yıl önce 270 ppm'nin biraz altında kalan bir

tepeye çıkıyor ve önceki buzullar arası dönemlerin modelini izleyerek tekrar düşmeye başlıyor. Fakat birkaç bin yıllık düşüşün ardından tekrar yükselmeye başlıyor ve geri kalan zamanın büyük bölümünde yükselmeye devam ederek Roma Cumhuriyeti'nin kurulduğu sanayi öncesi dönemin 280 ppm seviyesine ulaşıyor. Metan da dokuz bin yıl önce bir tepeye ulaşmıştı. Önceki buzullar arası dönemlerde de bu oluyordu yani metan da en yüksek seviyeye ulaşıyor ve sonra düzgün bir şekilde düşüyordu. Holosen'de işler onun için de farklı gelişti. Yaklaşık dört bin yıl önce metan seviyesi tekrar yükselmeye başladı ve şimdi neredeyse Holosen'in başlarındaki en yüksek seviyeye ulaşmış durumda.

Ruddiman, bu iki geri dönüşün çiftçilikten kaynaklandığını iddia ediyor. İlk çiftçilerin, çoğu insanın zannettiğinden çok daha fazla ormanı yok ettiğini ve bu nedenle erken ve orta Holosen dönemlerinde sanılandan çok daha fazla, bin yıl boyunca yüz milyarlarca ton daha fazla karbondioksit salındığını savunuyor. Karbondioksitten daha güçlü bir sera gazı olan metana gelince, onu pirinç tarlalarına ve sığırlara bağlıyor. Metan, oksijenden hoşlanmayan tek hücreli organizmalar tarafından üretilir. Çeltikler ve ineklerin bağırsakları ki her ikisinde de oksijen az bulunur, bu organizmalara yaşayacakları yeni yerler sağlar. Ruddiman, Holosen'i önceki buzullar arası dönemlerden ayıran ikinci yarı sera gazı artışlarını, insanların ormanları yok etmesi, büyükbaş hayvan besiciliği ve pirinç tarlalarına bağlıyor. Ve böylece yeni bir buz çağının başlangıcının geciktirildiğini söylüyor. Daha önceki buzullar arası dönemlerde olduğu gibi Holosen boyunca da karbondioksit ve metan seviyeleri düşmüş olsaydı, karbondioksidin günümüzde 240 ppm'ye düşeceğini, Kanada'nın ortasında bir buz örtüsü oluşacağını ve bundan epey önce ise İskandinavya'da başka bir buz örtüsünün oluşmuş olmasının bekleneceğini söylüyor.

Ruddiman'ın düşünceleri birçok ilginç araştırmayı teşvik etti ancak bu fikirler henüz doğrulanmadı ve bu alandaki birçok

kişi doğrulanmalarının pek olası olmadığını düşünüyor. Dünyanın farklı yörüngeleri birbirinin tam katı olmadığı için, iklim ritimleri aksak bir salınım gösterir ve buzul çağları arasındaki dinlenmeler hem sıcaklık hem de uzunluk açısından değişir. Bu farklılıklara bakıldığında, mevcut buzullar arası dönemin hep önceki üç dönemden daha uzun olduğu görülüyor. Metan seviyesinin yükselmesi, bir neden olmak yerine, kuzey yarımkürenin daha uzun süre daha sıcak kalmasının bir sonucu olabilir. Diğer modelleme sonuçları, karbondioksitteki ikinci artışı ilk çiftçilerin ormanları yok etmesi senaryosuna başvurmadan açıklıyor ve buz çekirdeklerinde hapsolmuş karbondioksitin izotopik analizleri orta-geç Holosen dönemindeki artışın, ormanların yakılmasından çok okyanuslardan kaynaklanmasının daha muhtemel olduğunu gösteriyor. Ruddiman'ın tezi, ispat edilemese ve belki de abartılı olsa da, insanların sanayi devriminden binlerce yıl önce meydana getirdiği değişimin boyutları hakkında daha derin bir farkındalık sağladı.

Ruddiman'ın fikirlerinin siyasi bir boyutu da var: Kendisi öyle düşünmese de bu bizim için Antroposen'dir yani yerküre sisteminin en başından beri politik olarak nasıl o ya da bu ölçüde değiştiği hakkında bir fikir verir. Tarımın yayılmasının neden olduğu iklim değişikliğinin erken bir Antroposen olduğu fikrini kabul ederseniz, bugün yerküre sistemine olanların şokunu hafifletirsiniz zira iklimdeki endüstriyel değişiklikler, çiftçilerin, farkında olmadan sadece çiftçilikle yaptıklarının bir uzantısı haline gelir. Antroposen, gezegendeki insan varlığının kasıtsız ve az çok kaçınılmaz bir sonucuna ve dolayısıyla daha dostça bir kavrama dönüşür. Maryland Üniversitesi'nde ekolojist olan Erle Ellis'in hem Ruddiman'ın erken Antroposen fikrine yatkın olması hem de yerküre sisteminin insanlar tarafından aktif bir şekilde yönetilmesinin "iyi bir Antroposen" yaratabileceği ihtimaline inanan birisi olması bir tesadüf değildir çünkü bu iki fikir birbiriyle kolayca anlaşılabilir.

Öte yandan, endüstriyel Antroposen'e odaklanmaya devam ederseniz, yerküre sistemine yapılan beşeri müdahaleyi dik

duran, yaratıcı, alet kullanan bir canlı türü olmanın kaçınılmaz bir sonucu olarak değil, bu türün, yaşamı belli bir şekilde organize etmesinin yani fosil yakıtların doğuşundan ayrılmaz bir toplumsal ve politik seçenek olan endüstriyel kapitalizmin bir sonucu olarak görebilirsiniz. Naomi Klein'ın *İşte Bu Her Şeyi Değiştirir* adlı kitabındaki ifadelerle, kapitalizmin iklimle savaş halinde olduğunu düşünüyorsanız, iyi bir Antroposen istemez, hiçbir Antroposen olmaması için direnirsiniz.

Bu, insanların anlaşmazlıkları kabul edebileceği veya genel siyasi mekanizmalarla kendi iradelerini diğerlerine empoze edebilecekleri bir konu değildir. Antroposen retorik gücünün önemli bir bölümünü diğer jeolojik dönemlerle aynı tür prosedürlerin takip edilmesi yoluyla, aynı kesinlik ölçüsünde tanımlanabileceği fikrinden alıyor. Jeologlar asırlardır, dünyayı tanımlayan dönemlerin, belli bir yerdeki belli bir kaya kümesi gibi, başlangıç noktalarını belirlemek için muhtelif komiteler kuruyor. Böyle bir komite şu anda hem bir Antroposen olması gerekip gerekmediğini ve hem de eğer gerekiyorsa nereden başlaması gerektiğini tartışıyor.

Muhtemelen sadece bir tarih belirlemeyi seçecekler. Dolayısıyla bazıları başlangıcın 1750 olması gerektiğini savunuyor, iklim çevrelerinde sıklıkla endüstri öncesi dönem için bir referans olarak kullanılan James Watt ve Matthew Boulton'ın tasarladığı buhar makinelerinin piyasaya çıkmak üzere olduğu tarih. Diğerleri karbondioksit emisyonları, endüstriyel nitrojen sabitleme ve diğer birçok işlemin mevcut yüksek hızlarına geçmesiyle yerküre sisteminin sanayileşmesinin önemli ölçüde hızlandığı bir dönüm noktasına işaret eden 1950'yi tercih ediyor. Bu tarih ayrıca, 1940'larda başlayan ve 1963'te sona eren silah denemelerinden kaynaklanan kısmen bol nükleer serptintinin okyanus tortullarında kaydedilmesi avantajına da sahiptir.³⁷

37 1950'den başlamanın güzel bir teknik çekiciliği de var. Yer bilimcileri ve arkeologların karbon-14 tarihlemesini kullanılmaya başlaması 1950 civarında olduğu için, o yıl zaten bir referans rolüne sahiptir: Bilimsel yayınlar "gü-

Fakat yine de daha iyi bir seçenek var. Holosen'in başlangıcı bir kaya ile değil, bir buz tabakası ile, daha açık söylemek gerekirse, buz çekirdeğinde, sadece bir yüzyıl önceye ya da sonraya kaydırılabilen 11 bin 715 yıl önceki bir tabakayla tanınlanır. Bu buz tabakası sıcaklığın keskin bir şekilde arttığını gösteren işaretler, özellikle "Genç Dryas" denen ve en son buz çağıının son nefesi anlamına gelen bin yıllık bir dönemi sona erdiren hızlı ısınmanın işaretlerini içerir. Antroposen için de buna benzer bir buz çekirdeği işareti bulmakta hoş bir teknik tutarlılık olacaktır. 2015 yılında University College London'da çalışan Simon Lewis ve Mark Maslin, karbon döngüsünün tarihi üzerine yapılan son çalışmalardan yararlanarak böyle bir belirteç önerdiler.

Antarktika'daki iki buz çekirdeği kaydına göre, atmosferik karbondioksit seviyesi on altıncı yüzyılın ikinci yarısı ile on yedinci yüzyılın ilk on yılları arasında 8 ppm kadar düştü. Bunun nedeni oldukça açık görünüyor. Avrupalılar on beşinci yüzyılın sonunda Amerika'ya geldiklerinde, yerlilerin henüz bağışıklığı olmadığı hastalıkları da beraberinde taşıdılar. Çeşitli kanıtlar, kızamık ve çiçek hastalığının sonraki on yıllarda Amerika kıtasının nüfusunu yüzde 90 oranında azalttığını gösteriyor. Yaklaşık altmış milyondan altı milyona ki bu, Avrupa'nın kara vebasında görülenden çok daha büyük bir can kaybıdır. Sonuçta, ekilip biçilen yaklaşık yarım milyon kilometrekare, atmosferdeki milyarlarca ton karbonu emecek olan çalılıklara ve ormanlara geri döndü. Bazı modellemeler aksini öne sürse de Antarktika buzunda görülen karbondioksit seviyesindeki azalmanın en azından bir kısmının tüm bu bitki büyümesinin bir sonucu olduğunu düşünmek iyi bir varsayımdır.

nümüzden" 2 bin 500 veya 5 bin yıl önce meydana gelen bir olaya atıfta bulunduğunda, aslında 1950'den 2 bin 500 veya 5 bin yıl öncesini kastetmiş olurlar. Eğer Antroposen'in başlangıcı 1950 (yani günümüz) olarak kabul edilirse, tanımı gereği, hep günümüzden sonrasını ifade ediyor olur yani uçuşumun kenarındaki boşlukta koşan Wile E. Coyote gibi, tarihin sonunda desteksiz bir şekilde havada asılı duran, kalıcı bir gelecek durumunda kalır.

Eğer bu doğru ise, on altıncı yüzyılın sonları ile on yedinci yüzyılın başları arasındaki bu yıllar, karbon döngüsü üzerindeki insan etkisinin açıkça tanınlanmış tek buz çekirdeği işaretini vermiş olur. Bu da onları Antroposen için başlı başına makul ve olası bir başlangıç noktası yapar.³⁸ İşaretlenen şeyin ne olduğunu düşündüğünüzde durum daha da güçleniyor. Amerika ile dünyanın geri kalanı arasındaki beşeri temas önemli bir ekolojik dönüm noktasıydı. Pangea'nın dağılmasından bu yana ayrı yerlerde evrimleşen bitkiler, birbirlerinin alanlarına yayıldı. Yelkenli gemiler, kıtaların yüz milyonlarca yıldır sürüklenerek yaptığı işi bozdu. Mısır, kahve, patates ve acı biber Amerika'dan Eski Dünya'ya yayıldı; buğday, pirinç, atlar ve sığırlar ters yönde seyahat etti ve ekonomik açıdan önemli olan bu transferler şans eseri veya egzotik dekorasyon tutkusu için yapılanlardan çok daha fazlaydı. Bu "Kolomb-yen değişimin" bir sonucu olarak Dünya'nın ekosistemleri arasındaki farklar azaldı. Aslında, şu anda bu kadar çok şeyin Dünya genelinde bu kadar geniş bir şekilde yetişiyor olması, bazı ekolojistlerin günümüzden Antroposen olarak değil de Homojenosen olarak bahsetmesine yol açtı.

Ekolojik homojenleşme, Avrupa'nın dünyanın yeni boşaltılan bölgelerine kendi iradesini dayatmasıyla ortaya çıkan daha büyük değişimlerin bir belirtisiydi. On yedinci ve on sekizinci yüzyıllardaki ekonomik büyüme –fosil yakıtlarla çalışan sanayiye bir imkan haline getiren yatırımlara yol açan büyüme– Yeni Dünya'daki ucuz arazi ve ucuz hatta ücretsiz işgücü kazanımıyla önemli ölçüde desteklendi. İngiltere ekonomisi büyük ölçüde bu durumdan yararlanma gücüne sahip olduğu için genişleyebildi. İngilizler, bilgisayar bilimci ve çok yönlü bilgin Cosma Shalizi'nin ifadesiyle, "arkası oldukça organize bir zorbalıkla kullanan, uzun menzilli ticaret" gibi temel

38 Ruddiman'ın işaret ettiği değişiklikler hem daha şüpheli hem de çok daha az keskindir; Antroposen'in başlangıcını tanımlamak için o değişikliklerin kullanılmasını kendisi de istemezdi.

emperyal becerilerde Avrupa'nın geri kalanının tamamından daha çok ustalaşmıştı.

1960'larda Georg Borgstrom adlı bir çevreci, bir ulusun ticaret yoluyla elde ettiği gıdayı satın almak yerine yetiştirecek olsaydı ihtiyaç duyacağı araziye tanımlamak için "hayalet arazi" kavramını geliştirdi. Yeni Dünya'da zapt edilen topraklar, İngiltere'ye milyonlarca hayalet arazi ekleyerek başka amaçlar için kullanılan toprak ve varlığa dokunmadan, şeker olarak kalori, pamuk ve tütün olarak da ticaret malı sağladı. İngiliz işçilerinin İngiltere'nin pahalı topraklarında –ya da diğer Avrupalıların kendi topraklarında– yetiştirebileceğinden daha ucuz olan elyaf, İngiliz imalathanelerini daha üretken ve dolayısıyla daha kârlı ve yeni teknoloji yatırımlarını daha sürdürülebilir hale getirdi. Bazıları, eşit olmayan bu değiş tokuş koşulları olmasaydı sanayi devriminin asla gerçekleşmeyeceğini iddia ediyor. Teknolojik olarak kuzeybatı Avrupa'ya benzeyen fakat kolonileri olmayan Çin'de sanayi devrimi gerçekleşmedi.³⁹

Dünyanın fosil yakıtların kullanılmasından bu yana izlediği yol, büyük ölçüde bu sürecin devamı olmuştur. Özellikle petrol, genellikle kullanıldığı yerlerden çok uzakta çıkarıldı ve süreç uzaktaki kullanıcılar ve yerel seçkinler lehine işledi. Çok yakın bir zamana kadar, söz konusu kullanımı yapan ülkeler, ticaret ve şiddeti organize etmedeki hünerleri sayesinde Kolombyen değiş tokuş ve sonrasında zirvede olan ülkelerdi. Ancak bir zamanlar gelişimini sadece uzak diyarların üretkenliğinden elde eden sanayileşmiş dünya, şimdi büyümesini tarihi bakımdan çok uzakta kalan yerlerden yani İngiltere'nin sanayi devrimini besleyen ve büyüten hayalet arazilerden çok, daha geniş alanları kaplayan Karbon Dönemi ormanlarından

39 Şunu da belirtmekte fayda var: Çin'in ekonomik olarak en gelişmiş bölgesi ülkenin kömür yataklarından birkaç bin kilometre uzaktaydı (bu sorun bugün hâlâ geçerliliğini koruyor), İngiliz sanayisi ise kömürün eşiğinde ya da üstünde bulunuyordu.

ve Kretase dönemi deniz yataklarından sağlıyor. Antroposen'in başlangıcına dair mevcut iddialar arasında en iyi olanı, on altıncı yüzyılın sonlarına ait Antarktika buz çekirdeği kayıtlarında kaydedildiği ölçüde, aynı anda hem tarihsel hem de jeofiziksel olan bu dünyayı ve yerküre sistemini değiştirme sürecinin başlangıcının, on altıncı yüzyılın sonları olduğu iddiasıdır.

Yeşillenen Gezegen

İnsanlık tarihinin ve bir dereceye kadar tarih öncesinin olayları karbon döngüsünde iz bıraktı. Bunun tersi de doğrudur: Karbon döngüsündeki değişimler, insan uygarlığının gelişiminde çok önemli bir rol oynadı.

Radyoaktivite, Dünya'nın ne kadar antik olduğunu ve karbon döngüsünün fosil yakıtları biriktirdiği muazzam süreleri ortaya çıkarırken, benzer yöntemler ilk insanların yaşadığı tarihi de geriye itti. Yirminci yüzyılın sonlarında, Kitabı Mukaddes'te İsa'dan önce sadece birkaç düzine nesil geriye giden insanlık tarihi, bir milyon yıldan fazla bir süre geriye gitti.

Sert ve asırlık bir Dünya'nın küçüklüğünde ısrar eden bir retorik, bunun, Dünya'nın çok daha büyük yaşıyla karşılaştırıldığında kısa bir zaman olarak görülmesini gerektirir: Eğer Dünya'nın yaşı yirmi dört saatlik bir gün gibi düşünülürse, bir milyon yıl, gece yarısından önceki bir saniyeye tekabül eder; eğer bir kadının kollarının açıklığı kadarsa, bir milyon yıl, tırnağındaki birkaç milimetre kadar olur, vb. Oysa yaklaşık beş bin yıllık şehirlerin ve en eski yerleşim yerlerinde bunun iki katı kadar eski tarımın arkeolojik kayıtlarına göre, insanlığın tarih öncesi etkileyici ve biraz kafa karıştırıcı yeni derinliklere sahiptir. Neden insanlığın tarih öncesi bu kadar uzunken insanlık tarihi bu kadar kısa olsun?

Kabul etmek gerekir ki, geçtiğimiz milyon yılın büyük bir kısmındaki insanlar, bugünkü insanların entelektüel eşitleri değil-

miş gibi görünüyor. Fakat arkeoloji kuvvetle, 100 bin yıl önce Afrika’da ve belki de 50 bin yıl önce diğer birçok yerde, fiziksel biçimleri ve bilişsel yetenekleri bakımından sizden ve benden hemen hemen ayırt edilemez olduklarını telkin ediyor. Sodd-y’nin “tarımdan habersiz yerli yabanileri” gibi yaşamış olabilirler ama aletleri, ateşleri ve konuştukları dilleri vardı. Mağara resimleri ve oymalarının gösterdiği gibi, dünyayı kendileri için resmetme ve birbirleri için süsleme yeteneğine sahiptiler. Hikayeleri, giysileri ve mezarları vardı hatta topladıkları tahılları işlemek için küçük değirmen taşları bile vardı. Onları çiftliklerden, kasabalardan ve şehirlerden alıkoyan neydi?

Bu nedenin buzul çağı olduğu çok açık görünüyor. Buzul çağının giderek daha şiddetli hale geldiği on binlerce yıl boyunca, daha sonra çiftçi olan insanlar kadar zeki modern insanlar vardı ancak çiftçilik yoktu. Buzulların geri çekilmeye başlamasından sonra on bin yıl geçmeden, Doğu Akdeniz ve Kuzeydoğu Çin’de tahıllar evcilleştirildi. Birkaç bin yıl içinde aynı şey Güney Amerika ve Sahel’de de oldu. Bunu bir tesadüf olarak görmek zordur.

Peki, buzul çağını tarıma düşman eden şey neydi? Kuşkusuz, sebep sadece soğuk değildi. Bugün sıcak olan birçok yer o zamanlar oldukça ılımandı. Tropik bölgelerdeki ortalama sıcaklıklar bugün olduğundan sadece 2°C daha düşüktü. Ve buzul çağı iklimi kuru olmasına rağmen hiçbir yerde ekin yetiştirmenin mümkün olmayacağı kadar kuru değildi.

Erken tarımın önündeki daha büyük engel, buzul çağı ikliminin tutarsız oluşuydu. Sera gazları, buzullar arası dönemlerde yavaş ve istikrarlı bir şekilde yükselir ve düşerken 1980’lerde, buzul çağlarında bir aşağı bir yukarı fırladıkları ortaya çıktı. Bu, okyanus dolaşımında ani değişiklikler yaratan bir dalgalanmanın bir parçasıdır –yavaş sirkülasyon derin okyanusta daha fazla karbondioksitin depolanmasına izin verir– ve deniz buzu örtüsü değiştikçe albedoda meydana gelen büyük

değişikliklerle artar. Öyle anlaşıyor ki, en son ve ondan önceki buzul çağları boyunca, sıcaklıklar ve yağış desenleri on yıllar ve bazen sadece yıllar boyunca çarpıcı biçimde değişiyor, nadiren birkaç bin yıldan fazla sabit kalıyordu. Bu kadar çılgın bir iklim tarımın gelişmesini engellemiş olabilir. Holosen, modern insanların yaşadığı ve tarımın ortaya çıktığı uzun vadeli iklimsel istikrarın gerçekleştiği ilk dönemdi.

Buz çağı ikliminin değişken olduğunun keşfedilmesi, tarımın kökeninin ötesinde sonuçlar doğurdu. 1980'lere kadar iklim değişikliğinin doğası gereği yavaş bir şey olduğu varsayılmıştı. Ancak buz çekirdeklerindeki ve deniz dibi çökeltilerindeki kanıtlar, bunun çok daha hızlı olabileceğini gösterdi: felaket derecede hızlı. Öyle ise bu tür ani değişimlere izin veren koşullar, görünüşe göre Holosen sırasında geçerli olmasa da, insanlar iklimi Holosen konfor bölgesinin ötesine ittiğine göre geri gelemeyebilir miydi? “Küresel ısınma” ifadesini yazılı olarak ilk kez 1970'lerde kullanan kişi olan klimatolog ve oşinograf Wally Broecker, 1980'lerde, buz devri iniş çıkışlarını açıklamaya girişimlerinin merkezindeydi. O, arkadaki mekanizma ne olursa olsun, bu iniş çıkışların varlığının, nazik “ısınma” kelimesinin önerdiğinden çok daha ani ve yıkıcı değişikliklere yol açabileceği ve yerküre sistemi yeni bir duruma geçerken radyasyonel kuvvetteki düzgün değişimin “doğrusal olmayan” sonuçları tetikleyebileceğine dair bir uyarı oluşturduğu konusunda emindi. Broecker'ın çalışmaları sayesinde, hızlı iklim değişikliği ve “devrilme noktalarıyla” ilgili düşünceler, iklim değişikliğinin yol açtığı risklere dair birçok açıklamanın ana teması oldu. Holosen iklim normlarının biraz ötesine geçen bir yerküre sistemi, gizli bir eşiği aşarak orantısız ve geri döndürülemez bir değişime uğrayabilirdi. Dolayısıyla ekstra Holosen karbondioksit seviyelerinin oluşturduğu riskler, daha ciddi görülmeye başlandı.⁴⁰

40 Bu fikirlerin, Antarktika ozon deliğinin keşfedildiği sıralarda etkili olduğunu belirtmekte fayda var çünkü bu delik, düzgün bir şekilde artan bir

Böylece Holosen'i belirleyen en önemli faktörün, hem başlangıcında tarımın doğuşunu hem de sona ermesi halinde verebileceği zararı açıklayan iklim istikrarı olduğu fikri yerleşti. Ancak Holosen'i önceki buzul çağından ayıran, yalnızca sera gazı seviyelerinin istikrarı değildir; bu seviyelerin yüksek oluşu da bir fark yaratır ki bu da bitkiler ve büyük olasılıkla ilk çiftçiler için olumlu bir şeydir.

2006'da, geçmişte tütün lobisi için çalışmış sağcı bir Amerikan düşünce kuruluşu olan Rekabetçi Girişim Enstitüsü, "Kirlilik dedikleri karbondioksit biz hayat diyoruz," sloganıyla, küresel ısınmayla ilgili endişeler hakkında şüphe uyandıran bir kampanya yürüttü. Yaptıkları reklamlar gizli bir amaca matuf değersiz laflardı; sloganları ise entrikacı bir hatalı ikilemden ibaretti. Karbondioksit gerçekten de kirlitebilir ama aynı zamanda her ekosistemin bağlı olduğu fotosentez için gerekli bir maddedir. Bitkilerin kendi isteğine kalsa, daha az değil daha fazla karbondioksitde sahip olmayı tercih eder.

Bitkiler kendi hallerine bırakılmaz; kendilerine verileni alır. Ve Dünya tarihinin büyük bir bölümünde oldukça fazla karbondioksit aldılar. Fotosentez daha yeni evrimleştiğinde, atmosferde milyonda bir yerine yüzde bir parça oranında karbondioksit vardı. Ormanların ilk kez yayılmaya başladığı Devoniyen'de, seviye muhtemelen bugünkü seviyenin beş ya da altı katıydı. Uzun vadeli düşüş, yağmur ve deniz suyunda çözünen karbondioksitin silikat kayalarının "aşınmasında" oynadığı rolden kaynaklanmaktadır. Karbonat iyonları, bu aşınma sırasında, kireçtaşı ve mermer gibi kayaların içinde hapsolür. Bu, bazı yaşam formlarının kendisi için kullandığı bir süreç olsa da -kabuklu deniz hayvanları ve kokolitofor

değişimin keskin bir süreksizliğe yol açtığı, lineer olmama durumunun bir başka örneğiydi. Ozon tabakasındaki incelmenin homojen bir şekilde ortaya çıkması bekleniyordu ancak incelmenin belli bir yerde büyüdüğü ve yoğunlaştığı ortaya çıktı. Bu bulgu, yerküre sisteminin insan müdahalesine verdiği cevapta, beklenmedik başka doğrusal olmayan tepkilerin de bir şekilde gizlenebileceği hissini büyüttü.

denen küçük, sevimli zırlı planktonların kabukları gibi mercanlar da karbonatlardan yapılmıştır- fotosentezden tamamen farklıdır zira karbonatlardaki karbon, canlı dokuların oluşturulabildiği ve sonra enerji üretilbildiği indirgenmiş formda değildir.

Karbonatlara kilitlenen karbonun tamamı orada kalmaz, bir kısmı levha tektoniğinin büyük geri dönüşümüyle geri gelir. Okyanus kabuğu, okyanusun kenarında, örneğin Pinatubo Dağı, Krakatau ve Pasifik kıyısındaki diğer volkanların derinliklerinde olduğu gibi, alttaki mantoya doğru battığında, kabuktaki karbonatlar karbondioksidi atmosfere geri salacak kadar ısınır. Ancak bütün karbonatlar bu şekilde geri dönüşmez. Ve böylece Dünya tarihi boyunca, kabuktaki karbonatlı kaya miktarı arttıkça atmosferdeki karbondioksit seviyesi düşer.

Fakat fotosentezin kalbindeki moleküler makine bu değişime uyum sağlayamadı. Günümüzün 400 ppm karbondioksidinde bile bitkiler fotosentez yapmada jeolojik geçmişin daha yüksek seviyelerinde olduklarından daha az verimlidir. Buz çağına ait çekirdeklerde kaydedilen düşük seviyelerde -atmosferin gördüğü en düşük karbondioksit seviyesi muhtemelen 180 ppm'di- gerçekten nefes darlığı çekiyorlardı. Buz çağındaki ortamı araştıran çalışmalar, 20 bin yıl önce, kıtalardaki bitkilerin toplam kütlelerinin bugünkünün sadece yarısı kadar olduğunu gösteriyor. Buz çağıının sonunda okyanus dolaşımında meydana gelen değişiklikler atmosferdeki karbondioksit stoğunu yeniden doldurmaya başlayınca bitkiler çılgına döndü. Ormanlar, kutuplara çekilen buzulların peşinden gitti. Yabani otların ürettiği tahıl miktarı olağanüstü arttı.

Toronto Üniversitesi'nde bitki fizyoloğu olan Rowan Sage, 1995'te, bu karbondioksit verimliliğinin tarımın kökenlerini açıklamaya yardımcı olabileceğini öne sürdü. Holosen'den önceki üç bin yılda, karbondioksit seviyesi 200 ppm'den 250 ppm'ye yükseldi. Tepki olarak artacak olan yalnızca tahılların

retkenliği değildi; daha gcl köklerinin nüfuz ettiği toprakların su tutması ve nitrojen sabitleme de artacaktı. Artan bu üretkenlik, avcı toplayıcıların daha az seyahat etmesi anlamına geliyordu çünkü yiyeceklerinin büyük bir kısmı için sadece birkaç üretken tre odaklanmaları gerekiyordu. Araştırmacılar, bir tür yerleşik yaşamın ve yoğun kullanımın bilinçli ya da bilinçsiz bir şekilde, belirli koşullar altında daha iyi büyüyen türlerin seçilmesini yani evcilleştirmenin başlamasını sağlamış olabileceğini düşünüyorlar.

Sage'in i görüsü geniş çapta kabul görmüyor. Fakat bu i görüye ana hatlarıyla inanmamak zor. Düşük karbondioksit koşullarında yetişen bitkilerin cıızlığına bakılırsa, yerleşik insan topluluklarına nasıl yeteceklerini görmek kolay değil. Bu düşünce aynı zamanda bir dizi farklı kültürün neden çok hızlı bir şekilde farklı tahıl türlerini evcilleştirdiğini de açıklıyor; yükselen karbondioksit dalgası bölgesel değil, küresel bir etkiydi. Karbondioksit artışları evcilleştirmeye ve ardından tarımın başlamasına neden olmamış da olabilir ancak bunları mümkün kılmış gibi görünüyor. Bunlar mümkün olunca, muhtelif yiyeceklerle geçinen farklı insan kültürlerinden bazıları, onları evcilleştirmek durumunda kaldı ve bu bir kez gerçekleştiğinde, evcilleştirmenin sunduğu avantajlar nüfus hareketleri, kültürel temaslar veya fetihler yoluyla yayılmaya mahkumdu. Sage'in fikirlerini ciddiye alan bir grup araştırmaı konuyu kısa ve öz bir şekilde ortaya koyuyor: Buzul ağında imkansız olan tarım, Holosen'de zorunlu hale geldi.

Siz bunları okurken, Rekabetçi Girişim Enstitüsü'nün omzu-
nuza oturan mızraklı şeytanı kulağınıza şöyle fısıldıyor olabilir: "Buz ağının sonundaki yüksek karbondioksit seviyesi henüz ifti olmayan insanlar için iyi bir şey idiyse, neden bugünkü çiftçiler için de iyi bir şey olmuyor?" Cevap, iklim üzerindeki etkilerini görmezden gelerseniz, öyledir.

Daha önce belirtildiği gibi, insan endüstrisinin ve ormansızlaştırmanın atmosfere pompaladığı karbondioksidin yalnızca

yarısı orada kalır. Pompalanan karbondioksitin bir çeyreği deniz suyuna karışır; diğer bir çeyrek yani yılda bir milyar tondan fazla karbon, bitkiler tarafından emilir. Bunun delili uzaydan görülebiliyor. Uzaktan algılama sistemleri kullanan araştırmacılar, verilerindeki belirli bir pikselin yaprağa ne kadar benzediğini söyleyen standartlaşmış bir bitki örtüsü farkı indeksine sahiptir. Geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca, bu şekilde ölçülen uydu verileri, gezegenin bir bütün olarak eskisinden daha çok bir yaprağa benzediğini göstermiştir; gezegenimiz aslında her gün biraz daha yeşilleniyor. Tahminlere göre, dünyadaki bitkilerin “net birincil üretkenliği” –bitkilerin metabolize etmek yerine sabitlediği ve sonuçta biyokütleye dönüşen karbon miktarı– bu zaman zarfında yüzde 3 ile yüzde 10 arasında bir artış gösterdi. Önceki bölümde gördüğümüz gibi, reaktif nitrojen seviyelerindeki büyük artışın katkısına rağmen bu, büyük ölçüde karbondioksit bolluğuna bağlı görünüyor.

Sanayi devriminin başlangıcından bu yana, insan emisyonlarının, gezegendeki bitkilere ve toprağa toplamda yaklaşık 250 milyar ton karbon eklemeye yetecek kadar karbondioksit bolluğu sağladığı ve bunun bitkilerde depolanan miktarı yaklaşık onda bir oranında artırdığı tahmin edilmektedir. Bu rakam, tek bir model setine bağlı hesaplamalara dayalı olduğu için büyük itirazlara konu olmuştur ve net değil, brüttür zira insanlar tarım için ormanları yok ederek benzer bir miktarı serbest bırakmışlardır. Ancak söz konusu etkinin ölçeği hakkında bir fikir verir. Ve büyümedeki bu artış sadece vahşi ekosistemlerde görülmedi; çiftçilere de yardımcı oldu. Buz çağının sonunda olduğu gibi (ancak çok daha kısa bir zaman ölçeğinde), daha yüksek karbondioksit seviyesi daha büyük mahsuller anlamına geliyordu. Stanford’da mahsul ve iklim üzerine çalışan David Lobell, 1980’den 2008’e kadar karbondioksit seviyesinde meydana gelen artışın –1980’de 339 ppm, 2008’de 394 ppm– bir dizi mahsulün verimini yaklaşık yüzde 3 oranında artırdığını tahmin ediyor.

İklim söylemini karbondioksidin zararları üzerine bir tartışmaya indirgemek, karbondioksidin yaşamı bu şekilde zenginleştirdiği gerçeğini anlatmayı zorlaştırıyor ve iklim değişikliğine karşı bir eylem planını savunanlar, bu nedenle bilinçli bir şekilde ya da farkında olmadan bundan bahsetmemeyi tercih ediyorlar. Bir örnek vermek gerekirse 2010'da yayımlanan Kalkınma ve İklim Değişikliğine Dair Dünya Kalkınma Raporu'nda, gelişmekte olan ülkelerin marjinal, yarı kurak bölgeleri için en önemli faktör olabileceğini düşünmek için sebepler olmasına rağmen karbondioksit gübrelemesinin mahsul verimi üzerindeki etkisinden hiç bahsedilmiyor. Benzer bir ketumluk, Sage'in evcilleştirmenin nasıl başlamış olabileceğine ilişkin açıklamasının neden görece az bilindiğini de açıklayabilir. Holosen'in eşi görülmemiş iklimsel istikrarı sayesinde medeniyetin beşiği olduğu fikri, Holosen sonrası geleceğin ikliminin buzul çağlarında görülenlere benzer hızlı ve yıkıcı değişiklikler getirebileceği endişeleriyle iyi örtüşür. Holosen'in aynı zamanda, modern insanın gezegende yaşadığı zamanlardan önceki standartlara kıyasla benzeri görülmemiş derecede yüksek karbondioksit seviyelerine sahip bir dönem olduğu ve bu yüksek karbondioksit seviyelerinin de medeniyetin gelişimi için temel teşkil ettiği fikrini basit bir hikayeye sığdırmak ise biraz zordur.

Zordur, çünkü bu basit bir hikaye olmadığı gibi, tek bir hikayeden de ibaret değildir. Yerküre sistemi ve bu sitemle ilgili araştırmalar zıt yönlerde ilerleyen, birbirleriyle çelişiyormuş gibi görünen, bakış açınıza göre farklı ahlaki değerlere sahip ve sonunu henüz kimsenin bilmediği hikayelerle doludur. Kendi deneyimimi baz alırsam, özelde yerküre sisteminin, genelde ise tüm hikayelerin doğası budur. İleriye onunla baktığınız hayal gücünüzü genişletmek ve yerküre sisteminin geleceğindeki olasılıkları değerlendirmek istiyorsanız, her hikayenin karşı hikayeleri olduğunu görmeye istekli olmak, bu sürecin ihtiyaç duyacağınız bir parçasıdır.

Gelecekte ekinlerin daha yüksek karbondioksit seviyelerinden elde edebileceği faydalar iki nedenden dolayı belirsizdir. Birincisi, gerçek bir çiftliğin yüksek karbondioksit vereceği tepkinin modellenmesinin zor olmasıdır. Aynı tahılın farklı türleri, karbondioksit, belirgin şekilde farklı verim seviyeleriyle tepki verir. Bazı yabancı otlar bu süreçten, sıkıntı verdikleri ekinlerden daha çok yararlanırlar. Başka sınırlar devreye girer. Liebig'in keşfettiği gibi, bitkilerin yeterince alamadığı hayati bir şey her zaman olacaktır.

Diğer nedenler grubu, karbondioksit gübrelemesinin tüm faktörler arasında sadece tek bir faktör olmasıdır. Etrafta daha çok reaktif nitrojen olmasına bağlı olarak ozon seviyesinin artması, pek çok yerde, yükselen karbondioksit seviyelerinden elde edilen faydanın bir kısmını hatta çoğunu geri alabilir. Ve ayrıca iklim faktörü vardır. Lobell ve birçok meslektaşı, son iklim değişikliklerinin tarıma verdiği zararı ölçmek için havanın mahsuller üzerindeki etkisini araştırdı. Karbondioksit emisyonlarının bitki verimini yüzde 3 artırmış gibi görüldüğü 30 yıllık dönemde, mısır için yüzde 3.8 ve buğday için yüzde 5.5 olan iklimsel hasarın bu orandan yüksek olduğunu buldular.

Ortalama sıcaklık sadece birkaç derece artsa bile aşırı sıcak günlerin ortaya çıkma sıklığının çok artması, ekinlere orantısız zararlar verebilir. Tabii ki uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar da olabilir. Her iki gelişme de kuvvetle muhtemel görünüyor. Buna rağmen karbondioksitli gübreleme bazı ekinlere hâlâ biraz fayda sağlayacaktır ve aşırı iklim koşullarından korunan yerlerde net faydalar pekala görülebilir. Gezegen bazında, bu faydaların ozon ve küresel ısınmanın verdiği zararda önemli bir gedik açıp açmayacağını kimse kesin olarak söyleyemez.

Ama ya gezegen çok fazla ısınma veya hatta herhangi bir ısınma olmaksızın yüksek bir karbondioksit seviyesinin keyfini sürerse? Başka bir deyişle, karbondioksit seviyesi iki katına

çıkmiş olduğu halde stratosferik bir perde gezegeni bugünkü sıcaklıklarında tutarsa dünyadaki mahsuller nasıl olur?

Böyle bir durumda, temel ilkeler çerçevesinde, sonuçların çiftçiler için oldukça iyi olacağını bekleyebilirsiniz. Ve gerçekten de bu konuda şimdiye kadar yapılan tek ayrıntılı analizinin bulduğu sonuç da budur. Julia Pongratz, Ken Caldeira'nın öğrencisiyken, onunla ve Lobell'le birlikte bir Sera Gezegenindeki (iki katı karbondioksit düzeyine sahip) tarımı, bir Tasarlanmış Gezegendeki (iki katı karbondioksit düzeyine ve sıcaklığı bugünün seviyelerinde tutacak kadar kalın bir stratosferik perdeye sahip) tarımla karşılaştıran modeller üzerinde çalıştı. Tasarlanmış Gezegendeki verim, Sera Gezegenindekinden yüzde 10 ila 20 arasında daha yüksek çıktı. Aslında Tasarlanmış Gezegendeki verim, aynı modelin günümüz koşullarında çalıştırıldığı zamankinden de yüksekti.

Söz konusu model oldukça kabadır. Stratosferik perdelerin, bu kitabın ilk bölümünde değinilen etkilerinin bir kısmını hesaba katmaz ve bu etkiler verimdeki artışı daha da büyütebilir. Bu etkilerden biri, dağınık ışık etkisidir: Bir stratosferik perdeden her yöne yayılan güneş ışığının fotosentez için sert ve doğrudan gelen güneş ışığından biraz daha uygun olmasıdır. Bu muhtemelen ormanlardaki ağaçlara tarlalardaki tahıllardan daha çok yardımcı olsa da verimi biraz artırabilir. Başka bir etki, karbondioksitli gübrelemenin bitkilerin su kullanımını daha verimli hale getirerek büyümelerine yardımcı olmasıdır. Tasarlanmış Gezegenin potansiyel bir dezavantajı, hidrolojik döngünün belirli bir dereceye kadar bastırılmış olmasıdır. Karbondioksitli gübreleme, bitkileri su kullanımlarında daha verimli hale getirerek bu etkiye doğrudan karşılık verir. İşte bu nedenlerden ötürü söz konusu çalışma, faydaları eksik tahmin etmiş olabilir.

Dünya çiftçilerinin bir kısmının, büyük olasılıkla çoğunun hayatını kolaylaştıran tasarlanmış bir gezegen fikri akla, 1950'lerin jeomühendislik jeo-şiiirine yapılan bir katkıyı getiriyor.

Harrison Brown, Caltech'te, başka birçok başarının yanı sıra, Dünya'nın 4.5 milyar yaşında olduğunu ilk kez gösteren çalışmayı denetleyen bir jeokimyacıydı. Brown, 1954'te yayımlanan *The Challenge of Man's* [Future İnsanlığın Geleceği Sorunu] adlı kitabında, bahçıvanların karbondioksit gübrelemesinden günlük olarak yararlandıklarını, bu gazı, seralarında dışarıdaki havaya göre çok daha yüksek seviyelerde tuttuklarını belirtti ve atmosferdeki karbondioksit seviyesinin bir bütün olarak ya kömür yakarak ya da karbonatları parçalayarak benzer şekilde artırmaya değer olabileceğini öne sürdü. Karbondioksit seviyesi üç katına çıkarılırsa, mahsul verimliliği iki katına çıkabilirdi.

İlginç ve belki de öğretici bir ironi olarak Brown, bunun iklim üzerinde sahip olabileceği etkilerinden hiç bahsetmedi. İnsanların 1950'lerin başında karbondioksitin neden olduğu iklim değişikliği konusunda endişelenmemelerinin nedeni, karbondioksitin sera etkisine ne kadar katkıda bulunduğunu bilmemeleri değildi. Karbondioksit emisyonlarının atmosferde kalmayacağını, bunun yerine okyanuslarda son bulacağını düşünüyorlardı. Suess ve Revelle'nin, durumun böyle olmadığını gösteren çalışması, daha birkaç yıl sonra gelecekti. Oysa Brown'ın düşünce deneyi, özellikle, okyanusun karbondioksit açlığının üstesinden gelinmesini ve karbondioksitin atmosferde kalmasını gerektiriyordu. Bu nedenle, bunun iklimsel etkilerinden bahsedilmemesi ilginçtir. Aslında sadece karbondioksitli gübreleme fikrini ciddi bulmadığı için iklimsel etkilerinden bahsetmeye değmeyeceğine karar vermiş olabilir. Ya da geniş kapsamlı, çok bilgili bilim insanları bile geriye doğru bakıldığında, görmeleri gereken şeyleri gözden kaçırıyor olabilirler ki bu, jeomühendislik düşünen herkesin aklında tutması gereken bir ihtimaldir. Her iki durumda da Brown, Jamaika'daki ikinci evinde söz konusu kitabı yazarken, Brown'ın Caltech'teki laboratuvarında doktora sonrası araştırmacı olarak çalışmaya devam eden ve kısa bir süre son-

ra dünyanın karbon emisyonlarının önemli bir bölümünün gerçekten de atmosferde kaldığını ilk kez belirleyen ölçümleri yapacak olan David Keeling'in, bu çalışmanın temellerini atıyor olmasında hoş bir ironi vardır.

Brown'ın aslında kasti karbondioksit emisyonlarını savunmaması gibi, Pongratz, Caldeira ve Lobell de Tasarlanmış Gezegenlerdeki yüksek tarımsal verimin, gerçek hayatta böyle bir gezegen yaratmayı haklı çıkaracağını öne sürmezler. Ancak, yaptıkları çalışmaların, tasarlanmış Gezegende yavaşlayacak olan hidrolojik döngünün, zorunlu olarak, geçimleri yağmurla beslenen tarıma bağlı olan milyarlarca insanı riske atacağını iddia eden insanlara bir uyarı olduğunu söylüyorlar. Daha iyi beslenmiş, suyu daha verimli kullanan tahıllar birçok yerde fark yaratacaktır. Kazananlar, kaybedenlerden çok daha fazla olabilir.

Tahıllar meselesini bir kenara bırakırsak, böyle bir gezegen, bitki dünyasının toplam büyüklüğü ve üretkenliği açısından günümüzün yerküre sistemini neredeyse kesinlikle geride bırakacaktır, tıpkı jeolojik geçmişte genellikle karbondioksit bakımından zengin atmosferlere sahip yerküre sistemlerinde olduğu gibi. Exeter Üniversitesi'nde bitkiler, karbondioksit ve iklim arasındaki etkileşimler üzerinde çalışan bir iklim modelcisi olan Peter Cox, eğer yerküre sisteminin kararlarını karasal bitkiler veriyorsa, bugünün sıcaklığına fakat daha yüksek bir karbondioksit seviyesine sahip olan bir Tasarlanmış Gezegenin, tam da o bitkilerin istediği şey olacağı konusunda son derece kararlıdır. Böyle bir Tasarlanmış Gezegen, uzaydan bakıldığında bir yaprağa bugünkünden daha çok benzecektir (aynı zamanda biraz daha puslu görünse de).

Ve o gezegenin yeşilliği bugünkünden sadece daha yoğun değil, önemli ölçüde daha yaygın da olabilir. İnsanlar iklimlerin veya doğrusal olmayan diğer sistemlerin devrilme noktalarını incelerken, genellikle kendilerini geri besleyen değişikliklerin büyük bir rol oynadığını, etkilerinin, onları durdurulamayacak bir şekilde yönlendiren koşulları güç-

lendirdiğini görüyorlar. Yani bir buz tabakası çökerken, yukarıda çok daha büyük bir bölgeyi istikrarsızlaştırır ve o bölgenin çökmesiyle yıkım daha da büyür. Arktik kalıcı don tabakasının ısınmasıyla salınan metan, sistemi daha da ısıtarak daha fazla metan salınmasını sağlar. Kendi kendini hızlandıran bu tür etkiler, neredeyse her zaman, kötü haber gibi görünür. Yine de geçmenin iyi olabileceği en az bir devrilme noktası var gibi görünüyor.

Cezayir'in en güneyinde, rüzgarla oyulmuş kumtaşlarının olduğu Tassili n'Ajjer adında bir platoda, kayda değer bir kaya sanatı koleksiyonu vardır –binlerce fil, timsah, deve kuşu ve ceylan ile bunların arasında neşeli avcı ve hatta çoban resmi-leri. Bu kayaların yaşı on bin yıldan küçüktür. Erken-orta Holosen'de, kuzey yarımkürede yazlar ile kışlar arasındaki sıcaklık farkı bugün olduğundan daha büyüktü. Bu, Sahra bölgesini daha sıcak hale getirdi ama aynı zamanda, bugün sadece Sahel'e kadar yağmur getirebilen Batı Afrika musonlarını çok daha kuzeye çekti. Böylece Sahra havzasının uzak tarafına ve Akdeniz'e akan nehirleri besledi ve tüm Kuzey Afrika iklimini ve toprak örtüsünü değiştirdi. Bugün çöl olan yerlerin bir kısmı o zaman da çöldü ama geriye kalan diğer büyük bir bölüm, gökyüzündeki parlak beyaz bulutlarla gölgelenen göllerle dolu savanlar ve ormanlık arazilerdi. Güneyde, neredeyse Hazar Denizi büyüklüğünde olan ve Kuzey Amerika'nın bütün büyük göllerinin toplamından daha geniş bir alanı kaplayan Mega-Çad Gölü, bir iç deniz oluşturuyordu. Kıyılarında yaşayan balıkçıların kullandığı kanolar, Akdeniz'de görülenler kadar iri ve sofistikeydi.

On dokuzuncu yüzyıl Fransızlarını, Kuzey Afrika ikliminin Roma günlerinden beri kaymakta olduğuna ikna eden şeyin bir parçası, o çağa ait beşeri ve doğal kalıntılardı. Aslında, işler çok daha önceden, yaklaşık altı bin yıl önce kötüleşmiş, günümüzün çöl koşulları çarpıcı bir hızla kendini göstermişti. Buz çağlarında görülen sıcaklık dalgalanmalarının zayıf

bir yankısı olan ani bir soğuma yaşanmış ve iklim bir daha düzelmemişti. Geriye kalan tek şey, yok olup giden zenginliğin kaydedildiği polen, kemikler ve o hüzünlü resimler oldu.

Bazı bilim insanları, bu değişimin çok ani olmasının, oyunun içinde bir çeşit güçlendirme olduğuna dair bir delil olduğunu düşünüyor. Sahranın tamamı ya da büyük bir kısmı yeşilken, bitkiler sadece yağışlı iklimden faydalanmakla kalmıyor, aynı zamanda toprağı bir arada tutarak, yağmur suyunu yaprakları sayesinde gökyüzüne geri pompalayarak ve böylece yüzeyi soğutan ve bulutları oluşturan konveksiyona destek olarak bu iklimin korunmasına da yardımcı oluyorlardı. Yaz sıcaklıkları düştüğünde ve muson güneye kaydığında bile bunu yapmaya devam ettiler, ta ki yaklaşık altı bin yıl önce kuru bir soğuk sisteme ölümcül darbeyi indirene kadar. Bu soğuk, bitki örtüsü için hayatı biraz daha zorlaştırdı; bu da daha fazla kurumaya yol açtı ve daha fazla bitkinin ölmesine neden oldu. Küçük çöl parçaları genişledi ve birleşti.

Karbondioksit seviyesinin daha yüksek olduğu ve dolayısıyla daha verimli su kullanan bitkilerin olduğu bir dünyada bu süreç tersine çevrilebilir. Çeşitli modeller, küresel ısınmanın zamanla Sahra'nın en azından bazı kısımlarının yeniden yeşillenmesine yol açabileceğini öne sürüyor. Daha fazla bitki, daha fazla su buharı, daha fazla bulut ve yağmur ve dolayısıyla daha fazla bitki anlamına gelir ki bunlar, çölün tersine dönmesine neden olacak geribildirimlerdir. Karbondioksidin daha yüksek olduğu ancak sıcaklık artışının olmadığı bir dünyada yani bir perde ile örtülmüş bir dünyada, bitkiler su verimliliğinde aynı kazanımları gösterecek ancak daha yüksek sıcaklıklardan hiçbir zarar görmeyecektir ve sonuç olarak, böyle bir tersine çevirmenin sonuçları çok daha iyi olabilir. Çölün uçsuz bucaksız kuru havzaları, Verne, de Lesseps ve hatta Lowell gibi büyük kanallarla değil, artık korunan bir gökyüzünden gelen yağmurlarla yeniden doldurulabilir.

KARBONUN BUGÜNÜ VE YARINI

Atmosferi temizleyen bu bitkiler, gezegenin yüzeyinde, yeterli sayıda ve öyle ustaca büyürler ki, TÜM havanın temizlenmek için er ya da geç bu halat küplerinin birinden geçmesi gerekir. Dolayısıyla Marslı akıl, kendi gezegenin havasını koruyor. Dünya'nın atmosferi, kendisini temizleyen bitkilere ihtiyaç duymaya başlamadan önce kömür yakan makineleriniz daha ne kadar çalışacak?

Hugo Gernsback, *The Scientific Adventures of Baron Munchausen* (1917)

Harrison Brown'ın "atmosfere karbondioksit taşıyan devasa jeneratörler" hayali, jeomühendislik tarihinde bir istisnadır. Arrhenius, fosil yakıtların endüstriyel kullanımının iklim üzerindeki etkisini büyük ölçüde tehlikesiz bir şey olarak gördü. Arrhenius'un 1930'lardaki çalışmalarını takip eden İngiliz bilim adamı Guy Callendar, fosil yakıtların bir sonraki buzul çağını erteleyeceği sonucuna varmaktan mutluydu: "Ölümcül buzulların dönüşü süresiz olarak ertelenmelidir." Ama bence Brown'dan başka sadece bir kişi (Arrhenius'un arkadaşlarından Nils Ekholm), atmosferdeki karbondioksidi artırmanın, sırf endüstriyel modernleşmenin bir yan etkisi olarak memnuniyetle karşılanmak yerine, başlı başına bir amaç olarak ele alınabileceğini öne sürdü. Ve 1970'lerden bu yana vurgu,

daha çok zıt süreç üzerine olmuştur. Önceki bölümlerde gerçekleştirdiğimiz iklim dışı jeomühendislik ve geçmiş zaman yolculuklarından yeni bir ölçek anlayışı edindiğimizi ümit ederek şimdi karbondioksit azaltmaya yönelik jeomühendislik tekniklerini ele alacağız.

Atmosferdeki karbondioksidi geri çekmek isteyen araştırmacılar, başka müdahaleler tasavvur eden jeomühendislere göre açık avantajlarla işe başlarlar. Yirminci yüzyılın başlarındaki sözde nitrojen jeomühendislerinin aksine, insanların karbon döngüsünü küresel ölçekte etkileyebileceğini bilirler, zira gezegenin atmosferinde, okyanuslarında ve bitkisel yaşamında bu gerçeğe tanıklık eden yüz milyarlarca ton fazladan karbon vardır. Ve bu karbonu insanların onu bulduğu yere veya başka güvenli bir depoya geri koymak, gelen güneş ışığıyla uğraşmaktan hem ideolojik olarak daha kabul edilebilir hem de politik olarak daha makuldür. Karbonu güvenli depolara taşımak, dönüştürücü olmaktan çok onarıcı hissettirir ve ortalığı karıştırdığınızda ne yapmanız gerektiğine dair sağduyulu fikirlere kolayca uyum sağlar: depoları temizlemek. Atmosferdeki karbon miktarını azaltmak, daha az olması gereken şey şeklindeki mevcut iklimsel politika çerçevesine kolaylıkla uyar.

Ancak karbondioksidi azaltmak isteyenlerin talip olduğu görev çok büyüktür. Halen sadece iki beşeri girişim yılda on milyarlarca ton ham madde kullanıyor. Enerji ve gıda arzlarının her ikisi de karbon döngüsüne sıkıca bağlıdır. Bu döngünün başka bir parçasının güzergahını kasten değiştirmek, yalnızca listeye üçüncü bir girişim eklemek değil, aynı zamanda ilk ikisi ile kaçınılmaz etkileşimini de yönetmek anlamına gelir.

Bunun yapılabileceği birbirinden çok farklı üç yol vardır: bitkilerin emdiği karbondioksit miktarını artırmak, okyanusların emdiği miktarı artırmak, ya da Harrison Brown'ın hayalini tersine çalıştırarak havadan karbondioksit çeken devasa aspiratörler yapmak. "Havadan doğrudan yakalama"

mekanizmasından başlayarak bu alternatifleri sondan başa doğru ele alacağım.

Giriş bölümünde gördüğümüz gibi, büyük hayal güçleri ve zengin sponsorları olan bir dizi girişimci fizikçi bu teknolojiyle ilgileniyor. Buradaki anafikir, büyük miktarda havayı, karbondioksidi boşaltmaya istekli bir maddeyle temas ettirmektir. Bu maddenin hava ile temas ettiğinde karbondioksidi almak için açgözlü ancak diğer bazı durumlarda onu bırakmaya hazır olması gerekir. Karbondioksidi tutan mekanizmanın, belki farklı bir sıcaklık ya da pH gibi, farklı koşulları istendiğinde ortaya çıkarabilmesi ve ayrıca büyük miktarlarda havayı işleyecek şekilde ölçeklenebilmesi gerekir. Ve tüm sistemin mümkün olduğunca ucuza mal edilmesi gerekir.

Temel sorunlardan biri, yerküre sisteminde bir kaldıraç elde etmenin en kolay yolunun, yoğunlaşma noktalarına müdahale etmek olmasıdır. Bu nedenle karbondioksit en kolay şekilde fosil yakıtlardaki konsantre karbondan üretilir ve reaktif nitrojen, havadaki konsantre nitrojenden sabitlenir. Ancak atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu, yakın tarih açısından yüksek olsa da mutlak anlamda düşüktür: 400 ppm, yüzde 0.04'e eşittir. Termodinamik yasalar, bir karışımın içindeki bir bileşen ne kadar seyreltikse, onu karışımdan çıkarmanın o kadar zor olduğunu söyler. Atmosferdeki molekülleri, bir kovada ayırıştırılması gereken bilyeler olarak düşünün. Bunların beşte dördü mavi nitrojen, beşte biri ise kırmızı oksijen bilyeleridir. 2 bin 500 bilyenin sadece bir tanesi beyaz karbondioksit molekülüdür.

On bilyeden birinin beyaz olduğu bir kova bulabilseydiniz, işler çok daha kolay olurdu. Böyle birçok kova mevcuttur. Fosil yakıtlarla çalışan elektrik santrallerinin bacaları genellikle yüzde 10'u karbondioksit olan gazlar içerir. Bu baca gazından karbondioksidi çekmek için çeşitli sistemler tasarlanmıştır ve termodinamiğin söylediği gibi bunu, atmosferin oldukça

seyretilik karbondioksidiini çekmek için tasarlanmış sistemlerden çok daha kolay yaparlar. Buna rağmen bu sistemler bile emisyonları azaltma mücadelesinde henüz fazla bir ilerleme kaydedememiştir. Bu, havadan doğrudan yakalama konusuna çok meraklı olanlara bir ara verdirmesi gereken ve verdiren bir başarısızlıktır.

Santral bacalarındaki karbonu temizleme fikri ilk olarak 1970’lerde gündeme geldi. Uluslararası Uygulamalı Sistemler Analizi Enstitüsü’nde (kurucularından birisinin Harrison Brown olduğu, Viyana’nın dışında uluslararası bir düşünce kuruluşu) çalışan İtalyan fizikçi Cesare Marchetti, elektrik santrallerinden gelen karbondioksitin derin okyanus sularında depolanacağı bir sistemi tarif ederken “jeomühendislik” terimini iklim bağlamında ilk kez kullanmış oldu. İklim politikasındaki ana meselenin karbon kontrolü olduğunun düşünüldüğü 1990’larda, bu fikir yeniden ortaya çıktı. Artık olası kaplar olarak derin okyanuslar yerine çoğunlukla yeraltı tuzlu su havzaları ve boşaltılmış gaz sahaları tercih ediliyor ve çoğunlukla jeomühendislik olarak değil, “karbon yakalama ve ayırma” (CCS) olarak biliniyor.⁴¹

İklim politikası çevrelerinde CCS genelde gerekli bir teknoloji olarak görülüyor. Dünyanın elektriğini, karbondioksit emisyonları olmadan üretmeye yönelik senaryoların çoğu, elektriğin önemli bir bölümünün CCS teknolojisi ile donatılmış termik elektrik santrallerinden geleceği düşüncesine dayanır. Nükleer enerjiden vazgeçilen senaryolarda, CCS neredeyse zorunludur. Üstelik CCS aslında zor bir teknoloji değildir. Baca gazından karbondioksit elde etmek, kimya mühendislerinin Sir William Crookes zamanından beri uğraştıkları bir iştir.

Fakat CCS gerekli ve uygulanabilir görülmesine rağmen inatla kullanılmamaktadır. On yıldan fazla bir süredir yaygın olarak lanse ediliyor ancak halen ne bu teknolojiyi kullanan tam

41 “S”, yakın bir zaman önce “depolama” kelimesini temsil etmeye başladı.

ölçekli bir termik tesis ne de öngörülebilir gelecekte mütevazı büyüklükte birkaç örnek tesisten fazlası için bir plan vardır.

Hükümetler, on ya da yirmi yıl içinde teslim edilebilecek teknolojiler geliştirmek yerine, bazı seçmenler arasında popüler olan ve hemen inşa edilebilen yenilenebilir enerjileri sübvansetmeyi tercih ediyor. Uzun vadeli seçeneklere harcadıkları paranın nükleer enerjiye ayrılma olasılığı daha yüksektir. Nükleer enerji, CCS gibi, hem gece hem de gündüz, hava durumu ne olursa olsun sürekli elektrik temini vadediyor. CCS'den farklı olarak, hükümet fonlarını çeken onlarca yıllık deneyime sahip bir endüstriyel oluşumun ve Prometeyen zorluklarını çekici bulan hazır bir mühendis kaynağının –Soddy'nin varisleri– avantajlarından yararlanıyor. Radikal nükleer yenilikler için pek umudum yok fakat halen masada duran bazı şeyler inkar edilemez derecede heyecan verici ihtimallerdir. Buna karşılık CCS, büyük bir heyecan duyulamayacak kadar sıradan bir problemdir ve aslında, çözümünü neredeyse çok basittir.

Hükümetlerin nükleere para harcamamasını tercih eden yeşiller, alternatif olarak CCS'yi zorlamaya pek istekli değiller. Çok az yeşil, fosil yakıt şirketlerinin işlerini yapmaya devam etmeleri için tasarlanmış bir teknolojiyi gerçekten destekler. Ve CCS'deki S'nin işaret ettiği gibi, Commoner'ın "Her şey bir yere gitmek zorundadır," ilkesi hâlâ geçerlidir. Bu, karbondioksitin yeraltında gideceği yerin üstünde yaşayan insanların en azından bazılarının buna direneceği anlamına geliyor (buradaki teknik terim NUMBY'dir –Arka Bahçemde İstemiyorum). Yeraltına basınçlı sıvı enjekte etmeyle ilgili artan (büyük ölçüde asılsız) endişeler bu kaygıları pekala artırabilir. Fosil yakıt işinin yararına, yeraltındaki jeolojik yapılara sıvı enjekte edilmesini gerektiren CCS, bu işlemin yakıt çıkarmak için yapılan haline çok benzemektedir ve bu benzerlik yeşillerin pek de sevdiği bir şey değildir.

Şirketler, karbonu yeraltında depolamaktan para kazanabileceklerini düşünselerdi, muhtemelen birçok yerde yakıt

çıkarmak için buldukları gibi, muhalefete rağmen bunu yapmanın bir yolunu bulurlardı. Oysa büyük ölçekli bir CCS, uygulayıcılarına ancak iklim politikasının karbona düşe dokunur bir fiyat biçtiği –ton başına en az 50 dolar hatta büyük olasılıkla bunun iki katı– bir dünyada kâr etme sözü verebilir, üstelik ilk bir milyar ton için hemen ödenecek olan bu paranın yıllar içinde sabit kalacağını ya da artacağını garanti edilmesi gerekir. Oysa yaşadığımız dünya, böyle bir dünya değildir.

Yine de bazıları CCS'yi belirli koşullar altında uygulanabilir hale getirebilecek bir dizi endüstriyel karbondioksit pazarı mevcut. Bu tür en büyük kullanım, gelişmiş petrol geri kazanımında gerçekleşmektedir. Bazı petrol sahalarında bir kuyuya karbondioksit fişkırtmak, bitişikteki petrol akışını artırabilir. Bu teknik, Teksas'ta halen yaygın olarak kullanılmaktadır. *Summit Power*'ın Teksas'ta kömürle çalışan CCS'li bir elektrik santrali kurma planının nedenlerinden biri, şirketin karbondioksidi petrol endüstrisine satarak kazanabileceği paranın, bazı hükümet teşvikleriyle birlikte, kâr getireceği düşüncesidir. Ancak CCS'yi gelişmiş petrol geri kazanım pazarına bu şekilde bağlamak, birkaç pilot tesisin kurulmasına yardımcı olsa da yeşiller tarafından kabul edilme olasılığını daha da azaltır.

Petrol geri kazanım piyasası bu hikayenin tamamı değildir. Bazı hükümetlerin iklim değişikliği teknolojisi portföylerinde de bir gün ihtiyaç duyulacağı düşüncesiyle, pilot CCS tesisleri için planlar var. Ancak bu çabalarda görülen istek ve ilerleme eksikliği, bu hükümetlerin hiçbirinin, karbondioksidi binlerce elektrik santralinden on binlerce kuyuya taşıyan yüz binlerce kilometrelik boru hattı içeren bir gelecek öngörmediğini gösteriyor.

CCS'yi kullanmak için gerçek bir niyet yoksa, neden araştırılsın? Cevaplardan biri, araştırma fonunun ikiye bölünmüş bir şekilde erdeme ödenen bir haraç işlevi görebilmesidir. Clive Hamilton, CCS araştırmasının, düşük emisyonlu fosil yakıt tesis-

lerinin çok da uzak olmayan bir gelecekte mümkün olacağı şeklindeki üstü kapalı vaadinin sadece fosil yakıt kullanımını belirsiz bir süreye kadar devam ettirme niyetini örtmek için yaşatıldığını öne sürerek bu noktayı canlı bir şekilde ifade ediyor. Bu, Aziz Augustine'in kiliseden dışlanamayan bir kinizm imasıyla "Beni saflaştır Tanrım, ama henüz değil," sözüne benziyor. Bence bu güçlü bir argüman ve iklim jeomühendisliğinden bahsetmenin aynı şekilde bir geciktirme taktiği olarak hizmet edebileceği endişesinin altını çiziyor.

Karbondioksidi havada doğrudan yakalayıp emmenin CCS'ye göre avantajları vardır. Ne hiçbir heyecan uyandırmayacak kadar sıradan ne de çözümü aşırı basittir. Dünyayı değiştirecek Prometeyen bir vaadi vardır ve bunu ucuz bir şekilde yapmanın bir yolunu bulmak gerçekten zor görünüyor. Ancak, Robert Socolow'un o karlı günde Calgary toplantısında belirttiği gibi, endüstriyel emisyonların sunduğu çok daha yoğun kaynaklardan karbondioksit çıkartmak için kapsamlı bir girişim başlatmadan önce, küresel ölçekte atmosferden karbondioksit yakalamaya yönelik gerçekten zor bir göreve adanmış bir teknolojiyi uygulamaya kalkmak pratik açıdan hem akıllıca hem de olası görünmüyor. Şu anda havadan doğrudan yakalama üzerinde çalışanların hemen hemen hepsi aynı fikirde. Çoğu, çalışmalarının, sıkı düzenleyici çerçevelerin ve mevcut tedarikçiler tarafından kolayca karşılanamayan karbondioksit ihtiyacının özellikle kendi ürünlerini değerli kıldığı durumlara uygun olduğunu düşünüyor. Bu tür durumlar büyük değildir, bunların kapasitesini yılda milyarlarca değil, on binlerce ton olarak ölçmek gerekir. Fakat yine de küçük şeylerin büyüdüğünü unutmamak gerekir; petrol endüstrisi de bir zamanlar küçüktü. Ancak Hamilton'ın CCS eleştirisini de akıldan çıkarmamak gerekiyor.

O halde, yerküre sisteminin, insanlığın atmosfere saldıgı emisyonların önemli bir bölümünü çeken iki kanalı –bitkilerin fotosentezi ve okyanusların soğurması– halihazırda bu işin

ne kadarını yapıyor? Bu küvetler, şu anda herhangi bir teşvik olmadan beşeri faaliyetler tarafından yayılan yıllık on gigaton karbonun yaklaşık yarısını emiyor. Bunlardan birisinin ya da her ikisinin birden kapasitesi biraz daha artırılabilirse, sorun toptan çözülemez mi ya da en azından ötelenemez mi?

Başlanması gereken ilk yer okyanuslar gibi görünüyor. Ne de olsa, tasavvur edilebilecek herhangi bir fosil yakıt emisyon miktarını gölgede bırakan bir çözünmüş karbon deposunu temsil ediyor. Atmosferdeki sanayi öncesi seviyeyi ikiye katlamak için gereken karbon miktarı, okyanustaki inorganik karbon stoğunu yüzde 2'nin biraz altında artıracaktır. Atmosferi bir kaynak olarak kullanarak okyanus stoğunda böyle bir artış sağlamanın bir yolunu bulmak, günümüzün iklim problemlerini aşağı yukarı tamamen çözecek gibi görünmektedir.

Okyanusların karbondioksit soğurma derecesi, yalnızca ne kadar karbon emdiklerine değil, aynı zamanda emilen karbonun hangi durumda olduğuna da bağlıdır. Okyanuslardaki inorganik karbon üç durumda bulunur: karbonik asit, bikarbonat iyonları ve karbonat iyonları. Bunları, karbonun ileri geri hareket ettiği, arka arkaya dizilmiş üç bölme olarak hayal edebilirsiniz. Sistem dengede olduğunda, bölmelerden herhangi birine giren ve çıkan akışlar birbirine eşittir. Denizin daha fazla karbondioksit emmesini istiyorsanız, bazı yüzey sularındaki bu dengeyi, karbonun karbonik asit bölmesinden bikarbonat bölmesine, oradan da karbonat bölmesine doğru akmak isteyeceği koşulları oluşturmak üzere bozmanız gerekir.

Kimya basit bir seçenek sunar. Karbonun bir bölmeden diğerine geçme isteği suyun alkalitesine bağlıdır. Alkaliteyi artırdığınızda karbon, karbonat bölmesine doğru, azalttığınızda ise ters yöne doğru daha kolay hareket eder. Okyanusun bazı yüzey sularını daha alkali hale getirmek stokladığı karbondioksit miktarını artıracaktır. Sorun şu ki, bu çok büyük bir çalışma gerektiriyor. Alkaliteyi artırmak için kireç –kalsiyum

oksit- kullandığımızı düşünelim. Denizlere bu şekilde eklenen her beş kalsiyum oksit molekülü için, atmosferden sekiz veya dokuz karbon atomu çekmeyi bekleyebilirsiniz. Ne yazık ki bu, kalsiyum daha ağır bir atom olduğundan, atmosferden bir milyar ton karbon çekilebilmesi için okyanusa iki milyar ton kireç eklenmesi demektir.

Diğer yandan, kirecin hem enerji tüketen hem de karbondioksit üreten bir işlem olarak kireçtaşının ısıtılmasıyla elde ediliyor olması sorunu vardır. Eğer bir yılda bir milyar ton karbonu çekmek için gereken üç milyar ton kireç yapılıyorsa, sürekli olarak ve yaklaşık 50 gigavatlık bir güç gerektirirdi ki bu Birleşik Krallık'ın kullandığı güç kadardır. Kireç yapımı işleminde üretilen karbondioksidten kurtulmak için bir tür CCS'niz yoksa, tüm iş neredeyse boşuna yapılmış olur.

Bu, kireçlemeyi küçük ölçeklerde umutsuz bir girişim yapmaz. Alkalileştirilmiş deniz suyunun baca gazıyla köpürtülmesi yoluyla karbondioksit çekilebilir ve bunlar bana, mevcut CCS teknolojilerinin yeterince değer verilmeyen alternatifleri gibi görünüyor (gerçi karbondioksit yerine bikarbonat ve karbonat ürettikleri için gelişmiş petrol geri kazanımı gibi pazarlara hizmet etmiyorlar ve bu durum onları marjinalleştirme eğilimi gösteriyor). Ayrıca, örneğin çok değer verdiğiniz bir resifin etrafı gibi bazı yerlerde asitlenmeyle mücadele etmek için deniz suyunun alkalitesini her halükarda değiştirmek isteyebilirsiniz.

Okyanus yüzeyinin bazı bölümlerini daha alkali hale getirmek ve kayaların aşınmasını teşvik ederek daha fazla karbonat oluşturmak için başka yaklaşımlar da var. Bunların bazıları, uygun kayaları ince bir toz haline gelene kadar ezmek, bu tozu kumsallara serpmek ve kayanın yüzey alanını artırarak elde ettiğiniz hızlandırılmış kimyanın keyfini çıkarmak kadar basittir. Bu yöntemlerin ne kadar çabuk işe yarayacağı belli değildir. Hepsinin büyük net enerji girdileri –kaya kırmak

zor bir iştir- ve atmosferden çektiğiniz her milyar ton karbon için milyarlarca tonluk bir maddeyi veya başka bir şeyi hareket ettirme yeteneği gerektireceği açıktır. Bu, insanın keşke bir kaldıraç olsaydı diyeceği türden bir durumdur. 1990’larda ve 2000’lerde, biyoloji böyle bir kaldıraç sağlayabilirmiş gibi görünüyordu.

Okyanus Anemisi

Yine Liebig’e dönüyoruz. Eğer bir şey büyümüyorsa bunun nedeni genellikle temel bir besinden yoksun olmasıdır. Britanya İmparatorluğu’nun gelecekteki buğday arzına bakan Crookes için eksik olan şey nitrojendi. Buz çağlarının cılız bitkileri için eksik olan şey ise karbondioksitti. Okyanustaki pek çok mikroskobik fotosentetik organizma için eksik olan şey de fotosentezde hayati önem taşıyan demirdir.

Okyanusta nitrojen ve fosfor (karbon ve nitrojenden sonra canlı dokularının en çok ihtiyaç duyduğu element) bakımından zengin ancak nispeten yaşamdan yoksun geniş alanlar vardır ki deniz biyologları buralara bazen çöl derler. 1930’larda Norveçli oşinograf Haaken Hasberg Gran bunun nedeninin, besin zincirinin en altında yer alan planktonlar için bu bölgelerde yeterli demir bulunmaması olduğunu öne sürdü. Bunu ispatlamak zordu; çelikten yapılmış bir gemide otururken deniz suyundaki çok düşük demir konsantrasyonlarını ölçmek zor bir iştir. Ancak Amerikalı bir oşinograf olan John Martin, 1980’lerde, çöllerdeki planktonların gerçekten de demir eksikliğinden öldüğünü gösteren yeni bir “ultra temiz” teknik geliştirdi.

Söz konusu demir konsantrasyonlarının ultra temizliğe ihtiyaç duyacak kadar düşük olması, demir gübrelemesinin ne kadar güçlü olduğunun başlı başına bir kanıtıydı. 1990’larda yapılan teorik bir hesaplama, okyanusun yüzeyine bir ton demir ekleyerek atmosferden 100 bin ton karbon çekilebileceğini öne sürdü. Bu, yüz milyar ton karbonun neden olduğu

ısınmayı birkaç milyon ton kükürt ile dengeleyen stratosferik perdelerin sunduğuna denk bir kaldıraçtır.

Martin yaptığı bu keşfi, buzul çağlarıyla ilgili büyük ve kalıcı soruyu cevaplamanın bir yolu olarak gördü. 1980'lere gelindiğinde, buzul çağları boyunca okyanusların derinliklerinde saklanan çok fazla karbon olduğu biliniyordu. Bu karbon, atmosferde, karadaki o cılız bitkilerde veya bu bitkilerin yoksul topraklarında olmadığına göre başka nerede olabilirdi ki? Martin, karbonu oraya demir gübrelemesinin koyduğunu iddia etti. Buz çağları rüzgarlı, kuru ve tozluymuş ve mineral tozu demir içeriyordu. Buzul çağlarında deniz seviyesinin alçalması yüzünden çok daha geniş ovalar içeren Güney Amerika'nın tozu, özellikle demir sıkıntısı çeken Güney Okyanusu'na uçar ve orada devam eden fotosentez miktarını artırır. Güney Okyanusu'nun bazı kısımlarında, soğuk ve yoğun yüzey suyu derin küvetlere doğru batır ve daha fazla fotosentez, batan bu suyun içinde daha fazla karbon olduğu anlamına gelir. Martin yaşamın, karbonu atmosferden bu şekilde okyanusun derinliklerine doğru pompalamasını sağlayan demir gübrelemesinin, buzul çağlarını soğuk tuttuğunu savundu.

Çok benzer bir şey, diye devam etti, sera ısınmasını yumuşatmaya hizmet edebilir. Demir açısından zengin, buzul çağı benzeri bir Güney Okyanusu yaratılırsa planktonlar çok daha fazla karbondioksit zulalayacaktır. Bunlar sonsuza kadar o derinliklerde kalmaz ama yüzyıllar boyunca atmosferin dışında kalacak ve insanoğlunun bu süre zarfında, şüphesiz, *İtalyan İş'i*'ndeki Michael Caine gibi, bir şeyler düşünmesi için bir nefes alma alanı sağlayacaktır. Ve bu görece kolay bir şekilde yapılabilir. Bir milyar ton karbonu depolamak için üç milyar ton kireç gerekirken, bu teorinin önerdiği 100.000:1'lik kaldıraçla bu iş, 10 bin ton demirle halledilebilir.

Martin'in birçok meslektaşı, buz devri önerisini seçkin bir jeo-şiir örneği olarak gördü ve içerdiği jeomühendislik bazı-
larının ilgisini çekti. Birkaç grup, okyanustaki çöllere demir

birakınca ne olduğunu görmek için deneysel deniz seferleri düzenledi. Muhtelif girişimciler de bu seferlerle ilgilendi. Bu fikir, karbon piyasalarının köpürdüğü, Kyoto Protokolü'ne giden ve hemen ardından gelen dönemde öne çıktı. Okyanusları gübrelemek, atmosferdeki karbonu ucuz bir şekilde ortadan kaldırıyor, bu, atmosfere karbondioksit salan insanlara satılacak karbon kredileri için kullanılabilirdi. Bu yöntemi savunanlardan birinin dediği gibi, insan, tekneyle etrafta dolaşarak “bir yandan dünyayı kurtarıırken diğer yandan zengin olabilirdi.”

Oşinograflar bu coşkudan oldukça iyi sonuçlar aldılar. Demir gübrelemesinin iklim değişikliğiyle mücadelede uygulanabilme ihtimali, pahalı araştırma yolculuklarının finanse edilmesine yardımcı oldu. Bu yolculuklarda gerçekleştirilen deneysel gübreleme, uzaydan açıkça görülebilen etkileyici patlamalar ve deniz ekosistemlerinin nasıl çalıştığına dair başka hiçbir şekilde toplanamayacak çok sayıda veri üretti. Bu araştırma, Martin'in buzul çağı hakkındaki fikirlerini bir şekilde doğrulamış oldu: Derin okyanusları buzul çağlarında karbon bakımından zengin tutan tek faktör biyolojik pompa değildi ve muhtemelen en büyüğü de değildi ancak şu anda kesinlikle bir rol oynadığına dair geniş bir kabul var. Güney Amerika'nın değişen coğrafyasını, fotosentezin moleküler biyolojisini, okyanus sirkülasyonunun dinamiklerini, karbondioksit seviyesini ve küresel iklimi tek bir hikayede bu şekilde toplamak, harikulade zengin bir yerküre sistemi açıklamasıydı ve bu sistemle ilgilenenler için oldukça tatmin ediciydi.

Ancak bulgular, sözde jeomühendisler için o kadar da cesaret verici değildi. Deneyler, yüz bine bir değil, en iyi ihtimalle bine bir olan bir demir-karbon oranı buldu. En çok yararlanan planktonlar –her zaman gübrelemeden en çok yararlanan bir şey vardır– karbondioksidi derinliklere çekmeye en uygun olanlar değildi. Plankton patlamasından beslenen yaratıklar beklenenden daha fazla karbonu tekrar karbondioksit çevirdiler. Dışkılar ve sindirilmemiş parçalar derinliklere daha az

battı. Patlamanın altındaki düşük (kıyı sularında gübre akışının neden olduğu ölü bölgelerde görülenlere benzer) oksijen koşullarının nitröz oksit üretimini teşvik etmesi işleri daha da kötüleştirdi. Nitröz oksitin yüksek küresel ısınma potansiyeli göz önüne alındığında, en mütevazı miktarlardaki emisyonu bile tüm fikri batırmaya yeterli olabilirdi. Deneylerin ortaya çıkardığı karmaşıklık, en başından beri açık olması gereken şeyleri de gösterdi: Plankton patlamasının ürettiği karbonun gidişatını, bu işlemi, borsalarda alınıp satılabilecek karbon kredileri oluşturmanın bir yolu olarak onaylamaya yetecek kadar güvenilir bir şekilde takip etmek, son derece zor olacaktı.

Bu deneyler jeomühendisliği daha makul kılmak için çok az şey yapmış olsa da profilini kesinlikle yükselttiler. Okyanus demiri savunucularından biri ve aynı zamanda “soğuk füzyon” sistemleri satmaya çalışan Amerikalı bir girişimci olan Russ George’un tantanalı iddiaları, daha önce çoğunlukla tarımla ilgilenen Kanadalı bir çevre örgütü olan ETC grubunun dikkatini çekti. ETC, George’un planlarını yüksek sesle kınadı, böylece hem kendi hem de konunun profilini yükseltti. Bu grup, o zamandan beri, jeomühendisliğe karşı çevreci muhalefette lider bir rol üstlenmiştir. Jeomühendislik araştırmalarına meraklı olanlar için ETC’nin bu tutumu incitici olabilir zira bu tür çalışmaların neredeyse tamamına karşı gösterdiği muhalefet nerdeyse acımasızdır ve çevreciler arasında jeomühendisliğe yönelik yaygın bir güvensizliği besleme, harekete geçirme ve odaklama konusunda etkindir. Ancak böyle bir konuda sert tartışmaların olmaması da yanlış olurdu. Ve genelde insan, düşmanını kendisi seçemez.

ETC ve diğerleri tarafından yapılan protesto ve lobi faaliyetleri, 2000’lerin ortalarında demir gübrelemenin devletler arası forumlarda tartışılan ilk iklim jeomühendisliği türü olduğu anlamına geliyordu. Atıkların uluslararası sulara bırakılmasını düzenleyen 1972 tarihli Londra Denize Boşaltma Sözleşmesi’nin tarafları konuya ilgi göstermeye başlamışlar ve

demir gübrelemenin sözleşmenin kapsamına girdiğine karar vermişlerdi. Taraflar, şimdilik, büyük bir bölümü Antarktika Antlaşması'nın Madrid Protokolü uyarınca özel korumaya sahip olan Güney Okyanusu'nda bile bilimsel bilgi elde etme gayesiyle gübrelemeye izin verilebileceği sonucuna vardılar. Karbon kredisi satmak gibi bilimsel araştırma dışı amaçlara yönelik demir gübrelemeye şu anda izin verilmemektedir ancak sözleşme bunu tamamen ortadan kaldırarak şekilde değiştirilmemiş ve kıyı suları kapsam dışı bırakılmıştır.

Bu nedenle, demir gübreleme kullanarak pratik jeomühendislik beklentileri şu an için zayıftır. Orijinal araştırmayla ilgilenmiş olan birçok oşinograf, artık bu yöntemin kullanılacağı herhangi bir uygulamada yer almak istemiyor gibi görünüyor ve bazıları aktif bir şekilde bu yönetime karşı çıkıyor. Gerek bu fikirden hoşlanmayan çevrecileri gerekse uluslararası kurumlardan yararlanmak isteyenleri memnun eden nedenler var. Jeomühendisliğin yönetim açısından çok can sıkıcı sorunlar çıkardığı sık sık dile getirilmesine ve bunun gelecekte ancak, herhangi bir tür iklim jeomühendisliğinin gerçekten uygulanmaya başlanması halinde doğru olabileceği gerçeğine rağmen mevcut uluslararası örgütler ve anlaşmalar ağının ilgili parçalarının oldukça etkili bir şekilde hizmete girmesi sağlandı. Konu gündeme geldi, uzmanların tavsiyeleri alındı, ilgili yargı yetkisinin kime ait olacağı belirlendi, kararlar alındı: Başka ne istenebilir ki? Sadece süreç iyi işlemedi, elde edilen sonuç da oldukça istisnai görünüyordu. George ve benzerlerinin duyurduğu demir gübreleme planlarının –bunların çoğu, derin sularda uzun vadeli karbon depolama olasılığı çok düşük olan, yüzey sularını gübreleme planlarıydı– neden olduğu dolandırıcılıktan rahatsız olan herkes, başarısız olduklarını görmenin verdiği tatmin duygusunu hissetti.

Ama hâlâ daha fazlasının yapıp yapılmayacağını merak eden oşinograflar var. Demir gübreleme deneylerinin sonuçlarından biri, okyanuslardaki ekosistemin bu şekilde dürtüldüğünde gerçekte nasıl çalıştığının daha iyi modellenmesi olmuştur.

Bir diğeri, modellerde henüz yer almayan şeylerin daha iyi anlaşılması oldu. Rüzgarların taşıdığı tozlarla gerçekleşen doğal gübreleme, bugüne kadarki insan müdahalelerinden çok daha etkili görünüyor ve iyileştirme imkanı olduğunu gösteriyor. Daha fazla deney ve daha fazla modelleme, daha iyi bir müdahale biçiminin tasarlanabileceği bir zemin oluşturmayaabilir. Demirin daha iyi kullanılmasıyla patlamanın okyanusların derinliklerine karbon gönderme olasılığını artıran bir müdahale biçiminde oluşacak nitröz oksit ve diğer istenmeyen yan ürünler gerçekten görmezden gelinebilir mi? Ve bugünün işlevsiz karbon piyasaları, karbonu girişimciler için kârlı hale getiremese de bu tür iyi tasarlanmış gübreleme yöntemleri hükümetler için faydalı olabilir mi?

Bugüne kadar bu tartışmalara katılan insanların çoğu için, her iki sorunun da cevabının hayır olduğunu tahmin ediyorum. Jeomühendislikle ilgili tüm ciddi tartışmalarda insanlar ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki yan etkilerden endişe duyarlar. Gerçekten de BM'nin Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi, kısmen ETC'nin etkili kampanyasının bir sonucu olarak, jeomühendislik araştırmalarının sınırları konusunda, biyoçeşitliliği korumak için yasalaştırıldığı varsayılan ve kulağa sert gelen (ancak pek de bağlayıcı olmayan) bir dile sahiptir. Ben ve başkaları bunu tuhaf buluyoruz. Küresel ısınmanın biyoçeşitliliğe verdiği zararın hem yaygın olması hem de sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanması bekleniyor, öyle ki bu değişiklikler büyük ölçüde, çeşitli türlerin yaşam alanlarını, türlerin ayak uydurma yeteneğini zorlayan veya aşan hızlarda değiştirme riski taşıyor. Bazı jeomühendislik senaryolarında insanlar için gerçekten problem oluşturabileceğini düşündüğüm, yağış modellerindeki değişimler ve artan savaş olasılığı, yaban hayatı için sıcaklıktan çok daha az önemlidir. Eğer tek endişeniz biyoçeşitliliği korumak olsaydı, sıcaklığın arttığı bir Sera Gezegeni yerine sıcaklıkların sabit kaldığı bir Tasarlanmış Gezegeni seçmek daha makul olurdu.

İnsanlar, öyle ya da böyle, herhangi bir jeomühendislik planıyla ekosistemlerin istenmeyen bir şekilde etkilenmesi konusunda endişeleniyorlar. Ekosistemi, demir gübreleme jeomühendisliğiyle değiştirmek, istenmeyen bir etki değildir zaten. Aslında bütün mesele budur: Demir gübreleme jeomühendisliği bu işi ekosistemin kompozisyonunu birincil üreticilerin tesis ettiğinden daha yukarıya çekerek yapar. Modeller, böyle bir planın yılda bir milyar ton karbonu stoklayabilmesi için, Güney Okyanusu'nun demirden yoksun olan her bölgesinin hedef alınması gerektiğini söylüyor. Yaşam ağına toptan ve kasıtlı her müdahale, ilgili besin zincirlerinin karmaşıklığı göz önüne alındığında, her zaman istenmeyen sonuçlar doğurma riski taşır. Süreç milyonlarca kilometrekareye yayıldığında, bu istenmeyen sonuçlar da benzer büyüklüklerde olabilir. İnsanların gezegenin dört bir yanındaki okyanus ekosistemlerine verdiği aşırı avlanma, ölü bölgeler oluşturma, alkaliteyi azaltma, yüzey sıcaklıklarını artırma gibi muhtelif zararları hesaba kattığınızda, riskler daha da kötü görünüyor. Sağlıklı bir okyanus, büyük ölçekli gübrelemenin getireceği kırılganlıkla başa çıkabilse bile günümüzün zaten stresli ve hastalıklı sularının muhtemelen yeterince dirençli olmayacağını sezmek zor değildir.

Modellerin itimat edilebilecek kadar emniyetli olduğunu ve okyanus verimliliğinin artmasının, okyanusa uygulanan diğer müdahalelerle birleşerek bir felaket sinerjisi oluşturmayacağını bir şekilde hissetsek bile bu imkan hâlâ çok uzak bir adım olabilir. Buzul çağıının zirvesinden yaklaşık yirmi bin yıl sonra, bir buz çağı okyanusuna benzer bir şeyi kasten yeniden yaratmak, parçaları alelacele bir araya getirilen bir Antroposen'e doğru atılan büyük ve yeni bir adım olacaktır. İnsanlar, iş yapmak için gereken karbonu büyük ölçüde Karbon Dönemi'nden ithal ederek yerküre sistemine zaten, yirmi milyon yıl öncekine benzer bir atmosfer verdiler. Pangea'yı akla getirecek şekilde bütün türlerin her yere dağılmasını sağladılar. Buna

buz çağlarından kalma, karbona aç bir okyanusu da eklediğinizde, yerküre sistemi, parçalarını jeolojik diriliş insanının birbirine yamadığı bir Frankenstein gezegenine, öncekinden daha çok benzeyecektir.

Yine de erken Holosen'in yeşil Sahra'sının yeniden canlandırılma olasılığından –şimdi çorak kumların olduğu yerlerdeki akarsu ve savanlardan, bugün olsalar ölecekleri yerlerde otlayan hayvanlardan, hayatın gerçekliğini bir kez daha yansıtacak kaya resimlerinden– bahsettiğimde, sizin tepkiniz direkt bir bıkkınlık mı oldu? Daha fazla yaşamın, restore edilmiş yaşamın çöl kumları için bir nimet olabileceği düşüncesi aklınıza hiç gelmedi mi? Geldiyse, çöl sularını yeniden canlandırmanın mutlaka bir günah olacağından emin misiniz? Şüphesiz, işlerin kötü gidebileceği yollar var. Ama iyi gidebileceği yollar da var. Gerçekten de bunu büyük bir rahatlama haline getirebilecek yolları arayan, hiçbir iyi seçenek bulunamazsa vazgeçmeye hazır, neyin “iyi” bir seçenek olduğu kararını kendi başına vermemeyi ve şeffaf ve adil bir uluslararası yönetim tarafından denetlenmeyi kabul eden bir mühendis ekibi olsaydı, bu soruya bakmasına izin verilmemeli miydi? Böyle bir planın olamayacağını, bu tür girişimlerin her zaman bir tür teknolojik atalet, bilimsel kibir, ticari çıkar veya güç politikaları tarafından saptırılacağını düşünebilirsiniz. Öyle olabilir. Ancak eğer öyleyse, aynı şeyin iklimle başa çıkmak için yapılan, aşağı yukarı tüm büyük uluslararası girişimler için de geçerli olduğunu kabul etmelisiniz, sadece jeomühendislik kullananlar için değil.

Başkasının Bahçesini Geliştirmek

Yaşamın karbonu sabitlediği tek yer okyanuslar değildir. İnsanlığın mevcut emisyonlarının yaklaşık dörtte birini temizleyen bitkileri de içeren dünyadaki biyokütlenin çoğu karadadır. Bu depoya daha ne kadar karbon eklenebilir?

Geniş düşünce yelpazesıyla ünlü matematiksel fizikçi Freeman Dyson'ın 1977 tarihli "Atmosferdeki Karbondioksidi Kontrol Edebilir miyiz?" başlıklı makalesinin ardındaki soru buydu. Dyson, kısmen Marchetti'nin CCS hakkındaki fikirlerine bir cevap olarak, kasten daha fazla bitki yetiştirmek suretiyle ne kadar karbondioksit emilebileceğine dair bazı basit hesaplar yaptı. Yılda beş milyar ton karbon depolamanın bir yolunu bulmaya çalışırken (ki yeni yüzyılın başında havaya atılan miktarın bu kadar olacağını doğru bir şekilde tahmin etmişti), Amerika Birleşik Devletleri'nin henüz ekin yetiştirmeye ayrılmamış veya ormanlarla kaplanmamış her yerinde büyüeyebilen çınarların -hızlı büyüyen ve iyi çalışılmış bir tür- bu miktarın yaklaşık onda birini emebileceğini hesapladı. Geriye kalan yüzde doksanlık kısmı da diğer ülkelerdeki benzer projeler halledebilirdi.

Dyson'ın gerçekten azimli bir küresel çabanın neleri başarabileceğine dair fikri, daha hızlı ve tersine yapılması dışında, kapsamı bakımından, insanlığın son birkaç yüzyılda gezegenin ormanlarına yaptıklarına benziyor. Geçtiğimiz birkaç yüzyılda, ormanların yok edilmesi ve benzeri yollarla atmosfere salınan toplam karbon miktarı, yaklaşık 250 milyar tondur. Bu, Dyson'ın karbonu emmek için gerekli olduğunu düşündüğü, yılda beş milyar ton karbon depolayan ormanlar tarafından elli yılda emilebilecek bir miktardır. Dyson'ın senaryosu, sırf bir nefes alma alanı oluşturma olduğu için sadece elli yıla ihtiyaç vardı. İnsanların fosil yakıtları, biyoyakıtlar, güneş pilleri, jeotermal enerji ve nükleer enerji ile değiştirmesi için yarım yüzyılın yeterli olacağını varsayıyordu.

Bu planla ilgili sıkıntı, ulaşılması zor bir arazi miktarına ihtiyaç duymasıdır. Amerika Birleşik Devletleri'nde oluşturulmasını hayal ettiği 700 bin kilometrekarelik yeni orman, Teksas büyüklüğünde bir alanı kaplar. Tüm dünya için gereken yedi milyon kilometrekare, Hindistan'ın iki katı büyüklüğünde ve gezegenin ekilebilir arazisinin yarısına eşdeğer bir

alandır. Bir karşılaştırma yapmak gerekirse, halen Çin’de devam eden dünyanın en büyük ağaçlandırma çalışması yılda 50 bin kilometrekareyi kapsamayı hedefliyor. Ormansızlaşmayı durdurma konusunda son yıllarda sağlanan ilerlemeye rağmen Dünya’nın ormanları toplamda hâlâ küçülüyor. Kasıtlı ormansızlaştırmayı durdurmak bile yeterince zor bir hedeftir.

Ve bu tür çabaları ilk başta görünenden daha az etkili kılan bazı çatlaklar mevcut. Bunlardan biri albedo etkisidir. Ormanlar, güneş ışığını uzaya geri ve ekili alanlar ile meralardan daha az yansıtır. Kışları karlı geçen yerlere orman diktiğinizde, albedo etkisinin ürettiği ısınma, ormanların büyümesiyle gelen karbondioksit azalmasının sunduğu soğumayı geride bırakabilir. Tek başına bu, orman dikmemek için bir neden değildir çünkü karbondioksit seviyesini düşürmenin küresel faydaları, yüksek enlemlerde oluşacak ve aslında bölgesel bir fayda olarak da görülebilecek olan kış ısınmasına değer olabilir. Ancak bu işi karmaşıklaştıran bir faktördür.

Diğer bir komplikasyon ise okyanusun dengeleyici etkisidir. Karbondioksidi atmosfere iterseniz, denizler bir kısmını emer. Atmosferden karbondioksit çekerseniz, denizler bu defa kendi miktarından bir kısmını atmosfere salar ve böylece çekme işleminizin etkinliği azalır. Bu, atmosferde net bir milyar ton karbon azaltmak için bir milyar tondan fazla karbon çekmeniz gerektiği anlamına gelir. Bristol Üniversitesi’nden Jo House ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmaya göre, son iki yüzyıldaki ormansızlaştırmalardan kaynaklanan karbon miktarını emmeye yetecek kadar orman yetiştirirseniz, karbondioksit seviyesini sadece 40 ppm kadar azaltabilirsiniz yani yılda 2 ppmlik mevcut hızla yirmi yılda salınan miktar kadar. Modeller kesin sonuçlar vermediği için bunun iki katı kadar bir azalma sağlayabilerseniz bile bu yeterince büyük bir kazanım olmayacaktır. Karbon Dönemi’ne ait “hayali araziler” ya-narken on dokuz ve yirminci yüzyılların ormanlarını yeniden dikmek, o kadar da fazla bir işe yaramayacaktır.

Büyük ağaçlandırma projelerinin sadece nispeten küçük bir etkisi olacaksa, aynı şey insanların biyosferdeki karbon miktarını artırmak için önerdiği diğer planlar için de geçerli olacaktır. İstenmeyen biyokütleyi, örneğin hasattan sonra tarlalarda kalan artıkları, oksijenin kıt olduğu ve dolayısıyla solunumun baskılandığı Meksika Körfezi çökeltileri gibi yerlere gömebilirsiniz; sulak alanlar yaratabilirsiniz (metan gazına dikkat etmeniz gerektiği halde); binalarınızda çok daha fazla ahşap ve çok daha az çelik, çimento ve cam kullanabilirsiniz; meraları toprakta depolanan organik karbon miktarını artıracak şekilde yetiştirebilir ve yönetebilirsiniz.

Bu fikirlerin bazılarının iklim için yapabileceklerinin ötesinde büyük faydaları olabilir ve bazıları, çoğu çevrecinin, jeomühendislik olarak adlandırılması ancak uzak bir ilişki dolayısıyla makul olan şeylerden daha fazla değer verdiği eylem türüne çok daha yakındır. Farklı bir gelecek inşa etmek için mevcut bazı çelişkileri göze almayan çevresel eylem, küçük ve yerel olanı tercih eder, toprağa ve günlük yaşam uygulamalarına yakındır. İklim jeomühendisliği bu tür birkaç olasılık sunsa da çoğunlukla bir “küresel düşün, küresel hareket et” uğraşıdır. Birçok yeşil için aradaki fark, sırf bir tarz veya yaklaşım meselesi değil, aynı zamanda politik güvenilirlik ve kabul edilebilirlik meselesidir. Jeomühendisliği, kişisel uygulama, yerel yenilik ve muhalefetten oluşan bir alternatif yerine, yalnızca halihazırda mevcut olan güç sistemleri tarafından dayatılabilecek yukarıdan aşağıya çözümler gerektiren bir şey olarak görürler. Bu tür küresel sistemlerin, marjinal olarak başlayıp evrensel hale gelen inançların yayılmasıyla aşağıdan yukarıya doğru değiştirilmesinden başka bir yola inanmazlar. Ve şöyle bir düşünceleri vardır: Tek bir süreç içinde, her birinin ihtiyacı diğerini yönlendiren, hem yeni bir siyasi dünya hem de değişen bir yerküre sistemi yani hem bir el hem de bir termostat, hem bir dayanak noktası hem de bir kaldıraç yaratma fikri, neredeyse emsalsizdir. Bu, kesinlikle, mevcut kaynakların çok

ötesinde bir eylem gerektirir ki bu tür şeylerin yapılabileceğinin garantisi yoktur.

Ancak böyle bir düşünce, söz konusu meydan okumaya karşı neler yapılabilceğİ sorusunu cevapsız bırakıyor. Bu özel durumda, karbonun biyosferde depolanmasını teşvik etmenin, kuşkusuz, toprak yönetimi, tarım bilimi ve ormancılık gibi yolları vardır. Ancak bu tür eylemler, karbonu, fosil yakıta dayalı atmosferik karbondioksidin yoluna ciddi bir engel koyacak kadar depolayamaz çünkü karbonu koydukları rezervuarlar oldukça kısıtlıdır. Dikebileceğİmiz sadece bu kadar ormanlık alan, zenginleştirebileceğİniz sadece bu kadar toprak ve daha iyi yapabileceğİniz sadece bu kadar çiftçilik var. Biyosfer o kadar büyük değİldir.

Bu kısıtlama, bazılarının –özellikle Peter Read adlı Yeni Zelandalı bir ekonomistin– biyosferin çok iyi yaptığİ fotosentetik karbondioksit gidermeyi, daha az iyi yaptığİ uzun vadeli depolamadan ayırmayı düşünmesine yol açtı. Bitkilerin daha fazla yaprak ve gövde yapmak için karbondioksit kullanması, onlar ve onları yiyen hayvanlar için iyi sonuç verir ancak karbonu depolamanın en iyi yolu değİldir. Fotosentez neden, yeraltı su havzaları, tükenmiş hidrokarbon rezervuarları ve CCS üzerinde çalışanların tercih ettiğİ diğİr jeolojik sistemler gibi başka bir depolama sistemine giden bir yol olarak kullanılsın? Bu tür depolar, toprağın ve ayakta duran odunun sunabileceğİnden çok daha yüksek bir kapasiteye sahip olacaktır. Read, karbonu atmosferden neredeyse doğrudan litosfere taşıyacak bir hat oluşturmak için yapılması gereken tek şeyin CCS sistemi ile donatılmış enerji santrallerini biyokütle ile beslemek olduğunu savundu.

CCS’li biyokütle enerjisinin –savunucuları için BECCS– gerçekten de cazip bazı yanları vardır. Havadan doğrudan yakalama için çok zor olan şeyler, örneğİn havayı filtrelemek, karbonu emen maddeleri geri dönüştürerek bunu yeniden yapmaya

hazır hale getirmek vb., bitkiler için yapraklarının büyümesi kadar doğaldır çünkü onlar bu işi böyle yaparlar. Ve havadan doğrudan yakalama, enerji kullanırken BECCS enerji üretir. Bu, BECCS'in karbonu atmosferden çıkarmanın yanı sıra, böyle yapılmadığında karbonu oraya geri koyacak enerji santrallerine duyulan ihtiyacı da azalttığı anlamına gelir.

Ancak teorik cazibeler, pratik ve politik dezavantajlarla birlikte gelir. Birincisi, daha önce de belirttiğimiz gibi, henüz kullanılan büyük ölçekli bir CCS teknolojisi yoktur. Bir diğeri, yarıcı biyokütle giderek daha kötü bir üne sahip olmasıdır. Biyokütle ve biyoyakıt programları genellikle sürdürülemez kaynaklar kullanır ve bu yakıtların toplanması ve taşınması çok fazla karbondioksit üretebilir. Bütün bu işlemler dikkatli bir şekilde yapılırsa bile biyokütle sistemleri, bütün ucuzluğuna rağmen fotosentezin oldukça verimsiz olması sorunuyla karşı karşıyadır. Bitkilerin büyümesi tipik olarak güneş ışığını ılıman yerlerde metrekaşe başına bir vattan daha az bir oranda, tropik bölgelerde ise biraz daha fazla yakıtla dönüştürür. CCS ile donatılmış elektrik santrallerinin bu yakıtı yüzde 30'dan fazla bir verimlilikle yakmaları pek olası değildir. Bu, New England'daki bir gigavatlık bir BECCS tesisini dolu tutmak için Massachusetts'in beşte biri kadar iyi bakımlı bir ormanlık alana ihtiyaç duyulacağı anlamına gelir yani başka şeyler için kullanılamayacak çok büyük bir alana. Ve Massachusetts, beş gigavattan fazla elektrik kullanıyor; tüm yüzeyini BECCS için kullansa bile kendine yetmez.

Fakat bu dezavantajlara rağmen BECCS'e çok fazla ilgi var. Altıncı bölümde değindiğimiz gibi, ısınmayı 2°C'nin altında tutma olasılığını, sözgelimi ikiye bir gibi makul bir seviyeye çıkarmak için dünyanın bu aşamada, emisyonları sıfıra indirmekten fazlasını yapması gerekebilir; "negatif emisyonlar" yaratması gerekebilir. Ve BECCS, kanıtlanmış bir şey olarak biyokütle kullanımına ve az çok mevcut olan bir şey olarak CCS'ye dayandığı için, halihazırda büyük ölçekli ne-

gatif emisyonlar için biraz makul görünen tek teknolojidir.⁴² Jeomühendisliğin, en son IPCC raporunun sonuç bölümünde, ETC grubu gibi muhalifleri çok rahatsız edecek şekilde, öne çıkarılmasının nedeni, raporun yazarlarının negatif emisyonlar hakkında konuşmak zorunda olduklarını hissetmeleriydi. Sürdürülebilir tarımı, gıda güvenliğini ve yerli halkın haklarını önemseyen birçok kişi ve kurum gibi ETC de jeomühendislik içermese bile endüstriyel ölçekli biyokütle enerjisinden nefret eder.

İki derecelik ısınma ihtimalinin düşük tutulması için bu negatif emisyonların gerekli olması pek çok insanı şaşırtıyor. Sadece emisyonları stabilize etmenin yani her yıl aynı miktarda salım yapmanın, ısınma sorununu çözeceğine dair yaygın bir kanaat var. Ancak dünya, emisyonlarını stabilize etse dahi atmosferdeki stoğa hâlâ karbon ekleyecektir ve sıcaklığı belirleyen de bu stoktur. Kulağa çok çarpıcı gelen emisyonları yarı yarıya azaltma hedefi de aynı nedenden dolayı yetersizdir zira bu, dünyanın her yıl stoğu hâlâ artırıyor olacağı ama bunu sadece biraz daha yavaş yapıyor olacağı anlamına gelir. (Emisyonları yarı yarıya azaltmanın yeterli olacağı düşüncesi ise yanıltıcıdır çünkü salımların yalnızca yarısı atmosferde kalmaktadır. İnsanlar kesinti yapsa ve bitki ve okyanuslar dev emişlerine devam etse, işler kesinlikle yoluna girer mi? Bu varsayım, okyanus ve karaların karbon çekişinin atmosferdeki karbon miktarının değişim hızına bağlı olduğu gerçeğini göz ardı ediyor. İnsanlar emisyonları azaltırsa, okyanuslar da emilimini azaltacaktır.)

42 Biyokütleden, geride depolanabilir bir şey bırakarak enerji elde etmenin başka bir yolu daha var: Odunu, daha sonra toprak katkı maddesi olarak kullanılacak bir odun kömürü haline getirebilirsiniz. Bu “biyokömür” yöntemi bazı yerlerde enerji üretmenin, karbon depolamanın ve toprağı iyileştirmenin bir yolu olarak işe yarayabilir ancak diğer toprak yönetim biçimleri ve yerel biyosfer gelişim programlarında olduğu gibi, bu yöntemin yılda milyarlar bir yana, milyonlarca ton karbon için bile kullanıldığını görmek çok zordur.

Herhangi bir tür güneş ışığı jeomühendisliği ile uğraşmayacaksanız, ısınmayı durdurmanın tek yolu emisyonları sıfıra indirmektir. Bu yapılırsa ne olur? Takip eden on yıllar içinde biyosfer ve okyanuslar yeni bir dengeye otururken emilen karbon, bir miktar iyileşme sağlayacaktır. Ancak bu dengeye bir kez ulaşıldığında, karbondioksit seviyesi, negatif emisyon olmadığından, çok uzun bir süre aşağı yukarı sabit kalacaktır. Bu seviye sadece okyanuslardaki yavaş mineral aşınması ve karbonat birikimi süreçleri –Dünya’nın karbondioksit seviyelerini jeolojik uzun vadede düzenleyen süreçler– tarafından, büyük olasılıkla on binlerce yıl içinde azaltılacaktır zira karbon döngüsü modelleri böyle bir düşüşün binlerce yıl süreceğini öne sürmektedir.

Karbon döngüsündeki bu değişikliklerle ilgili bilimsel makaleler genellikle “geri döndürülemez” kelimesini kullanır. Ve eğer karbonu atmosferden çıkarmak için doğal süreçlere güveniyor ancak beşeri zaman ölçeğinde düşünüyorsanız, bir bakıma öyleler. Fakat bu bölümden çıkarılacak ders, doğal süreçlere bağlı kalmak zorunda hissetmiyorsanız öyle olmadıklarıdır.

Bugün elimizde ucuz bir şekilde havadan doğrudan yakalayan bir teknoloji yok. Okyanusların demirle gübrenmesinin ciddi sorunları var. Alkaliteyi artırmak büyük bir çaba gerektiriyor. Sorumlu ve sürdürülebilir bir şekilde sahaya sürülebilecek BECCS kapasitesi pek büyük değil. Ve böyle bir listede, gerçekten, daima ilk sırada yer alması gereken bir gerçek olarak emisyonlar aşağı değil, yukarı çıkıyor. Bir noktada düşmeye başlayacak olsalar da bu düşüşü yakın bir zamanda başlamaya zorlayacak veya sıfıra kadar devam etmesini sağlayacak hiçbir siyasi veya ekonomik süreç yok. Ve kısa vadede bunların hiçbiri değişmeyecek gibi görünüyor.

Ancak günümüzün siyasi, ekonomik ve teknolojik kısa vadesi ile inorganik karbon döngüsünün işleri halletmesi için gereken binlerce yıl arasında manevra yapılabilecek çok geniş bir

alan var. Havadan doğrudan yakalama ve diğer negatif emisyon teknolojilerine ilişkin statüko, bu yüzyılın sonuna kadar devam edecek gibi görünüyor mu? Ya bir sonrakinin sonuna kadar? Ya ondan sonraki?

Bir zamanlar belki de öyleydi. On yedinci yüzyıldan önce insan yaşamının teknik ve örgütsel altyapısı oldukça yavaş değişiyordu. Ardından gelen fosil yakıt, kapitalizm ve hoşnutsuzluklar dönemine damgasını vuran ve o zamandan beri devam eden, servet, nüfus ve enerji kullanımındaki muazzam büyüme, bir noktadan sonra sürmeyebilir ve medeniyet, bu ilerleme girdabından çıkarak daha ağırbaşlı hatta durgun bir hale geri dönebilir. Ya da uygarlık bir daha asla geri dönmek üzere çökebilir veya parçalanabilir. Bunlardan herhangi biri olursa, mevcut yüksek karbondioksit seviyeleri gerçekten de aynı kalacaktır. Ancak bunlardan hiçbiri olmazsa, karbondioksit seviyesini bilinçli olarak değiştirme seçeneği neredeyse kesinlikle ortaya çıkacak gibi görünüyor. Hızlı değişiklikler tasarlamak hiçbir zaman mümkün veya arzu edilen olmayabilir. Fakat, şayet insanlar böyle yapmayı seçerse, seviyeyi her on yılda sadece milyonda birkaç parçacık aşağı çekmek, her şeyi bir zamanlar olduğu yere ancak yüzyıllar içinde geri getirebilir.

Bunu yapmayı seçemeyebilirler de. Bir teknolojiye sahip olmak, onu kullanmak zorunda olmak değildir. Arthur C. Clarke'ın 1979 tarihli romanı *Cennetin Çeşmeleri*'nde, mevcut buzullar arası dönem yaklaşık bin yıl içinde sona erer. Gelecek çağın insanları, dünyanın yörüngesine oturtulan şehirlerinin kabin ekolojilerinden, buzul dünyasının garip ve yeni güzelliklerinin gelişimini izler. İsteseler bunu durdurabilirler. Gezegeni ısıtacak teknolojiye sahiptirler. Fakat, kendi tasarımlarının dayattığı kalıcı bir yaz yerine yerküre sisteminin kendi ritmini korumasına izin vermeyi tercih etmişlerdir.

1980'de babam bana o kitabı aldığı anda, buzul çağını durdurabilecek bir teknoloji fikri olağanüstü görünüyordu; hâlâ dikkat çekici ancak bin yıl içinde gerçekleşme ihtimali düşük bir

teknoloji gibi duruyor. Böyle bir teknolojinin gelişiminden çok önce, insanların sera gazlarını atmosferden çekip geri koyabileceklerini ya da güneş ışığının yerküre sistemine akışını gerçekten azaltıp çoğaltabileceklerini düşünmek saçma gelmiyor. Bu imkanları kullanmayı seçebileceklerini düşünmek tuhaf görünmüyor. Ancak Clarke'ın önerdiği gibi, bunları yapmamayı seçebileceklerini düşünmek de tuhaf görünmüyor. Bu imkanlar hakkında kesin olarak ne söylenebilir ki?

Tuhaf hissettiren şey, insanların böyle bir güce o ya da bu ölçüde, ne kadar kaba saba olsa da zaten hazır bir biçimde sahip olmalarıdır. Dünya'nın yörüngesel döngüleri, üç bin yıl içinde, muhtemelen yeni bir buzul çağını tetikleyecek hızaya gelecek. Chicago Üniversitesi'nden David Archer, insanların birkaç on yıl daha şu anki hızla karbon salmaya devam etmesi ve ardından karbon giderme işine girmeyi tercih etmemesi durumunda, üç bin yıl sonra atmosferde hâlâ buzul çağının başlamasını durdurmaya yetecek kadar endüstriyel karbondioksit olacağını hesapladı. 1938'de, endüstriyel karbondioksidin buzulların geri dönüşünü süresiz olarak erteleyebileceğini yazan Guy Callendar haklı gibi görünüyor.

Holosen, buzullar arası bir dönemdi. Antroposen ise buzul sonrası bir dönem olabilir. Ya da olamaz. Bu uzun vadeli spekülasyonları bu kadar zengin ve bu kadar sinir bozucu yapan, her iki ihtimalin de mümkün olduğu gerçeğidir. İnsanların artık, daha önce sadece doğal güçlerin yapabildiği ölçekte eylemler gerçekleştirebilmesi, yeterince dikkate şayan bir gelişmedir. Böyle bir eylemin sonuçlarının bir çeşit seçim meselesi haline gelmiş olması ise daha da olağanüstüdür.

KÜKÜRT VE ISLAK AYNALAR

*Eğer havada kaleler inşa ettiyseniz eserinizin yok olması gerekmez,
olmaları gereken yerdeler. Şimdi altlarına temellerini döşeyin.*

Henry David Thoreau, *Walden* (1854)

1970’lerin başında sekiz yaşındaki Mike Latham, Galler’deki bir tepeden İrlanda Denizi’ne bakarak babası John’a günbatımının neden bu kadar harika görüldüğünü sordu. Büyük Latham, bulutların sayısız minik su damlalarından oluştuğunu ve bu damlaların yüzeylerinin güneş ışığını çeşitli şekillerde yansıtarak renklerle oynadığını anlattı. Mike anafikri anlamıştı: “Bunlar ıslak aynalar!”

Babası çok daha fazla ayrıntıya girebilirdi. John Latham, 1950’lerin sonlarında bulutlara ilgi duymasına neden olan üniversite dersini meteorolojinin meteorlarla ilgili olduğunu sandığı için aldığını ancak sonra meteorolojiyi büyüleyici bularak bağlandığını söylüyor. 1970’lere gelindiğinde, artık bulut fiziği konusunda tanınmış bir uzmandı. Kırk yıl sonra, bu uzmanlığını bir tür jeomühendisliğe uygulamaya çalışıyor.

Bulutları incelemenin uygulamalı bir bilim olması gerektiğini düşünen ilk kişi o değildi. General Electric’in New York,

Schenectady'deki araştırma laboratuvarında çalışan araştırmacılar, 1946'da, hem kuru buzun (donmuş karbondioksit) hem de gümüş iyodürün küçük su damlacıklarını dondurabildiğini keşfetti; bu, damlacıkların 0°C'nin çok daha altındaki sıcaklıklarda bile kendi başlarına yapmak istemedikleri bir şeydi. Buz kristalleri bulutlarda su damlacıklarından çok daha hızlı büyümeye meyilli olduğundan, bu yeni püf noktalarının laboratuvar dışında dramatik etkileri olabileceğini düşündüler ve bu doğru çıktı. Bu araştırmacılarından biri olan Vincent Schaefer, 1946'da üç kilo kuru buzun bir uçaktan bıraktığında buzun içine düştüğü buluttaki su damlacıklarının toplu halde buza dönüştüğünü gördüğünde buzun "adeta patladığını" söyledi.

Schenectady Laboratuvarı, karşısına bir fırsat çıktığında bunu fark edip değerlendiren Irving Langmuir tarafından yönetiliyordu. Bulut araştırmalarıyla ilgili bir geçmişi yoktu ancak bağlantıları, tutkusu ve Nobel Ödülü'nün verdiği bir itibarı vardı. Ve şimdi de yerküre sistemini hareket ettirebilecek yeni keşfedilmiş bir kaldıraç vardı: Schaefer ve meslektaşı Bernie Vonnegut'un çalışması, sadece birkaç gram kuru buz veya gümüş iyodür ile tonlarca yağmur yağdırılabileceğini gösteriyor gibiydi. Langmuir, Schaefer ilk bulut tohumlama uçuşundan henüz inmeden, *New York Times*'la bir telefon görüşmesi yapıyordu.

Bilimsel yollarla yağmur yağdırma fikri pek de yeni bir şey değildir; Amerikalıların hayal dünyasında çoğu zaman özel bir yere sahip olmuştur. 1840'larda James Espy, zamanının en yeni fikri olarak, atmosferin büyük bir ısı motoru olduğu düşüncesini yağış sorununa uyguladı ve ormanlık alanlarda ateş yakarak yağmur yağdırmaya çalıştı; böylece milli bir figür –"Fırtına Kral"– haline geldi. Bu fikirlerin tarihini yazan Horace Byers, on dokuzuncu yüzyılın sonlarında "kaba havai fişekleri ve ikna edici satış konuşmaları olan yağmur yağdırıcıların, Amerikan kırsalında nasıl göze çarpan bir salgın haline geldiğini" anlatmıştı. Langmuir'in satış konuşması, sonunda bu tür hayalleri gerçekleştirecek adam olacaktı. Bir dizi

saha testi düzenledi ve basına, meslektaşlarına, GE hissedarlarına ve kongreye yeni bulut tohumlama tekniklerinin sunduğu imkanlar hakkında büyük konuşmalar yaptı. Kasırgalar yönlendirilebilecek, çöle dönmüş araziler iyileştirilecek, düşman devletlere boyun eğdirilecekti. Bu hem vadettikleri hem de oluşturabileceği felaketler açısından, yeni ölçü olan atom bombasıyla yarışabilecek veya hatta geçebilecek bir güçtü.

Bu iddiaları yerine getiremedi. Tohumlama yoluyla yağmur yağdırma için garanti vermek söz konusu olamaz. Bulutların bir özelliği vardır. Asla aynı bulutla iki kez çalışamayacağınız için, ki bu kontrollü deneyleri zorlaştırır, kendi haline bırakılan bir bulutun ne yapacağını ya da bir sonrakinin tohumlanırsa ne yapacağını bilmek imkansızdır. Ancak tohumlamaya, dava açıp açmama konusunda güvenilebilirdi: Bir tohumlama deneyinin kapsadığı geniş bir alanda, deneyden sonra hava yüzünden meydana gelen her türlü hasar, böyle fırsatlar sundu. Tohumlama, Simon Schaffer'in "Prometeyen bilim" dediği ve yüksek hırs ile zarar verici tehlikelerin bir karışımı olmasıyla ayırt edilen kategoriye tam olarak uymuştu.

GE avukatlarının şansına, Langmuir'in araştırmasından kaynaklanan zararların sorumluluğu, yakın zaman önce, GE eki-bi tarafından yapılan çalışmayı Cirrus Projesi adlı bir programla geliştirmeye çalışan hükümete geçmişti. Bulut tohumlama tekniklerine duyulan askeri ilgi on yıllar boyunca devam etti ve Vietnam Savaşı sırasında Laos'taki Viet Cong tedarik yollarını kullanılamayacak kadar çamurlu hale getirmek için gizlice kullanıldı. Bu eylemler ortaya çıktığında uluslararası bir tepkiye yol açtı. O sırada yürütülen yaprak dökme kampanyalarıyla birlikte, 1978'de yürürlüğe girdiğinde bu tür faaliyetleri yasaklayan ve ENMOD olarak bilinen, Çevresel Modifikasyon Tekniklerinin Askeri veya Diğer Düşmanca Kullanımının Yasaklanmasına Dair BM Sözleşmesi'ne yol açtı.

Ancak ordu, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bulut tohumlama ve hava modifikasyonu çalışmalarında baskın değildi.

1960 ve 70'ler boyunca yürütölen araştırmaların çoğu Pentagon tarafından değil, İçişleri Bakanlığı'nın su kaynaklarıyla ilgili bir bölümü olan Ticaret Dairesi ve İslah Bürosu tarafından yapıldı. Çalışmaların odak noktası, batı eyaletlerini nemlendirmek ve özellikle bölgenin nehirlerini yazın desteklemek için kışın yağın karı artırmaktı. Artık federal hükümet tarafından finanse edilmese de batı eyaletlerinde düzinelerce bulut tohumlama programı bugüne kadar devam etti. 2014'te Wyoming'de yapılan uzun vadeli bir araştırma, tohumlamanın bir sezon boyunca kar yağışını yüzde 5-15 artırdığını bildirdi (kontrollü bir deneye en yakın yapabileceğiniz bir deneme olarak, araştırmacılar, belli bir süre boyunca hangisinin tohumlandığını bilmeden iki sıradağdan gelen verilere baktı). Kaliforniya Su Kaynakları Departmanı, çoğunlukla bölgede hidroelektrik santralleri olan şirketler tarafından üstlenilen Sierra Nevada üzerindeki bulut tohumlama çabalarının eyalet üzerindeki yağışları yaklaşık yüzde 4 oranında artırdığını tahmin ediyor.

Bunu yapan tek lke Amerika değildir. Dünya Meteoroloji Örgütü'ne göre, 2013'te dolu yağışını önleme, yağmur yağışını artırma veya her ikisi için bulut tohumlamayı kullanan 42 ülke vardı; bu programlardan bazıları elli yıldan daha eskiydi.⁴³ Hindistan ve Tayland, bu teknolojiye önemli yatırımlar yapıyor ve Avustralya ve Güney Afrika'da hem araştırma hem de uygulama geçmişi var ancak açık ara en büyük çaba Çin'in. Pek çok insan, Çinlilerin 2008 Olimpiyatları sırasında Pekin'de havanın iyi olmasını sağlamak için bulut bozma teknolojileri kullandığını biliyor olsa da bu ülkenin çabalarının kapsamını çok az insan fark edebiliyor. Her bölgede aktif bir hava durumu değiştirme programı ve binlerce bulut delici füze bataryası var. Ancak bu çabanın büyüklüğü, etkili olduğunun bir delili olarak düşünölmemelidir. Amerika'nın

43 Toplum ile doğa arasındaki sınırların oluşumu ve ortadan kalkmasıyla ilgilenenler için büyük önem taşıyan Fransız sosyal bilimci Bruno Latour, bana, babasının, ailenin üzüm bağlarını korumak için düzenli olarak dolu yağışını önleme hizmetlerinden yararlandığını anlatmıştı.

on dokuzuncu yüzyıl dolandırıcıları gibi, Çin hükümet programları da kanıtlanmış bir başarı sicili olmadan kendilerini devam ettirme yeteneğine sahiptir.

Langmuir ve ekibinin çalışmaları, uygulamalı bulut tohumlama bilimine bir ilgi uyandırmanın yanı sıra, kısmen ortaya ilginç sorular çıkararak, kısmen de bu tür çalışmaların bir gün uygulanabileceği bir bağlam sağlayarak bulutlara olan genel bilimsel ilgide bir artışa yol açtı. Schaefer ve Vonnegut alanın önde gelen yıldızlarıydı. John Latham 1960'ların sonlarında Amerika'nın batısına araştırma gezileri yapmaya başladığında, her ikisiyle de tanıştı ve arkadaş oldu. Vonnegut ile birkaç makale yazdı. Schaefer ile birlikte Yellowstone'a keyifli kış gezileri yaptı. Ayrıca Langmuir'in halkla ilişkiler uzmanı olan, onun GE deneyiminden ve kurgularında kardeşinin çalışmalarından yararlanan Bernie'nin küçük erkek kardeşi Kurt'la da tanıştı. Vonnegut'un dünyanın sonunun kara komedisini yaptığı *Kedi Beşiği*'ndeki McGuffin, "Buz-Dokuz"u yani bulut tohumlama ve bunun askeri uygulamalarını icat etti. Katalitik bir Buz-Dokuz zerresi, bir gümüş iyodür zerresinin bulutlardaki sıvı suyun donmasını katalize etmesine çok benzer bir şekilde, oda sıcaklığında bile suyun donmasına neden oluyordu ancak bu, dünyanın sonunu daha hızlı getirecek bir etkiye sahipti.⁴⁴

Ancak Latham'ın ilgilendiği şey, yağışlar veya hava durumunu değiştirmek değildi. O yıldırımlarla ilgileniyordu. Boş havada seyrek bir şekilde dizilmiş küçük parçacıklardan oluşan bulut kadar zayıf bir şeyin gökyüzünde şimşekler üretebileceği fikri, onda büyük bir merak uyandırdı. Spesifik verilerden ziyade olup biteni genel anlamda kavramak için fırtına bulutlarının arasında uçtu ve nasıl çalıştıklarını anlamaya çalıştı. (Elde ettiği genel algı, bu süreçlerin korkutucu olduğuydu; bu uçuşları nadiren yaptı.)

44 Yazar, oda sıcaklığındaki buz fikrini, H. G. Wells laboratuvarı ziyaret ettiğinde, onu bunun havalı bir hikaye için iyi bir fikir olabileceği konusunda ikna etmeye çalışan Langmuir'den aldığını söyledi. Wells bu fikirle ilgili hiçbir şey yapmadı, dolayısıyla Vonnegut zamanı geldiğinde onu değerlendirdi.

Latham'ın bulut tohumlama üzerine düşünmeye başlaması ve bu fikri yepyeni bir yöne çekmesi uzun sürmedi. 1980'lerde, tüm kariyerini geçirdiği Manchester'daki UMIST'ten erken emekli oldu. Bölüm başkanlığı görevine tekrar getirilmekten korkuyordu, bu vazife kendisine ilk kez dayatıldığında bu işten nefret etmişti ve bir şair olarak ikinci kariyerine daha fazla zaman ayırmak istiyordu. Ancak arzu ettiği bağımsız hayat beklediğinden daha zorluydu; 1990'da yeni bir pozisyon aramaya başladı. İngiltere, Hadley Centre'daki meteoroloji kurumuna yeni bir iklim değişikliği araştırma ekibi kuruyordu. Bunun kendisi için bazı fırsatlar sunabileceğini düşünen Latham, iklim değişikliğine öncülük edebilecek araştırmacılardan biri olan Tony Slingo'nun bazı makalelerini okudu.

Bu makalelerden biri, farklı konsantrasyonlardaki bulut yoğunlaşma çekirdeklerinin –üzerlerinde su damlacıklarının oluştuğu zerreler– bulutun parlaklığı üzerindeki etkisinden bahsediyordu. Bu, Latham'a, yirmi yıl önce Mike'la denizde batan güne karşı bakışlarını ve ıslak aynaların ihtişamını birlikte nasıl takdir ettiklerini hatırlattı. Ve bunu düşünürken, aynaları parlatmanın Hadley Center'ın araştıracağı iklim değişikliği konusunda gerçekten bir şeyler yapmaya yarayacak bir manivela olabileceğini fark etti.

Bulut yoğunlaşma çekirdeklerinin arzındaki bir değişikliğin bulutların yansıttığı güneş ışığı miktarını artırabileceği görüşü, İrlandalı bir meteorolog olan Sean Twomey'in 1970'lerde yaptığı çalışmaya kadar geri götürülebilir. Twomey, diğer şeyler eşit olduğunda, daha fazla çekirdeğin daha parlak bir bulut oluşturacağını savundu zira bunlar daha fazla sayıda daha küçük damlacık olacağı anlamına geliyordu. Belirli bir su hacmi için daha fazla yüzey alanı, ışığın yansıma yoluyla daha fazla saçılması anlamına gelir. Ayrıca, daha küçük çekirdekler bulutları daha uzun ömürlü yapabilir. Bir buluttaki damlacıklar ne kadar küçük başlarsa, yağmur olarak düşecek kadar ağır damlalara dönüşmeleri o kadar uzun sürer.

Deniz üzerindeki bulutlar, karadaki bulutlardan çok daha az sayıda çekirdeğe sahip olma eğilimindedir. Latham, deniz yüzeyine yakın çok küçük su damlacıkları yapan bir sistemle bunun düzeltilebileceğini düşündü. Su, geride küçük tuz kristalleri bırakarak buharlaştırılacak, bu kristaller de konveksiyonla yukarıdaki bulutlara çekildiğinde yoğunlaşma çekirdekleri haline gelecekti. Böylece Twomey etkisi aracılığıyla bulutlar aydınlanacaktı. Kaba hesaplar, deniz suyu damlacıklarından yoğunlaşma çekirdekleri üretebilen ideal bir sistemin, karbondioksitin iki katına çıkmasından kaynaklanan ısınmayı dengelemek için dünya çapında saniyede sadece otuz ton deniz suyunu işlemesi gerektiğini ileri sürdü.

Saniyede otuz ton, Horseshoe Şelalesi'nin ağzının sadece bir metresinden akan suyun hızıdır. Ancak eğer Latham haklıysa, böyle bir damla, bir bütün olarak Dünya Şelalesi'nin gücünde küçük ama ölçülebilir bir fark yaratabilir.

Karbon döngüsüne jeolojik açıdan baktıktan sonra, Latham'ın fikirleri bizi, güneş ışığı jeomühendisliğiyle ilgili güncel tartışmalara geri getiriyor. Ancak, yerküre sisteminin biyojeokimyasal döngüleri gibi, gezegen çapındaki imkanlar hâlâ bir rol oynuyor olsa da bu bölümde şimdiye kadar pek dikkate almadığımız bir şey daha var: iklim jeomühendisliği tekniklerinin hiç de küresel olmayabileceği ve bugün olup bitenlere karşı radikal bir alternatif olmak yerine mevcut bazı eğilimlerin devamı olma ihtimali.

Küresel Soğuma

Latham, bulutları kullanarak Dünya'yı kasten soğutmayı düşünen ilk kişiydi. Ancak o sıralarda genel kanaat Dünya'nın bu şekilde soğumasının tesadüfen gerçekleştiği idi.

Endüstriyel nitrojen sabitleme veya büyük karbondioksit emisyonlarının yan etkilerinden farklı olarak, yanan kömürün yaydığı kükürdün etkileri hakkında, ince veya on yıl

sonra göze çarpacek bir Şey hiç olmadı. Yirminci yüzyılın ilk yarısında Şehir hayatını giderek daha fazla bozan Şey, keskin hava kirliliğiydi. Viktorya döneminde ortaya çıkan is, daha iyi fırınlar, türbinler ve benzerleri tarafından en azından bir Şekilde azaltılmıştı: Kömürü daha verimli yakarsanız, genel olarak daha az kurum üretirsiniz. Petrolün daha fazla kullanılması da yardımcı olmuştu. Ama kömür ya da petrolü ne kadar iyi yakarsanız yakın, içinde bir miktar kükürt varsa –ki çoğunlukla öyledir– o kükürdü de yakarsınız. Bu, volkanların veya perde yapıcılarının stratosferde oluşturabileceğine çok benzeyen ancak çok daha bol miktarda ve zarar verebileceği insanlara çok daha yakın olan asidik aerosoller üretir.

Atmosferdeki doğal kükürdün kaynağı, volkanlar ve planktonlardır. Volkanlardan daha büyük olmasına rağmen daha az görünür olan planktonların rolü, uzun süre fark edilmedi. Bu ancak, Gaia teorisiyle ünlü James Lovelock'un, 1971'de *RSS Shackleton* gemisiyle açık okyanuslara açılıp plankton emisyonlarını ölçmesiyle fiilen gün ışığına ıktı. Okyanustaki canlıların atmosfere kükürt pompaladığının keşfi, Lovelock'un, hayatın çevreyi kendi yararına değiştirdiği inancının büyümesinde rol oynadı. Planktonlar olmasa, nehir suyunda eriyip denize dökülen kükürt orada kalır, kıtalardaki bitki ve hayvanlarda kükürt kalmaz. Okyanuslardaki planktonlar, kükürdü geri dönüştürerek kıtaları daha yaşanabilir hale getirir.

Ancak Lovelock, 1970'lerde doğal kükürt döngüsünün bu çok önemli bölümünü açıklığa kavuşturmadan önce, insanlığın etkisi bunu zaten geride bırakmıştı. İnsanın kükürt döngüsündeki rolü, mutlak tonaj rakamları bakımından küçük olsa da endüstriyel akıştaki oran açısından, hem o zaman hem de Şimdi, nitrojen döngüsündeki rolünden büyük, karbon döngüsündeki rolündense çok daha büyüktür. İnsanların etraftaki sülfürü atmosfere doğru hareket ettirmeye çalışmadıklarını göz önüne aldığımızda bu daha da dikkat çekici olur yani bu durum tamamen diğerk faaliyetlerin istenmeyen bir yan etkisidir.

Bilim insanları, 1960’larda, sülfat ve diğer antropojenik aerosollerin sadece insan sağlığına zarar vermekle kalmayıp gezegeni de soğutabileceğinden endişelenmeye başladılar. Volkanik patlama ile soğuk havalar arasında bir bağlantı olduğuna zaten ikna olmuş Wyomingli bir klimatolog olan Reid Bryson, endüstriyel aerosoller ve kötü tarımsal uygulamalardan kaynaklanan tozlardan oluşan ve benzer soğutma etkilerine sahip bir “insan yanardağından” bahsetmeye başladı. Bu fikir, en azından bazı çevre camialarında tutuldu. 1970 yılındaki ilk Dünya Günü’nde, o zamanlar iklim modellemesiyle yeni ilgilenmeye başlayan genç bir yüksek lisans öğrencisi olan Stephen Schneider, Barry Commoner’ın iklimin geleceği hakkında konuşacağını duydu. Commoner dinleyicilere Roger Revelle ve sera etkisini anlattı; ayrıca Bryson ve insan yanardağından da bahsetti. İnsanoğlunun iklim üzerindeki bu iki etkisinden hangisinin galip geleceğinin belli olmadığını söyledi.

İnsanlık açısından gerçekten önemli olan büyük sorunları çözmeye baştan hevesli olan Schneider, buz mu ateş mi sorusunun insanın çözmek isteyebileceği türden bir şey olduğunu düşündü. O ve iklimbilimindeki danışmanı, NASA Goddard Uzay Araştırmaları Enstitüsü’nden S. Ichtaque Rasool, genç meslektaşları James Hansen’den aerosol etkilerini modellemede iyi olan bir kodu ödünç alarak çalışmaya başladılar.⁴⁵ Sera ısınması ve aerosol soğuması miktarları için mutlak değerler sağlamaya çalışmak yerine, ilgili kirleticilerin konsantrasyonları arttıkça her iki etkinin ne kadar artacağına baktılar. O günlerden kısa bir süre önce yapılan bir değerlendirme, aerosol kirliliğinin etkisinin gelecek elli yıl içinde sekiz kat artabileceğini öne sürdü. Schneider’in hesaplarına göre, etkinin dört kat artması bile 3.5°C’lik bir soğuma meydana getirecekti ki bu, modellerinin, aynı dönemdeki karbondioksit artışlarının bir sonucu olarak öngördüğü ısınmadan çok

45 Üçüncü bölümde gördüğümüz gibi Hansen, kodunu insan dışı volkanlardan gelen stratosferik aerosoller sorununa uygulamaya devam etti.

daha yüksekti. Yazdıkları makaleyi şu gözlemle bitirdiler: Bir tanesi yakın zaman önce Mikhail Budyko tarafından yayımlanan, gezegenin enerji dengesine ilişkin basit modeller, böyle bir soğumanın birkaç yıl daha sürmesinin daha uzun, daha karlı kışlara ve gezegeni tam bir buzullaşmaya yönlendirecek buz-albedo geribildirimine neden olarak bir buzul çağını tetikleyebileceğini gösteriyor.

Elde ettikleri bu sonuçlar, 1971’de Stockholm’de düzenlenen “İnsanın İklim Üzerindeki Etkileri” konulu bir konferans sırasında kamuoyuna açıklandı. Bu gelecek yıl aynı şehirde yapılacak ilk büyük BM çevre zirvesi için adeta bir ısınma etkinliğiydi. Aerosollerin bulutlar üzerindeki etkilerine ilişkin fikirleri yeni şekillenmeye başlayan ve Schneider, Rasool ve diğer araştırmacıların soğutma konusunda aerosollerin gücünü olduğundan oldukça düşük tahmin ettiklerini düşünen Budyko ve Twomey gibi benzer sonuçlara ulaşan diğer araştırmacılar da konferanstaydı.

1990’lardan bu yana, iklimbiliminin itibarını azaltmak ve geniş çapta kabul görmüş ve sağlam desteklere dayanan sonuçlarına şüphe düşürmek isteyen bazıları, 1970’lerde iklimbilimciler küresel soğuma ve yeni başlayan buzul çağı hakkında ne kadar endişe etmişlerse bugünkü iklimbilimcilerin de küresel ısınma hakkında o kadar endişeli oldukları iddiasını keyifle ilan ederler. İklim bilimini savunanlar, ateşli bir şekilde, bunun doğru olmadığını ve haklı olduklarını söylerler. 1970’lerin başında küresel soğuma hakkında dile getirilen endişeler daha azdı, çok daha belirsizdi ve hiçbir zaman topluluk çapında IPCC tarzı bir değerlendirme olarak ele alınmadı. O zamanlar bile ısınmayla ilgili uyarılar bir o kadar ya da daha çok yaygındı.

Bununla birlikte, büyük ölçüde boş spekülasyonlardan ibaret olsa da, 1960 ve 70’lerde buzul çağları hakkında bazı konuşmalar yapıldı. Stockholm toplantısı ve Schneider’ın, sera

etkisinin gücünü önemli ölçüde düşük tahmin ettiklerini sonradan fark ettiği Schneider ve Rasool makalesi, muhtemelen tartışmanın en yüksek noktasını temsil ediyordu. Bunun böyle devam etmiş olması şaşırtıcı değildir. Ne de olsa, iklimbilimindeki en büyük soru buzul çağlarıydı; nasıl ortaya çıktıklarını kimse tam olarak bilmiyordu; sonuncusunun üzerinden epey zaman geçmişti: bu, jeo-şiişsel spekülasyonlar için iyi bir yemdi. Dahası, Commoner, Rachel Carson ve diğerlerinin çalışmalarıyla, insanların küresel ölçekte zararlı çevresel etkiler oluşturabileceği düşüncesinin ortaya çıkması, insanların kendilerine zarar verecek bir buzul çağını başlatma olasılığını artırdı; bundan daha büyük bir ürpertiye ne verebilirdi? 1960'larda havacılığın ozon tabakasını inceltme olasılığı ortaya çıktığında, Kanadalı bilim insanı John Hampson, stratosferin çalışma biçimini diğer yöne çevirerek bir sonraki buzul çağının öne alınabileceğini öne sürdü. 1960'ların bir başka buzul çağı teorisi, görünüşte ters bir şekilde, buzul çağının, güçlendirilmiş sera etkisiyle oluşan bir yüzey ısınmasıyla tetiklenebileceğini öne sürdü. Kuzey Kutbu suya açılacak kadar ısınırsa, bölgede buharlaşma, yağış ve dolayısıyla kar örtüsü artacaktır; bu da buz-albedo geribildirimini ima etmektedir.⁴⁶

46 Zamanın ruhuna uygun olarak, buz çağıyla ilgili korkular olduğu gibi, jeomühendisliğin bunu önleyebileceğine dair spekülasyonlar da vardı. Lovelock böyle bir spekülâtördü. 1966'da petrol şirketi Shell tarafından 2000 yılında dünyanın nasıl olabileceğine dair kısa bir rapor hazırlaması istendiğinde, yazısını, "önümüzdeki on yıl içinde gerçekleşebilecek bir buz devri gibi hoş olmayan bir sürprize karşı iyi bir şanstın" bahsederek bitirmişti. Böyle bir durumda, gezegenin albedosunu azaltmak için çöllere kara katranların yayılması veya belki de atmosfere özel olarak formüle edilmiş sera gazlarının salınması için çağrıda bulunulabileceğini öne sürdü. Astrofizikçi Fred Hoyle, daha sonra dile getirdiği benzer düşünce tarzına sahip bir spekülasyonda, gezegenin, doğal stratosferik aerosollerin neden olacağını düşündüğü bir buzul çağını atlatabilmesi için okyanus yüzeyindeki ılık suyun derinliklere doğru pompalanmasıyla bir ısı deposu oluşturulmasını önerdi. Ve altıncı bölümde gördüğümüz gibi, Edward Teller ve Lowell Wood, 1997 yılında yayımladıkları stratosferik aerosoller ve diğer saçıcılarla jeomühendislik konulu makalelerinde, jeomühendisliğin sunduğu faydalardan biri olarak buzul çağlarını durduraktan söz ediyorlardı.

Bu tür spekülasyonları daha fazla cesaretlendirmek gerekiyorsa, 1950 ve 60'lar boyunca küresel sıcaklıklarda aslında küçük bir düşüş oldu. Buzul çağına neden olacak kadar şiddetli değildi fakat iklimbilimciler artık bunun önemli bir bölümünün Bryson'ın insan yanardağından kaynaklandığına inanıyor. Şüphesiz iklim sisteminin doğal değişkenliğinin bir rolü olsa da antropojenik aerosoller, sera ısınmasına karşı koymaya yetecek soğutmaya katkı sağladı.

1970'lerin ortalarından itibaren, küresel sıcaklık sürekli olarak artmaya başladı. Soğuma kısmen sona erdi çünkü karbon-dioksit stoğuna bağlı olarak sera etkisi giderek güçleniyordu. Ancak aerosol etkileri de azaldı. 1960'lardan itibaren, o zamanlar sanayileşmiş ülkelerdeki başlıca suçlular olan fosil yakıtlı tesislerden kaynaklanan aerosol emisyonları, önce doğrudan insan sağlığına ilişkin endişeler nedeniyle, sonra da asit yağmuru korkusunun bir sonucu olarak oldukça çarpıcı bir şekilde azaltıldı. Yüksek kükürtlü yakıtların kullanımı kısıtlandı; baca gazlarındaki kükürt dioksit bacalardan temizlendi.

Aerosollerin, küresel ısınmayı geçmişte ne kadar maskeleyiği ve günümüzde bunu yapmaya ne kadar devam ettiği büyük bir muammadır. Antropojenik aerosollerin etkilerini hesaplamak, antropojenik sera ısınmasını ölçmekten daha zor bir iştir. Neredeyse tamamen, çalkalanan troposferin içinde kaldıklarından aerosollerin etkileri düzensizdir ve bu da onları modellemeyi zorlaştırır. Heterojen yapıları işleri daha da güçleştirir. Parlak sülfatlar, ısı emici is, çeşit çeşit özelliklere sahip organik bileşikler vardır ve bunların hepsi ayrı ayrı boyutlarda gelir. Ayrıca bulutlar üzerinde de etkili olurlar. Twomey'nin söylediği gibi, bazı aerosoller açık bulutların soğutma etkisini arttırır. Ancak diğer aerosoller bulutları yok edebilir. İse benzer bir şekilde, güneş ışığını emen ve kızılötesi ışık yayan aerosoller, onları tutan havayı, bulut damlacıklarının oluşmasını engelleyecek kadar ısıtabilir. Aerosollerin davranış biçimini belirleyen karmaşık bulut fiziği, iklim modelcileri için

her halükarda büyük bir sorun olabilir. Birçok aerosol türünün olması durumu daha da kötüleştiriyor.

Tüm bunları hesaba katan en son IPCC çalışması, isli aerosollerin neden olduğu ısınma, parlak olanların neden olduğu soğuma ve bulutlarla çeşitli etkileşimler dahil olmak üzere antropojenik aerosollerin net etkisinin, metrekaresine başına yaklaşık bir vat soğutmaya –karbondioksitten kaynaklanan ısınmanın kabaca yarısı– ulaştığını bildirmektedir. Bu sayıdaki hata payı, yaklaşık sayının kendisi kadardır yani olası net etki metrekaresine başına 0.1 vat kadar küçük veya 1.9 vat kadar büyük bir değere sahip olabilir. Bu, karbondioksitten kaynaklanan ısınmanın yarısından fazlasının şu an muhtemelen aerosol kaynaklı soğuma yoluyla maskelendiği anlamına geliyor ancak bu oranın gerçekte çok küçük olması da muhtemel.

Oldukça kesin olan şey, aerosol kaynaklı soğutmanın zamanla daha da zayıflayacağıdır. Çin'i ele alalım. Çin'de 1990'ların ortalarında başlayan ekonomik patlamaya, hava kalitesindeki korkunç bir düşüş eşlik etti. 1950 ve 60'larda Avrupa ve Amerika'dan gelen aerosoller, karbondioksitin etkisini maskeleymiş gibi görünmüştü, oysa 2000'lerde Çin hava kirliliğinin yarattığı çok miktardaki aerosol, o on yıl boyunca ısınmada görülen yavaşlamada gerçekten de bir rol oynamış olabilir. Ancak Çin, hava kirliliğini temizledikçe bu etki azalacak. Çin, bir yandan yenilenebilir ve nükleer enerji kapasitesini artırarak diğer yandan elektrik üretiminin temel dayanağı olmaya devam eden termik santrallerden kaynaklanan emisyonları temizleyerek kömürden bir dereceye kadar uzaklaşıyor. Benzer hikayeler başka yerlerde de anlatılacak. Dünya önümüzdeki on yıllar boyunca fosil yakıtlı enerji kapasitesini artırmaya devam edecek ancak bu kapasitenin daha temiz hale gelmesi muhtemel zira giderek daha çok insan, daha sağlıklı bir çevre talep edecek ve kükürt emisyonlarını düşürmek için gereken teknoloji ucuzlayacak. Böylece ısınma daha az maskelenmiş olacak ve oluşacak fark belki çok, belki az olacak.

Peki ya Çin ve dünyanın geri kalanı aerosollerin soğutma etkisini korurken zararlı yanlarını ortadan kaldırılabirirse? Paul Crutzen'in jeomühendisliğe olan ilgiyi yeniden canlandırdığı ve kısmen meşrulaştırdığı 2006 makalesine şekil veren sorulardan bir tanesi buydu. Makale, yeni bir soğutma kaynağı olarak değil, fosil yakıtlardan kaynaklanan troposferik aerosollerin halihazırda sağladığı soğutmanın yerini alacak bir stratosferik perde öneriyordu.

Crutzen'in önerisindeki mantık, troposferik aerosollerin yağmurla bir hafta içinde havadan atılmasına karşın stratosferik aerosollerin yıllarca orada kaldığı gerçeğine dayanır. Bu, stratosferdeki bir ton kükürdün, sırf daha uzun süre orada kaldığı için, troposferdeki bir tondan yirmi beş ila elli kat daha fazla soğuma sağladığı anlamına gelir. Yani bugünkü toplam kükürt emisyonlarının sadece yüzde 4'ünü troposfer yerine stratosfere koyarsanız, o zamana kadar sağladığı soğutmayı korurken, insan sağlığına verdikleri tüm zararlarla birlikte diğer yüzde 96'sından kurtulabilirsiniz.⁴⁷

Bu retorik, tipik bir kurnazlıktı. İklim jeomühendisliğini radikal bir yenilik yapmak yerine, olağan Antroposen işlemlerinin steril bir versiyonu haline getiriyordu. Soğutucu

47 Zararın tamamından, gerçekten kurtulamazsınız. Stratosferik aerosoller en sonunda yeryüzüne geri döner ve bu nedenle bazıları solunur. Ancak stratosferik aerosoller, "yerine geçtikleri" troposferik aerosollerden çok daha düşük bir oranda salınmakla kalmazlar, sağlığa verdikleri zarar çok daha azdır. Troposferik sülfatlar insanların yaşadığı yerlerin yakınlarına salınır; oysa yüzeye geri dönen stratosferik aerosoller çok daha geniş bir alana yayılır (1950'lerdeki serpinti gibi, jet akım bölgelerini tercih etmelerine rağmen). Ayrıca, troposferin tamamının içinden geçen stratosferik aerosollerin, yüzeyden gelen aerosollere oranla yağmurla gökyüzünden temizlenmesi daha olasıdır. Mevcut kükürt aerosolleri yüzünden öldükleri düşünülen bir milyondan fazla insanla karşılaştırıldığında, orta kalınlıkta bir perde yapmak için gereken stratosferik aerosol etkisiyle yaşam süreleri doğrudan kısalacak insan sayısı muhtemelen birkaç bin olacaktır. Bazı troposferik kirliliklerin verdiği zarar sıcaklığa bağlı olduğundan ve iklim jeomühendisliği bu sıcaklığı değiştirmeye çalıştığından net etkiler daha karmaşıktır; bu, çok daha fazla çalışmanın yapılması gereken bir alandır.

emisyonlar zaten devam ediyordu; önerilen jeomühendislik, onları, zararları ortadan kaldırılmış ama faydaları korunmuş bir şekilde yönlendirmektir. Yerküre sistemine yeni bir müdahale düzeyine değil, sadece yeni bir sorumluluk düzeyine ihtiyaç vardı.

Ancak bir fikrin zarafeti, onu siyasi pratiğin bir parçası yapmaz. Troposferik aerosol salımının durdurulması acil bir sorundur. Stratosferik perde yapımı hâlâ jeo-şiiirin bu tarafındadır ve başlatılması çok fazla ayrılık yaratır. Ülkeler, sanayi için enerji üretimine ve insanların hareket edebilmesi için araba ve kamyonetlere sahip olmaya verdikleri ekonomik önem yüzünden, vatandaşlarını kötü yönetilen hava kirliliğine bağlı tehlikelere atmaya hazırdır. Ayrıca, arabaları üreten ve kullanan insanların siyasi gücü nedeniyle de onları tehlikeye atabilirler. Ancak faydaları spekülâtif ve küresel olan gökyüzündeki bir pasta alternatifini geliştirmeye ve üzerinde uzlaşmaya çalışırken onları acı içinde bırakmayacaktır. Soğutma etkilerinin ikame edilip edilemeyeceğine bakılmaksızın kükürt emisyonları kesilecektir.

Bunun en çarpıcı örneği bence tek bir ülkeden değil, BM'nin Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) üyeleri olarak birlikte hareket eden 171 ülkeden geliyor. Örgütün son girişimlerinden biri, gemilerden kaynaklanan emisyonları temizlemek ve okyanusların kalbinde yayabilecekleri kurum ve kükürt miktarı için giderek daha katı standartlar belirlemek oldu. Bu görevi üstlenmek IMO'ya, Dünya yüzeyinin yarısından fazlasının albedosu üzerinde düzenleyici bir etkiye sahip olma ve dolayısıyla iklim parametreleriyle şu anda UNFCCC'nin sahip olduğundan çok daha fazla oynama yeteneği verdi.

Kükürt emisyonlarının denizdeki sonuçları, Twomey etkisi nedeniyle özellikle güçlü olabilir. Tozdan kepeğe kadar her şeyin sürekli havaya üflendiği karada, bulutlar nadiren yoğunlaşma çekirdeği eksikliği çeker. Oysa havanın daha temiz

olduğu denizlerde, yoğunlaşma çekirdekleri genellikle azdır. Mevcut olan yoğunlaşma çekirdeklerinin çoğu, planktonların ürettiği kükürt bileşiklerinden gelir. 1980’lerde Lovelock, aerosol uzmanı Robert Charlson ve diğerleri ile birlikte, planktonların ürettiği kükürt emisyonlarının muhtemelen gezegeni, aksi takdirde olacağından çok daha soğuk tuttuğunu göstermek için bulut oluşumunu bu yolla teşvik etmeye çalıştılar. Okyanus dolaşımlarının değişmesi veya gübreleme düzenlerinin dolaşımları azaltacak şekilde değiştirilmesi iklimi kötü etkileyebilir; bu akılda tutulması gereken ve lineer olmayan bir durumdur.

Ancak okyanusların ortasındaki kükürdün bir kısmı gemilerden geldiği için, küresel soğumanın bir kısmı da gemilerden kaynaklanır. IMO’nun bu on yılda yürürlüğe koyduğu yeni emisyon standartlarının, küresel kirliliğin soğutma etkisini metrekaşe başına bir vatın üçte biri kadar azaltacağı hesaplandı. Bu, modellerin, aynı sürede dünyadaki bütün jeneratör ve motorların salacağı karbondioksidin yapacağını söylediği ısınmadan çok daha büyük bir etkidir. Ayrıca, eşlik eden bir analize göre bu yeni standartlar, bölgede yılda yaklaşık 40 bin hayat kurtaracaktır zira okyanusların ortasından salınanlar orada kalmaz, kıyıya doğru üflenir ve kirliliğin hassas akciğerlere verdiği zarar artar.

IMO’nun, geniş kapsamlı ve sınırları zorlayan bir tartışmanın sonucu olarak, engel olduğu soğutma etkisini yeni bir yansıtıcı ile iyileştirmeye çalışacağı, Crutzen benzeri büyük bir tahhütte bulunma ihtimalini gerçekçi buluyor muyum? Tam değil; ancak IMO’nun kendi teknik danışmanları bazı analizlerinde “jeomühendislik” terimini kullanmış olsalar da tespit edebildiğim kadarıyla, bu konudan kimsenin bahsetmemiş olması şok edici değildir ama çarpıcı gelmeye devam ediyor. Görüşmeler bir yerden başlamalı ve bu konu, başlamak için iyi bir nokta.

Bulut Gemileri

İklim değişikliğine yönelik karbondioksit dışı yaklaşımlara ilgi eksikliğinin çok daha küçük bir örneği, John Latham'ın ıslak aynalar fikrine verilen tepkide görülebilir. 1990 yılında *Nature* dergisinde “Küresel Isınma Kontrolü?” başlığıyla yayımlanan makale, hemen hemen hiç ilgi görmedi. Latham, başka bilimsel kurumlarda da çalıştıktan sonra en son Kevin Trenberth ve diğer pek çok kişinin evi olan Kolorado Boulder'daki NCAR'a katılmıştı. Fakat ıslak aynalar makalesi on yıldan fazla bir süre sonra yayımlansa da olurdu. Makale ancak 2003'te Stephen Salter'ın dikkatini çekti.

Salter, jeomühendislik alanında çalışan, mühendislik eğitimi almış ve fiilen bu mesleği icra eden çok az insandan biridir.⁴⁸ Kariyerini, denizcilikle ilgili muhtelif donanımlar tasarlayarak ve öğrencilere bunu yapmayı öğreterek geçirdi; doğrusunu söylemek gerekirse Latham gibi o da artık emekli oldu. Bu süre boyunca, bir şeyler inşa etmenin yolları, malzemelerin özellikleri, mekanizmaları ekleme ve kontrol etme teknikleri, mafsallar, yataklar, dişliler ve devrelerin işleyişi hakkında olağanüstü zengin bir bilgi birikimi oluşturdu. Bu bana, caz müzisyenlerinin gamlar hakkında sahip olması gereken geniş fakat dışarıdan birinin, bunu yaratıcılıkta nasıl kullandıklarını anlaması zor olan bilgiyi hatırlatıyor.

Salter'ı en son, 2014 Berlin Jeomühendislik Konferansı otelinin restoranında gördüğümde, eğer doğru anladıysam, çok uzun ve ince uçurtmalarla bir jaluzi oluşturma düşüncesini özetliyordu. Anafikir, bunları Singapur'un üzerinde uçurmak ve klima ihtiyacını ortadan kaldırmaktı. Konuşmanın sonunda, benzer bir şey, unuttuğum bir neden yüzünden (rüzgar gücüyle ilgili bir şey olabilir) Büyük Kanyon'un üzerinde de uçurulmaya başladı. Daha önceki bir sohbetin konusu, kasırga mevsiminde

48 Aslında, ikinci bölümde sözünü ettiğimiz Matthew Sankey ve Arşimed'den bu yana bu kitapta adı geçen ilk mühendis olabilir.

okyanus yüzeyinden ılık su çekecek büyük, verimli, ucuz pompalar yapmanın ve böylece kasırgaları ihtiyaç duydukları güçten mahrum bırakmanın bir yolunu bulmaktı. Bu hayaller için gereken donanımların aklına getirdiği ayrıntılardan memnun olsa da donanımların kendisi asla önemli değildi. Salter büyük bir içtenlikle, fanteziler daima insanlara yardım etme ve iyilik yapma düşüncesiyle başlar diyordu.

Salter, 2000'lerin başında Ortadoğu'ya barış getirerek bir iyilik yapmak istiyordu. Kendi büyük resim perspektifinden kuru bir yer olduğunu ve çatışmaların bir kısmının bu su eksikliği yüzünden daha da şiddetlendiğini düşünüyordu. Öyleyse neden biraz nem verilmesindi? Bölgedeki denizlere kurulacak, ince bir su sisi oluşturarak rüzgar seviyesine kadar kaldıracak ve böylece ihtiyaç duyulan yere sürüklenmesini sağlayacak rüzgar tribünleri hayal etmeye başladı. Ama ne yazık ki suyla birlikte tuzu da kaldırmamanın bir yolunu bulamadı ve insanların topraklarına tuz ekmek pek iyi bir şey olmazdı. Fakat bir meslektaşı ona, Latham'ın fikrinden yani tuz kaldırmanın bir sorun değil, bir iyilik olacağı fikirden bahsettiğinde, denizde sis oluşturma teknolojisi zihninde zaten çoktan oturmuştu. Salter, o fikri tekrarlayarak bulut gemisini buldu.

Salter'ın bulut gemileri, "Flettner rotorları" –yelkenlere hiç benzemeyen ancak rüzgarla yelken benzeri bir şekilde etkilüşime giren ve böylece bir gemiyi ileriye doğru hareket ettirebilen tuhaf, dönen baca benzeri mekanizmalar– ile hareket ettirilecekti (ileri hareket, rotorları döndüren elektriği üretmek için kullanılabilir, bu da bedavadan enerji üretmek gibi hissettirir ama aslında değildir çünkü işi rüzgar yapmaktadır). Flettner rotorları, on yıllardır deniz mühendisliğinin en uç noktalarından takip ediliyordu ancak hiçbir zaman gerçek bir soruna uygulanabilir bir çözüm sunmamıştı. Salter, rotorların hem yakıt ihtiyacını ortadan kaldırarak gemileri sürmek hem de Latham'ın fikrinin gerektirdiği son derece ince su damlacıklarını gökyüzüne taşıyacak huniler oluşturmak için

kullanılabileceğini gördü. Böyle birkaç yüz gemiden oluşan bir filonun küresel ölçekte soğutma üretebileceğini düşündü.

Salter'ın ilgisi, Latham'ın fikirlerine çeşitli şekillerde yeni bir can verdi. Latham'a yalnız olmadığını gösterdi ve onu ıslak aynalar üzerinde çalışmaya tekrar başlaması için cesaretlendirdi. Bulut gemileri de diğer insanlara, bulut aydınlatması ve daha genel olarak iklim jeomühendisliği hakkında soyut modeller ve etik bilmeceleer değil, donanımsal parçalar açısından düşünme fırsatı verdi. Salter, kurnaz bir şekilde, tepesinde acayip bombeleri olan üç Flettner rotorunun bulunduğu beyaz bir trimaranın çizimlerini -*Thunderbirds*'te kanatlı roketlerle dünyayı dolaşan Tracy kardeşlerin uluslararası kurtarma görevi jeomühendisliğe kadar uzanmış olsaydı tercih edebilecekleri türden bir şey- bir bulut gemisinin temsili için kullandı. Bu çok iyi bir halkla ilişkiler çalışmasıydı. Jeomühendislik makalelerine görsel eklemelerin zorluğunu iyi bilen resim editörleri, bu muntazam ama tuhaf görünen bilimkurgu donatısını kullanma şansını hemen değerlendirdiler.

Crutzen'in 2006 tarihli makalesinin ardından gelen ilgi artışı, Latham ve Salter'a yeni çalışma arkadaşları kazandırdı. Latham'ın SCAR'dan meslektaş ve birçok kişinin saygı duyduğu bir iklim modelci olan Phil Rasch, özellikle çok yararlı oldu. Jeomühendislik çalışmaya Crutzen ile kurduğu dostluğun teşvikiyle başlayan Rasch, Latham tipi aydınlatmaya işini yapacak bulutların en güvenilir şekilde nerede üretilebileceğini görmek için yüzyıllık süreleri simüle eden iklim modelleri çalıştırdı. Ardından, bulut gemilerinin bu tür bulutların bulunma olasılığının en yüksek olduğu okyanusların yüzde 25'inde devriye gezdiği simülasyonlar yürüttü.

Bu modeller, sürecin verimliliği hakkında oldukça makul varsayımlarla, böyle bir müdahalenin, karbondioksitin iki katına çıkmasını aşağı yukarı dengelemeye yetecek bir soğutma üretebileceğini gösterdi. Bu tekniğin oldukça büyük soğumalar

üretebileceği gerçeği, savunucuları için önemliydi ve Latham ve Salter, bu yöntemi, stratosferik perdeler üzerinde çalışan tüm doğa bilimcilerinden çok daha fazla savundukları izlenimi verdiler. O zaman hissetmişim; kendilerini, perde yapıcılığın Hertz'ine kıyasla Avis gibi görüyorlardı yani ikinci sırada oldukları için daha fazla çaba göstermeleri gerekiyordu. Jeomühendislik yapmayı düşünüyorsanız, onların geliştirdiği yöntemi göz önünde bulundurduğunuzdan emin olmanız gerektiği üzerinde durdıkları kadar, jeomühendisliğin gerekçesi üzerinde durmadılar. Bulut aydınlatmanın avantajlarını anlatmak için fırsat bulmaya her zaman hevesliyidiler: Bu yöntem, en fazla deniz suyu kadar zehirli bir şey kullanıyordu; kapatıldığında bulutlar bir günde ya da en fazla iki günde normale dönüyordu.

2009'da Ken Caldeira ve David Keith, bu bulut aydınlatma araştırmasına bir miktar Gates parası koymayı düşünüyordu. Dünyayı kurtarma sevdasına kapılmış bir San Francisco körfez bölgesi girişimcisi olan Kelly Wanser, Latham'ın fikirlerinden hoşlanmıştı. Bulut aydınlatmasını tartışmak için Edinburgh'da jeoklik ve çeşitli bulut uzmanlarıyla küçük bir toplantı yaptı. Toplantı, bu fikrin bazı vaatleri ve bir sürü cevaplanmamış soruları olduğunu gösterdi. Tekniğin aydınlatmaya çalıştığı düz bulut desteleri basit görünebilir ama öyle değillerdir; eklenen çekirdeklerin çeşitli şekillerde bozabileceği kendi dinamikleri vardır. Aydınlatılmış bulutların aşağıdaki havadan yeni yoğunlaşma çekirdekleri toplamaya daha az yatkın olması veya kurumaya daha fazla yatkın olması nedeniyle, aydınlatmanın kendi kendini sınırlaması mümkündü. Bazı modeller, Latham'ın öngördüğü şekilde eklenen aerosollerin aslında bulutları aydınlatmaktan çok karartacağını gösterdi. Fakat ilk etapta görünen en büyük engel, çekirdeklerin nasıl yapılacağıydı.

Edinburgh toplantısına katılanlardan biri, emekli olduktan sonra, Wanser tarafından dürtülen ve desteklenen bir grup çalışma arkadaşıyla birlikte sprey yapma problemi üzerinde

alışan bir Silikon Vadisi mühendisi olan Armand Neukermans'tı. Neukermans, kariyerinin bir kısmını, erken dönem mürekkep püskürtmeli yazıcılar üreten Hewlett Packard'da geçirmişti; bu yüzden küçük damlacıklarla ilgili bir deneyime sahipti. Ve muhtemelen yerküre sistem mühendisliğini, Jim Lovelock ile Hewlett Packard'da tanıştığı için merak etmeye başlamıştı. şirket, Lovelock'un atmosferde CFC biriktiğini ilk kez gösterdiği ve bu sayede planktonlar tarafından yayılan kükürdün önemini ilk kez anlamaya başladığı, çok hassas bir alet olan elektron yakalama detektörünün ticari versiyonlarını üretiyordu.

Neukermans ve meslektaşları, Latham'ın istediğı özellikleri karşılayan ancak pskrttikleri parçacıkların birbirine yapışacağı neredeyse kesin olan küçük fiziksel püskürtme memelerine dayanmayan bir spre yapamanın bilinmeyen birçok yolunu araştırdı. Sonunda gerçekten umut veren bir tane buldular: Bir memeden çıkan basınçlı su içinde biraz gaz varsa, memeden çıktıktan hemen sonra memenin çapından hayli küçük damlacıklara kendiliğinden ayrılacaktır. Böylece, tıkanmayacak kadar büyük memeler kullanılmasına rağmen uygun boyutta damlacıklar elde edilebilir. Bu türden birkaç yüz memeden oluşan bir dizi, her saniyede gerekli olan bin trilyon parçacığı sağlayabilir. Ticari kar püskürtücüler bu parçacıkları, işlerini yapabilecekleri ykseklige fleyebilir.

Latham 1990 tarihli makalesinde, "[bulut yoğunlaştırıcı çekirdeklerin] denizlerdeki katman bulutlarına kontrollü bir şekilde eklendiğı ve bulut ii mikrofiziksel ölçümlerin ve bulut üstü radyasyonel gözlemlerin yapıldığı bir deney yürütmek mümkün görünüyor," diye yazmıştı. eyrek asır sonra, böyle bir test programını kuracak ekipman prototip oluştırmaya hazırdır. Neukermans, Latham, Salter, Wanser ve diğerkleri, muhtemelen Kaliforniya sahilinde veya yakınında bir yerde, bunu inşa etmek ve deneylere başlamak için para ödemeye hazır insanlar arıyorlar.

Kırk Yamalı Parlak Gezegen

Bu tür testler, sadece, bulut aydınlatmasının sağlayabileceği yerel soğuma miktarını göstermez. Uygun bir şekilde donatıldıklarında, ayrıca, bulutların içinde işleyen mekanizmalar hakkında hayli bilgi üreteceklerdir. Savunucuları, bunun, demir gübreleme deneylerinde olduğu ve David Keith ve diğerlerinin önermeyi planladığı stratosfer deneylerinde olabileceği gibi, yalnızca jeomühendislikle ilgilenenlerden daha geniş bir bilim insanı topluluğunun desteğini kazanabileceğini umuyor. Yerküre sistemi süreçlerini ve olası jeomühendislik yaklaşımlarını anlamaya yönelik deneyler, bilim insanları ve sivil toplum kuruluşları için, bir jeomühendislik projesinin sadece fizibilitesiyle ilgilenenlere kıyasla çok daha fazla kabul edilebilir olduğu görülüyor.

Bulut aydınlatmanın etkisi kanıtlanırsa, prensipte bölgesel soğutma projeleri için oldukça hızlı bir şekilde kullanılmaya başlanması mümkün olacaktır. Bu kitap şimdiye kadar iklim jeomühendisliği konusunda gezegene bir bütün olarak baktı. Karbon döngüsü veya stratosfere uzun vadeli müdahaleler bakımından tek makul bakış açısı budur. Ancak güneş ışığı jeomühendisliğinin sunduğu adaptasyon türü, küresel olmak zorunda değildir. Sıcaklıklarını düşürmek için bir şeyleri parlatmak, mikro püskürtmeli bulut yoğunlaştırma çekirdeklerinden, bildiğimiz eski düz boyalara kadar birçok farklı şeyi kullanarak, tek bir evden bir göle veya bir denize kadar pek çok ölçekte yapabileceğiniz bir şeydir.

Sıcak iklimlerde yaşayan insanlar binlerce yıldır evlerini badan alıyor. Artık birçok uzman, ısınmaya karşı bir tedbir olarak çatı ve yolların beyaza boyanmasıyla şehirlerin güneş ışığını daha fazla yansıtmasını sağlamayı savunuyor. Bu tür çabalar gezegen ölçeğinde yalnızca küçük bir fark yaratsa da ilgili şehirlere yazın bir miktar serinlik sağlayabilir. Dünya nüfusu giderek şehirlerde yaşamaya başladığından ve şehirler çevre-

deki kırsal alanlara göre daha sıcak olduğundan, bu gerçek bir avantaj olabilir.

Bristol Üniversitesi'nden Andy Ridgwell tarafından önerilen bir başka bölgesel aydınlatma seçeneği, ekinlere daha fazla yansıtıcı yapraklar kazandıracak bir genetik mühendisliğidir. Ekinlerin güneş ışığını ziyan etmesi fikri kulağa çılgınca geliyor –ne de olsa yedikleri şey bu– ama Ridgwell'in argümanları ilgi çekici. Volkanik bir perde altında bitki büyümesinin nasıl artabileceğini tartışırken gördüğümüz gibi, doğrudan gelen güneş ışığı, fotosentetik aygıt için çok parlak olabilir; çok güçlü güneş ışığı altındaki bitkiler için biraz daha fazla yansıtma yardımcı olabilir. Ve bir bitkinin alt kısmındaki bir yapraktan yansıyan güneş ışığı, fotosentez için yukarıdaki başka bir yaprak tarafından kullanılabilir: Çoğu yaprak, yukarıdan gelen ışığın yanı sıra, aşağıdan gelen ışığı da kullanabilir. Ekinin üzerinde, normal bir ürünün fotosentez için kullandığı güneş ışığı miktarıyla aşağı yukarı aynı miktarda ışık kullanan ancak buna rağmen bitkinin alt taraflarındaki büyük yansıtıcı yapraklar sayesinde yere daha az ışık düşmesini sağlayan ve böylece daha fazla güneş ışığını uzaya geri yansıtan bir örtü düşünebilirsiniz.

Böyle bir mahsulü hayal edebiliyor olmanız, onu yapabileceğiniz anlamına gelmez. Ancak Neukermans ve arkadaşlarının biyoteknolojik muadilleri, bunları denemeyi ilginç bulabilir. Başarılı olsalar bile daha parlak ekinler en iyi ihtimalle sadece biraz serinleme sağlar, o da sadece yaz aylarında çünkü bitkiler sadece o zaman yapraklıdır. Öte yandan tarım arazilerinin soğumaya en çok ihtiyaç duyduğu dönem yaz aylarıdır. Ekinler biraz soğutulabilirse, özellikle en sıcak günlerde kayda değer bir fark yaratabilir. Şayet şimdiye kadar harcanan emeğe oranla en yüksek fayda ümidi veren jeomühendislik biçimleri için bir ödül veriliyor olsaydı, bence, Ridgwell'in sadece birkaç makalede ortaya koymuş olduğu önerisi son değerlendirmeye kalanlar arasında olurdu.

Genetik mühendisliğini jeomühendislik amacıyla kullanarak, kendisini bir tür yeşil teşvik ödülü için yarışırken de bulabilir ki bu da başlı başına oldukça ilginçtir. Ridgwell, hâlâ, 1990'larda yol yapım projelerini sivil itaatsizlik yoluyla durdurmaya çalışan bir protestocuyken giydiği kıyafet ve uzun ince örgülü saç tarzına sahip; eko-aktivizm onu yerküre sistemi bilimine yöneltmiş. Hâlâ gezegenin geleceğine çok önem veriyor ve yabancı yolları pek sevmiyor ama yerküre sistemi hakkında düşünmek onu, ilgi ile boş vermeyi birbirine karıştırmamaya yönlendiriyor.

Ridgwell, Jim Lovelock'un doktora öğrencisi olarak danışmanlığını yaptığı tek kişi olma ayrıcalığına sahip bir okyanus bilimci olan Andrew Watson ile çalıştı. Watson, bir jeomühendislik biçimi olarak demir gübrelemeyle ilgilenmeye devam eden oşinograflardan biridir. Lovelock'un eski doktora öğrencilerinden bir diğeri Tim Lenton, Lovelock'un yerküre sisteminin düzenlenmesi hakkındaki fikirlerini çeşitli şekillerde uyarlayıp savunan entelektüel bir varisi olmaya belki de en yakın kişidir. O da jeomühendisliği ciddiye alıyor ve önerilen farklı tekniklerin yararlarını ve risklerini karşılaştırdığı çok sayıda atıf alan makalesi var.

Burada bir desen var. Geribildirimlerin bazı durumlarda yerküre sistemine ne kadar istikrar kazandırdığını vurgulayan Gaia düşüncesi, ana akım bilim tarafından, üstü kapalı dini imalara sahip olduğu gerekçesiyle genelde şüpheyle karşılanmıştır. Bu imalar aslında bugün Lovelock'un 1970'lerdeki orijinal kavramından çok daha az dikkat çekicidir çünkü Gaia teorisi, onu biraz din gibi gösteren teleolojik eğilimlerden büyük ölçüde sıyrılmıştır. Ama yine de uzmanlarının kendi tanrılarını söküp yeniden tasarlamaya duyduğu özel ilgi, onu çok tuhaf bir inanç türü olarak damgalayabilir. Gerçek şu ki, karmaşık bir sistemin her şey diğer her şeye bağlıdır yönü, tamircinin, değişikliklerin sistem üzerinde nasıl yankılandığına ve sistemin buna nasıl tepki verdiğine dair algısını güçlü bir

şekilde ödüllendirir. Bu, Lovelock'un doğal bir bolluk içinde sahip olduğu ve takipçilerinin ya en başından beri paylaştığı ya da ilerledikçe benimsediği bir duygudur. Bu yolla bir Gai-acı olmak, sizi jeomühendislik dostu bir zihniyete yatkın hale getirir ancak bunun tersinin de bir dereceye kadar doğru olması mümkündür. Girişte belirttiğim gibi, yerküre sistemini takdir etmenin özel bir yolu vardır: nasıl değiştirilebileceğini sadece hayal etmek. Bir jeomühendis gibi düşünmek, kişinin yerküre sisteminin işleyişine olan merakını zenginleştirebilir.

Aydınlatmaya ve yerel ve bölgesel yaklaşımlara geri dönelim. Yerel aydınlatma, şehirler ve ekinler için iyi olabilir. Benzer bir şey göller ve rezervuarlar için de geçerli olabilir. Bağımsız bir araştırmacı olan Russell Seitz, durgun suyu aydınlatmak, böylece çevreyi soğutmak ve suyun kendisinin buharlaşmasını azaltmak için uçucu köpük ve kabarcıkların kullanılabilceği şemalar sundu. Deniz ve okyanusların belli bölgeleri için, Salter'ın, çırpıntılı dalgalarda görülenlere benzer köpük tanecikleri oluşturan bulut gemileri gibi bir şey yapmayı düşünebilirsiniz. Bu fikir, Roger Revelle'in Başkan Johnson'a önerdiği masa tenisi toplarına benzer bir etki yaratacak fakat kalıcı bir çöpü olmayacaktır.

Bununla birlikte, sadece –mesela özellikle korkunç bir sıcak hava dalgası sırasında bir rahatlama gibi geçici etkiler istediğiniz sürece– stratosferde veya üst troposferde bölgesel bazda perde yapma tekniklerini kullanmak mümkün olabilir. Perde hareketsiz kalmayacağından, soğutma rüzgar yönünde oldukça hızlı bir şekilde yayılacaktır. Başka yerlerde ihtiyaç duyulmayan etkiler, bu nedenle, amaçlanan bölgedeki etkilere benzer olacaktır, ki bu pek arzu edilir bir şey değildir ve böyle bir bölgesel perdenin nasıl çalıştırılacağı konusunda şimdiye kadar çok az araştırma yapılmıştır. Ancak bu, böyle bir planın bazı hükümetlere bazı zamanlarda veya küresel bir perde altyapısı için ekstra ama ara sıra kullanılacak bir şey olarak çekici gelmeyeceği anlamına gelmez. Bu fikir, perdeler

hakkında önceki düşüncelere veya GeoMIP modellerine uymasa da sonunda izlenen bir yol olabilir.

Deneyler işe yaradığını gösterirse, Latham'ın bulutları aydınlatma fikri bu yerel ve bölgesel yaklaşımlara uyar mı? Tasarlanan bu tekniğin üzerinde çalışacağı düz bulut destelleri yalnızca denizde bulunur ve insanlar denizin belirli bir bölgesinde yaşamadıkları veya çalışmadıkları için, denizde yerel bir soğutmaya karada olduğundan daha az ihtiyaç var gibi görünüyor. Ancak denizlerde özel bir soğutmayı hak edebilecek bazı yerler var. İnsanlar mercan resiflerine çok düşkündür ve bazı mercanlar yüksek sıcaklıklarda hayatta kalabilse de bazıları bunu yapamaz. Çok ısınan suda, resif oluşturan polipler kendilerini "ağartır" ve enerji için bağımlı oldukları fotosentetik ortakyaşarları dışarı atar. Bu, en iyi ihtimalle, mercanın durgunlaştığı ve diğer ortakyaşarların yeniden kolonileşmesini beklediği anlamına gelir; en kötü ihtimalde ise mercan ölür. Bulut aydınlatması işe yararsa, tropikal resiflere güneş şemsiyesi oluşturmak için kullanılmasının hem yararlı olacağını hem de çok fazla tartışma yaratmayacağını tahmin edebiliyorum.

Deniz yüzeyini soğutan ancak bitişik karaların yüzeyini soğutmayan bir teknolojinin çok daha büyük bir ölçekte ve şüphesiz çok daha tartışmalı bir şekilde kullanımı, musonların gücünü artırmak için olacaktır. Caldeira'nın eski iş arkadaşı Govindasamy Bala ve bazı meslektaşları tarafından yapılan bir modelleme çalışması, sera ısınmasının deniz-bulut aydınlatmasıyla dengelendiği bir Tasarlanmış Gezegenin karalarında, benzer bir soğutma sağlamak için perde kullanan bir modele göre fazla yağış olacağını buldu. Musonların teşvik ediliyor olması bunun nedeninin bir parçası gibi görünüyor. Daha küçük ölçekte yürütülecek benzer yaklaşımlar, kıyı bölgelerindeki sıcak hava dalgaları sırasında, denizden karaya doğru esen rüzgarların hoş karşılanmasını sağlayabilir.

Bu nedenle, jeomühendisliğin basitçe ve apaçık bir adaptasyon biçimi olduğu fikrinin altını çizmek için, tam zamanında gelen parçalı veya hiyerarşik bir aydınlatma tasavvur edebilirsiniz. Beyaz çatı, evin uyum sağlamasına; aydınlatılan şehirler ve ekinler de ülkenin uyum sağlamasına yardımcı olur; köpükler gölleri, bulutlar denizleri soğutur, bir perde bir bütün olarak gezegeni aydınlatır. Yerel aydınlatma bu nedenle, bölgesel ve küresel çabaları daha ulaşılabilir hale getirebilir veya yerel ve bölgesel etkiler işe yararsa, belki de daha az gerekli kılabilir.

Ne yazık ki, küresel ölçeklere yaklaşmaya başladığınızda, dünyanın sadece bir bölümünü aydınlatmak oldukça talih-siz sonuçlar doğurabilir. İngiltere Meteoroloji Dairesi'nde modelleme yapan Jim Haywood'un bir perdeleme çalışması, bu noktayı açıkça ortaya koyuyor. Haywood ve arkadaşları, dördüncü bölümde anlattığımız GeoMIP senaryolarından birinde değişiklikler yaparak, bir Sera Gezegenini bir çift Tasarlanmış Gezegen ile karşılaştırdı. Bunlardan birinde tüm soğutma kuzey yarımkürede, diğerinde güney yarımkürede gerçekleştirildi. Bu, soğutma perdeleri sadece uçaklar vasıtasıyla ve ilgili yarımkürede, ekvatorun yeterince uzakta yapılırsa muhtemelen başarılabilir bir bölgeselleştirmedir. Sadece kuzeyin soğutulduğu senaryoda, Sahel'de korkunç kuraklıklar olduğu görüldü zira ekvator çevresinde bir yağmur kuşağı olan intertropikal yakınsama bölgesi, yağmurunu da alarak soğuk yarımküreden uzaklaşıyordu. Bu etki sadece modellerde görülüyor. Sahel'in yirminci yüzyılda gördüğü en kurak dört yılın üçü, ekvatorun sadece kuzey yarımküreyi soğutmayı sağlayacak kadar kuzeyinde gerçekleşen volkanik patlamalardan sonra oldu: Aleutianlardaki Katmai patlamasından sonraki yıl (1913) ve Meksika'daki El Chichon patlamasının olduğu yıl ile ertesi yıl (1982 ve 1983). Ayrıca 1970 ve 80'lerdeki Sahel kuraklıklarında, sanayileşmiş kuzeyden gelen sülfat aerosollerinin soğutma etkisinin rol oynadığını gösteren önemli bir delil yığını mevcut.

Haywood'un simülasyonundan çıkan en bariz ders, hiç kimsenin sadece kuzey yarımküreyi soğutarak gezegeni soğutmaya çalışmaması gerektiğidir. Daha genel ders, gezegenin bir bölümünü soğutmanın diğer yerlerde büyük etkileri olabileceğidir. İklim sistemi öyle bir şekilde çalışır ki bir parçasını bozarsanız, çok uzak diğer parçalarında tepkiler görürsünüz. Küresel ölçekte, bir durumdan diğerine geçebilen atmosferik basınç ve dolaşım desenleri vardır. Sadece bu tür “tele-bağlantılar” nedeniyle, Pasifik boyunca hareket eden sıcak bir su kütlelerinin etkilerinin –bu, El Nino olayının özüdür– Cape Town'dan Kaliforniya'ya kadar büyük ölçüde tahmin edilebilir bir değişim modeli üretmesi güvenle beklenebilir.

Stephen Salter, bir jeomühendislik planının iklim üzerindeki etkilerine ince ayar yapmak için bu tür tele-bağlantıların kullanılmasının mümkün olabileceğini düşünüyor. Gezegen genelinde önceden seçilmiş faydalı bir etki deseni elde etmek için bazı bölgelerde jeomühendislikten kaçınmak, bazı bölgelerde ise etkisini ikiye katlamak mümkün olabilir. İklim biliminde deneyimi olan çok az insan buna inanıyor. Aksine, belli yerlerde yoğunlaştırılan soğutmanın başka yerlere, nedeni tam olarak anlaşılmadan zarar verebileceğinden endişeleniyorlar; başka bir deyişle tele-bağlantıların bir vasıf değil, bir sorun olduğunu düşünüyorlar. Örneğin, İngiliz Meteoroloji Dairesi'ndeki bazı modelleme çalışmaları, Namibya'daki deniz bulutlarını aydınlatmanın (Phil Rasch'ın en hassas bulutlar için geliştirdiği modele dayanan bir araştırmaya göre bu teknolojinin en verimli olduğu yerlerden biri), Brezilya'nın kuzeyinde kuraklığa yol açabileceğini öne sürdü.⁴⁹ Yakın bölgede bulunanlar dışında kimseyi fazla endişelendirmeden ye-

49 Bununla birlikte, Meteoroloji Dairesi modelleri, diğer modellerin böyle bir sonuç vermediği birçok durumda Brezilya'da kuraklık olacağı öngörüsünde bulunma eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla bu bulgu aslında sadece, modellerin, büyük ölçekli bir bulut aydınlatma programının tele-bağlantılı etkileriyle birlikte güvenle tasarlanmasını sağlayacak kadar ayrıntılı sonuçlar veremediğini gösteriyor.

rel bulut aydınlatması yapmak mümkün olabilir. Ancak ölçek büyüdükçe tele-bağlantıların önemli olmaya başlaması daha olası görünüyor.

Bu durum, geriye, bulut aydınlatmanın yerel ve geçici rahatlama için kullanılabileceği çeşitli yollar bırakıyor. 2014 tarihli bir makalede Latham ve meslektaşları, bulut aydınlatmayı, mercanları ağarmaktan koruma, kutup buzlarını koruma ve kasırgaları önlemek için deniz yüzeyi sıcaklıklarını azaltma çabalarına odaklama imkanına baktılar. Bunlar, mutlaka gelişmiş bir tele-bağlantı bilgisi gerektirmez. Oşinografi bilginizi, ihtiyaç duyulan yerlerin “yukarısını” soğutmak için kullanmak ve gerisini okyanus akıntılarına bırakmak anlamına gelebilir. Bu tür yaklaşımlar, bulut aydınlatmayı “yerel ve bölgesel ölçeklerde neredeyse ‘cerrahi’ bir şekilde” kullanmayı mümkün kılabilir diye yazdılar.

Buna benzer iddialarda, Langmuir’in New England buz fırtınalarını ortadan kaldırma ve kasırgaları durdurma gibi övünmelerinin yankısını duymamak elde değildir. Küresel iklim jeomühendisliğine bir yaklaşım olarak yola çıkan şey, olay-yer bazında hava değişikliği yapma gibi görünmeye başlar. Bunun bazı avantajları vardır. Kısa vadeli faydalar sunarak insanlığın refahında hızlı iyileşmeler yapma potansiyeline sahiptir. Ancak bütün Prometeyen bilimler gibi, hava modifikasyonunun da rahatsız edici tehlikeleri vardır. Langmuir ve haleflerinin bulduğu gibi, havanın bir müdahaleden sonraki davranışının, böyle bir girişimde bulunulmasa sergileyeceği davranıştan farklı olduğunu göstermek çok zordur. Bütün bulutların kendine has özellikleri olduğu için deneylerde kontrollü bir şekilde kullanılmaları çok güçtür. Başarı göstergesi çoğunlukla istatistikseidir: Yağmurun yağıp yağmayacağına dair herhangi bir gerçek kontrolden ziyade yağmur yağma olasılığında ya da yağmurun muhtemel yoğunluğunda bir artış gösterir. Sunmak istediğiniz faydaları garanti edemezsiniz.

Ve iyi hava için övgü almak zor olduğu gibi, kötü olduğunda suçlamalardan kurtulmak da zordur. Cirrus Projesi, 1947’de bir kasırgayı, bulutlarının bir kısmını tohumlayarak zayıflatmaya çalıştı. *King* adı verilen bu kasırğa, Florida’dan kuzeydoğu yönünde boş Atlantik’e doğru gittiği için seçilmişti ve böylece deneyin halkın geneli üzerinde herhangi bir etkisi olmayacaktı. Fakat ne yazık ki tohumlandıktan sonra kasırğa derhal ve keskin bir şekilde rotasını değiştirdi ve Georgia, Savannah yakınlarındaki sahili vurdu. Bundan o tohumlamanın sorumlu olması pek olası görünmüyor zira benzer rotaları izleyen daha önceki kasırgalar benzer koşullarda ara sıra benzer şeyler yapmıştı ve tohumlama ölçeği oldukça küçüktü fakat Savannah halkı anlaşılır bir şekilde bu durumu pek umursamadı ve kasırğa modifikasyonu, Cirrus Projesi’nin ilgi alanları listesinden çıkarıldı. Günümüzün, devletin sunduğu gerekçeleri çoğu kez daha az kabul eden daha ihtilaflı kültüründe buna benzer bir şey olsa, mağdurların sesi çok daha yüksek çıkacaktır.

Gördüğümüz gibi, ortaya koydukları tüm sorunlara rağmen Langmuir’e dayalı hava durumu değiştirme programları tüm dünyada devam ediyor. İklim değişikliği, su kaynaklarıyla ilgili endişeleri artırdıkça, bunların daha geniş çapta uygulanacağı oldukça muhtemel görünüyor. Kullanılan tekniklerin gelişmesi de mümkün. Bulutları birtakım amaçlar için gidecek daha fazla manipüle etmeye çalışan ülkeler ve şirketlerin, onları başka amaçlar için –sözgelimi, mercan resiflerini korumak veya bir sıcak hava dalgası sırasında denizden karaya doğru akan rüzgarları artırmak için– kullanma imkanlarını daha kolay bir şekilde üstlenmesi oldukça olasıdır. Kudüs İbrani Üniversitesi’nde aerosoller ve bulutlar konusunda uzmanlaşmış bir profesör olan Daniel Rosenfeld’in dediği gibi, bazı koşullar altında Latham benzeri tekniklerle sıfırdan bulut oluşturmak mümkün olsaydı bu tür hedefli müdahaleler daha kolay ve dolayısıyla daha çekici olabilirdi.

Pek de sıradan olmayan bir örnek vermek gerekirse, Pekin iktidarı, bulut aydınlatma teknolojisini Güney Çin Denizi'nde konuşlandırmada herhangi bir ulusal fayda görürse, Çin'in Sincan'dan Guangdong'a kadar bulutları zaten tohumladığını düşünürsek, bunu neden yapmasın? Bu, Çin'in bu deniz üzerindeki egemenliğine karşı çıkan ülkelerle arasındaki anlaşmazlığı büyütebilir. Egemenliğinizi gökyüzüne el koymaktan daha iyi nasıl ifade edersiniz? Ve daha önce değindiğimiz gibi, Çin'in başka pek çok şeyle birlikte, anakaradan doğuya doğru sürüklenen enerji santrali aerosollerini aracılığıyla halihazırda Güney Çin Denizi'ni soğutuyor olması da söz konusu anlaşmazlıkta başka bir gerekçe olabilir. Böyle bir teknoloji, başka yollarla elde edilmiş bir Crutzen stratosfer-troposfer değiş tokuşu olurdu yani hava kirliliğinin tasarlanmadan oluşturduğu soğutma etkisinin yerini, havayı hem daha az kirletip hem de faydalı soğutma etkisini koruyan kasıtlı bir mühendisliğin alması.

Böyle bir argüman daha geniş bir biçimde de uygulanabilir. Çin'in ürettiği sülfatların yanı sıra, Güney ve Güneydoğu Asya ile Afrika'nın büyük bir bölümünün üzerinde devasa büyüklükte is, organik bileşik ve sülfat bulutları durmaktadır. Bu aerosollerin musonları etkilediği ve okyanus akıntılarını değiştirdiği şüphesizdir. Uyguladıkları radyasyonel kuvvet göz önüne alındığında, bunların etkisi muhtemelen, aerosollerin yayıldığı alanların çok ötesinde hissedilebilecek, mütevazı bir iklim jeomühendisliği programından beklediğimiz kadar önemlidir. Bu etkilerinin tam olarak ne olduğunu söylemek zor, ama *a priori* bir değerlendirme olarak, tüm etkilerin zarar verici olması pek olası görünmüyor.

Araştırmacıların, Asya'daki hava kirliliğinin 2010 ve 20'ler boyunca kontrol altında tutuluyor olmasının iklimsel etkilerini, Avrupa ve Amerika'nın 1950'lerden 80'lere kadar kendi etkilerini temizlediği zamankinden çok daha fazla merak edeceklerini düşünmek için, Crutzen'in anlattığı gibi büyük bir küresel pazarlık hayal etmenize gerek yoktur. Tasarlanmamış

etkiler azaldıkça, ülkelerin, bu azalmanın istenmeyen yan etkilerini küresel bazda değil, bölgesel veya yerel olarak ortadan kaldıracabilecek bulut tohumlama ve aydınlatma yollarına bakma ihtimali kesinlikle artacaktır.

Bu ihtimal küçük kalabilir. IMO'nun da gösterdiği gibi, araştırmacılar farkında olsa bile politikacıların bu tür şeyler hakkında düşünmeme yeteneği oldukça gelişmiştir. Ve bu iyi bir şey olabilir. Sorunu bu şekilde ortadan kaldırma tabii ki bir çatışma ihtimali doğurur (özellikle aşağı yukarı her şeyin çatışma ihtimali doğurduğu Güney Çin Denizi söz konusu olduğunda) zira küresel yaklaşımlarda olduğu gibi, bir ülkenin yararına olan değişiklikler diğerinin zararına olabilir.

Aynı zamanda, gerçekten de bu çatışma risklerinin doğrudan bir sonucu olarak, kasti bölgesel değişiklikler yapma yönündeki ulusal isteklerin, neyin kabul edilebilir olabileceğine dair ciddi stratejik tartışmalara yol açma olasılığı vardır. IMO'nun, deniz havasının gemi kaynaklı kükürdün temizlenmesinin iklim üzerindeki etkilerini tartışmamasının bir nedeni, kimse bu işten kazanacak veya kaybedecek özel bir şeyi olduğunu düşünmemesiydi. İnsanlar daha fazlasının tehlikede olduğunu hissettiklerinde pazarlık yapabilirler.

Gök Gürültüsünün Söylemediği

Hikayenin bu kısmını bu noktada yani bölgesel ile küresel, tesadüfi ile kasti, faydalı ile tehlikeli olan arasındaki karmaşada bırakabiliriz. Fakat buraya kişisel bir anekdot eklemek istiyorum. John Latham, Boulder, Kolorado'nun yaklaşık yirmi kilometre dışında ve bir kilometre yukarısında küçük bir şehir olan Gold Hill'de yaşıyor. Beş yıl önce, ormanlık bir yamaçtaki küçük evinin –aslında kütükten yapılmış kulübesinin– terasında, kıtayı batıya doğru ikiye bölen muhteşem sıradağ manzarasına bakarken birkaç hikaye dinledim ve birkaç tane de ben anlattım. Bunlar, renkli Gold Hill halkıyla ilgili hika-

yelerdi (belediye başkanı, bir katır, haşhaş, büyük içki şişesi ve anıtın harika olduğuyla ilgili). Ayrıca bazı ortak tanıdıklarımızın olduğunu fark ettik (Latham'ın, kendisi de bir şair olan karımıyla bazı ortak yanları var). Jeokliğin ortak üyesi olmanın ötesine geçen, aynı şeyin bir parçası olma duygusu vardı; belki de aynı *karass*'ın –Kurt Vonnegut'un dünyanın saçmalığının ve *Kedi Beşiği*'ndeki sonunun altını çizdiği ütöpik yalanlar dini olan Bokononizm'in takipçilerini birbirine bağlayan gizli cemaatin– bir parçasıydık.

Güneş batmaya hazırlanırken, biraz güneybatıda, gökyüzünü süsleyen ve diğerlerinden biraz daha büyük olan bir bulut bizim de dikkatini çekti. Bulut, akşamüstü gök gürültülü bir yağmur ihtimalini işaret eden kedi sırtı gibi kavisli bir şekilde gerilmeye başlamıştı. Bulut manzaralarını severim fakat belli bir bulutun gelişimini izlemek için nadiren zaman ayırıyorum. Onlarca yıldır onları inceleyen birisiyle sohbet ederken kaçırılmayacak kadar iyi bir fırsat gibi görünüyordu. On milyar trilyon damlacığa bölünmüş bin ton su gibi bir şeyin, kendisini, onu tutan havanın içinden geçen enerji akışına göre durmaksızın yeniden düzenlediğini, bazen sohbet ederek, bazen de dostça bir sessizlik içinde izledik.⁵⁰ Enerji akışı bulutu şekillendirdi; bulut da ısıyı emerek ve damlacıkları buharlaştırıp kenarlarında yoğunlaştırmak suretiyle serbest bırakarak enerji akışını şekillendirdi. Yeni loblar yanlardan kabarıp dışarı çıkarak dönerken ve alçalırken, bütün bulut bükülmeye başladı, tıpkı bir masada uzun süre kaldıktan sonra sırtını ve omuzlarını rahatlatmak için kendisini belinden kıvrıran birisi gibi. Her an açıkça ve tamamen aynı şey olmasına rağmen bir şekilden büsbütün başka bir şekle dönüştüğünü, kırk beş dakika boyunca izledik. Şekil değişir; işlem sürer.

50 Bu pasajı yazarken damlacıkların sayısını hesaplamak üzere Google Akademik'i makul sayıda veri için kontrol ettim; 1981 yazında Montana'daki bir bulutla ilgili bir NCAR çalışması buldum; bu makale tabii ki Latham'ın çalışmalarına referanslarla doluydu.

Üst kenarının bir bölümü, sahip olduğu belirgin yüzeyi kaybetmeye başladı. Bu, bir bulutun, buhara doymuş gövdesinin dışındaki daha kuru bir havaya girdiğinde çok hızlı buharlaşan sıvı damlacıklarından bazılarının yerini, kuru havada kalabilen buz parçacıklarının aldığına dair bir işarettir. Bu fark, ıslak bulutların neden buzlu bulutlardan çok daha belirgin yüzeylere sahip olduğunu açıklıyor. Bu değişim, buz parçacıklarının birbirine sürtünmesine bağlı olan şimşekler için iyi bir belirtiydi. Latham'ın bulut teorisine katkısının bir kısmı, gezegeni soğutmaktan çok şimşegi anlamakla ilgilendiği zamanlarda ortaya koyduğu, çok küçük ve çok daha büyük buz parçacıkları arasındaki etkileşimin, pozitif ve negatif yüklerin havayı yırtacak kadar güçlü bir elektrik alan oluşturacak şekilde birikmesine izin veren süreçte oynadığı kilit rolü gösteren bir modeldi.

John, son derece gözü pek olan ve en heyecanlı görünen şeylere yönelmekten çekinmeyen arkadaşı Paul MacCready ile daha büyük, çok daha korkunç bulutların kalbine doğru yaptıkları uçuşları hatırladı. Şahsen tanıyor olmaktan mutluluk duyduğum, sıradışı uçakların yaratıcı mucidi Paul'ün perde yapıcı uçaklar tasarlamakla ilgilenmiş olduğu beni şaşırtmıştı.

Fakat o gün, MacCready'nin hoşlandığı türden bir havadan mahrum kalacaktık, en azından bizim bulutumuz açısından. Tropopoza doğru uzantısı etkisini kaybetti, yanları sıkıştı, rüzgar yönündeki buz izi, bir gök gürültüsü bulutunun örs başına benzeyen haline hiç dönüşmedi. Güneş battığında oldukça küçülmüştü.

Kaliteli viski içerek karanlıkta oturduk, sevinçlerden ve üzüntülerden bahsettik. John bana, Mike'ının ölümünden; ıslak aynalardan söz eden, hayatı hiç yolunda gitmeyen, içindeki ve dışındaki güçleri dengeleyemeyen ve otuz yedi yaşında aşırı dozdan ölen oğlundan bahsetti. Ben de ona, en son o baharda birlikte başka bir İngiliz denizine bakarak vakit geçirdiğim arkadaşım Dominic'ten bahsettim. Ben Boulder'a uçmadan

birkaç hafta önce, doğum gününde sarhoş bir halde kendini uçurumdan aşağıya atmıştı.

Şimşek nihayet gerçekten geldiğinde –Bokonon olsa, olması gerektiği gibi, derdi– çok uzaktaydı, mümkün olduğunu düşündüğümden çok daha uzakta. Zar zor görebildiğim dağların silüetlerini aydınlattı; bulutların, dağ silsilesinin yüz kilometre aşağısındaki en iyi kısmının altında parlayıp söndü. Gerçekten o kadar uzaktı ki eşlik eden gök gürültüsü duyulmadı bile. O zamana kadar hep, fırtınalardaki gök gürültüsü ile şimşeklerin bir tür sinerjiye sahip olduğunu ve birbirlerinden ses hızıyla uzaklaşan dramlarını, baskın iki duyudan türettiklerini düşünmüştüm. Ve evet, kesinlikle böyle bir heyecan uyandırıyorlar. Greenwich'teki evimin yanında duran yüksek malikanenin paratonerlerine yıldırım düştüğünde, gök gürültüsünün anında kulaklarıma ulaşması gibi, bazen, çok yakın bir şeye düşen yıldırımın oluşturduğu haşmetli tam burada, tam şu anda şokundan bahsetmiyorum bile. Fakat gök gürültüsü olmadan şimşek çakmasının da bir ihtişamı; insanın kendisini duyurma zahmetine girmeyi gerektirmeyecek kadar ötesinde, uzakta, tanrısal bir şeyin oynadığına dair bir his var.

Bu, içinde yitik çocukların ve dilsiz şimşeklerin olduğu; iki adamın terk edilmiş bir maden kasabasına yukarıdan bakarak oturup hüznle, ve uzak okyanusların göklerini beyaza boyayacak gemiler inşa etme umuduyla konuşabildiği tuhaf bir dünyadır.

Ertesi sabah, ayık bir şekilde Boulder'a dönmeden önce Vonnegutlar hakkında biraz daha konuştuk. John, Kurt'ü; öfkesi, mizahı ve acımasız saçmalık duygusuyla birlikte severdi. Birbirlerine posta yoluyla muzip şakalar yaparlardı. Ama Latham'ın sesine gerçek bir canlılık getiren, kendisinden bir tür bulutu başka bir türe dönüştürmeyi öğrendiği Bernie'dir. İnsanlara yerküre sistemini harekete geçirecek yeni bir kaldıraç verdiği için değil, “tanıdığı en iyi adam” olduğu için.

III



İHTİMALLER

DÜNYANIN SONU

Bir füzeyi uyduyla yönlendirebilirim

Uyduyla

Uyduyla

Ve bir hedefi teleskopla vurabilirim

Teleskopla

Teleskopla

Ve gezegeni bir soykırımla yok edebilirim

Soykırımla

Soykırımla

Soykırımla

Soykırımla

Soykırımla

Bisikletimi gidonsuz sürebilirim

Flobots, “Handlebars” (2005)

Global ısınma, 1980’lerin siyasetini rahatsız eden ilk potansiyel iklim felaketi değildi. Bundan önce, bilim ve siyaset dünyasını karıştıran başka bir şey daha vardı. Bu tabloyu belirleyen kızgınlığın Paul Crutzen tarafından tetiklenmiş olması, bu noktada sürpriz olmamalı.

1970’lerde bazı fizikçiler, nükleer silahların ürettiği, grotesk tarzda yayılan yıldırımlara benzeyen ateş toplarının, çoğu stratosfere yükselecek büyük miktarda NO_x oluşturacağını fark etmişti. Nükleer bir savaşın, kuzey yarımkürede ozon tabakasını bu yolla üçte iki oranında incelteceği hesaplandı. Ozonla ilgili kaygıların önde gelen ismi Crutzen, 1982’de, bu çalışmayı gözden geçirmek ve güncellemek için görevlendirildi. Temel bilim hâlâ sağlam görünüyordu ancak 1970’ler boyunca askeri moda daha küçük, daha iyi hedeflenmiş nükleer savaş başlıklarına doğru kaydığı için, tehdit on yıl öncesine göre daha az korkutucu görünüyordu: Yeni silahların yarattığı daha küçük ateş topları stratosfere, atalarına kıyasla daha az NO_x kaldıracaktı. Crutzen ve arkadaşı John Birks, nükleer savaşın çevreyi, daha önce kabul edilen yaygın görüşün aksine, daha az tahrip ettiği mesajını vermek istemediklerinden çalışmalarının kapsamını savaşın getireceği diğer atmosferik değişikliklerle genişlettiler.

Daha önce tropikal orman yangınları üzerine çalışmış olan Crutzen, şehirlerde, petrol rafinerilerinde ve kırsal füze silolarının çevresinde çıkabilecek yangınların büyüklüğü üzerinde durdu –bunların hepsi, savaşta birincil hedeftir. O ve Birks’ün hesaplarına göre böyle bir yangın felaketi, İskandinavya’ya eş bir alanı kaplayacak ve diğer birçok kirleticinin yanında, patlayıcının kendisinden daha fazla NO_x üretecekti. Üstelik dumanı gökyüzünü karartacaktı; yüzeye ulaşan güneş ışığı miktarı en az yüzde 50, belki de yüzde 99’dan daha fazla düşecekti. Makalelerine “Nükleer Savaşın Sonra Atmosfer: Öğlen Alacakaranlığı” adını verdiler.

Crutzen ve Birks, bu kararmanın iklim üzerindeki etkilerine ayrıntılı olarak bakmadılar; yüzeyin soğumasından bahsetmediler. Ancak 1970’lerde volkanlar ile stratosferik kükürt ve iklim arasındaki bağlantıyı ortaya çıkaran bilim insanlarından bazıları, nükleer bir savaşın iklimsel etkilerini, aerosol davranış modelleri ile iklimi birleştirerek zaten çalışıyorlardı

çünkü bu, o zamanlar henüz yeterince incelenmemiş bir alandı. Bu araştırmacılar, Crutzen ve Birks'ü okuduktan sonra, hesaplamalarına is ve dumanı da eklediler ve yangınlar, buldukları sonuçların çok önemli bir parçası oldu. 1993'ün sonlarında, sonradan TTAPS olarak kısaltılan, Richard Turco, Brian Toon, Thomas Ackerman, James Pollack ve Carl Sagan, elde ettikleri sonuçları *Science* dergisinde bir makale olarak yayımladılar: "Nükleer Kış: Çoklu Nükleer Patlamaların Küresel Sonuçları."⁵¹

TTAPS'ın elde ettiği sonuçlar şaşırtıcıydı. Ekip, Amerika ve Sovyetler Birliği arasında beş bin megatonluk bir değiş tokuşun yani hayal edilebilecek en büyük olmasa da topyekûn bir savaşın, bir milyar tondan fazla yanıcı maddeyi ateşleyerek 225 milyon ton duman parçacığı üreteceğini hesapladı. Ayrıca bir kısmı stratosfere olmak üzere yüz milyonlarca ton da toz kalkacaktı. Bu, yüzeye ulaşan güneş ışığını yaklaşık yüzde 98 oranında azaltır ki bir perdeden çok bir kefene benzer. İs ve duman güneş ışığını emdiğinden perdenin üst kısımları ısınır. Güneş ışığı yukarılarda emildiği için de alttaki atmosfer soğur. Böylece, stratosfer için normal olan ancak yüzeye yakın yerlerde nadiren görülen soğuk katman üzerinde sıcak katman düzeni, yeryüzüne kadar uzanacak ve tüm kıtalara yayılacaktır.

Bu kararlı katman düzeni, normalde bulutları ve dolayısıyla yağışları üreten konveksiyonu azaltır. Yavaşlayan hidrolojik döngü, aerosollerin yıkanarak gitmesini durdurduğu için soğutma etkilerinin devam etmesini sağlar. TTAPS hesaplamasına göre bundan üç hafta sonra, kuzey yarımkürede yüzey sıcaklıkları -23°C'ye kadar düşer. Ekinler ölür, nehirler ve göller

51 "Nükleer kış" da "güneş radyasyonu yönetimi" gibi, TTAPS araştırmacılarının bazılarının çalıştığı NASA Ames Araştırma Merkezi'ndeki resmi çekingenliğin bir sonucu olarak oluşturulmuş bir terimdir. NASA, başlığında "nükleer savaş" veya "nükleer silah" kelimeleri olursa makalenin yayımlanmayacağına karar vermişti. Turco, "nükleer kış" alternatififiyle geldi ve böylece makaleye çok daha akılda kalıcı ve hatırlatıcı bir başlık kazandırdı.

donar. Sonuçta ortaya çıkacak ölü sayısı, savaşın öldürdüklerinden çok daha fazla olabilir. Stanford biyoloğu Paul Ehrlich, TTAPS makalesinin yayımlanmasından hemen önce, böyle bir olayın biyolojik sonuçlarını tartışmak için düzenlenen bir toplantıda, insan ırkının olası tükenişinden bahsetmişti.

İnsanlar iklim sorununu, tamamen emsalsiz olduğunu düşünerek veya Stockholm Mukavemet Merkezi Müdürü ve “küresel sınırlar” yaklaşımının etkili bir savunucusu olan Johan Rockström’ün dediği gibi, “medeniyetin geleceğini sahiden riske ettiğimizi bilen ilk nesil” olarak ele aldıklarında, bugünün önemini, geçmiş küçük düşürecek şekilde methetmiş oluyorlar. Medeniyet, 1950’lerden beri risk altında olmasına rağmen hâlâ yok olmadı.

Bu nükleer risk, iklim değişikliğiyle ilgili güncel endişeleri yalnızca öne çıkarmadı; bu endişeleri politik, bilimsel ve duygusal olarak şekillendirdi de. İnsan, bu ilk kaygıları bilmeden de iklim değişikliği hakkında endişelenebilir. Ancak iklim jeomühendisliğinin kökenlerini ve nasıl tasavvur edildiğini tam olarak anlamak istiyorsanız, böyle bir bilgi hayati önem taşır.

Nükleer silahların geliştirilmesi ve kullanımının, yerküre sistemi üzerinde Haber-Bosch sürecine göre çok daha küçük bir direkt etkisi oldu. Ancak olası etkilerinin görüntüsü ve ima ettikleri, bu silahları, insan ötesi bir gücü, diğerlerinden daha fazla tetikleyen bir teknoloji haline getirdi. Nükleer savaş olasılığı sadece büyüklük olarak değil, aynı zamanda tür olarak da farklı hissettiriyor. Bu artık, on dokuz ve yirminci yüzyıllarda dev gibi büyüyen ulusal ordu güçleri gibi, halk iradesinin bir tezahürü olarak görülemez; çok daha küçük ve çok daha geniştir; bilimsel, askeri ve teknik bir seçkinler grubu tarafından oluşturulur ve sadece birkaç politikacı tarafından tetiklenir. Yeniden değerlendirdiğinizde bu saçma gelebilir. Ama yine de bu saçmalığa adanmış denizaltılar, şimdiye kadar yapılmış bu en korkunç makineler, füze kapaklarının altında hazır bek-

leyen bütün ulusları yok etme gücüyle birlikte okyanuslarda her gün devriye gezmektedir.

Bu ölüm gemileri gözden uzak tutulacak şekilde tasarlanmış-
tır ve mümkün kıldığı şey çoğu zaman başarıyla akıllardan
çıkarılır. Ancak bu tür sistemlerin dünyaya getirdiği kırıl-
ganlık, başka bağlamlarda yeniden ortaya çıkıyor. Nükleer
silahlar, insanları benzer ölçeklerde zarar verebilecek başka
fenomenler düşünmeye teşvik etti. Soğuk savaşın ilk günle-
rinden itibaren insanlar, kendi gündemlerini parlatmak için
akla gelebilecek yeni kıyamet senaryolarından yararlanmaya
çalıştı. 1950'lerin Malthusçuları, bu nedenle, nükleer bom-
ba ile “nüfus bombası” arasında bir paralellik kurdu. 1950 ve
60'larda, NATO ve başka yerlerdeki “çevresel savaş” prog-
ramlarına katılanlar gibi başka insanlar, doğanın, bu bomba-
nın yaptığına benzer ölçüde ve benzer biçimde altüst edilebi-
leceği başka yollar aradılar. Tarihçi Jacob Darwin Hamblin,
kapsamı nükleer bir bombaninkine benzeyen başka imha
yolları hakkındaki bu askeri spekülasyonların, nükleer sava-
şa özgü korkuları, daha genel bir çevresel felaket korkusuna
dönüştürmede belli bir rol oynadığını savunuyor. Beşinci
bölümde bu düşünceyi tartışırken söylediğimiz gibi, ozon ta-
bakasının, içinde delikler açılacak kadar kırılgan bir şey
olduğu fikri, ilk kez bu askeri spekülasyonlarda ortaya çıktı.
Benzer şekilde, New York'u sular altında gösteren resimler,
ilk kez, Rusların Kuzey Kutbu'ndaki buzları eritebileceğine
dair korkuları göstermek için çizilmişti.

İster bu spesifik yoldan ister daha incelikli yaratıcı metastaz
yoluyla olsun, 1960'larda atom bombası bulutunun karanlık
ikizi olan yeni felaket kuramları yayılmaya başladı. Bilimkur-
gu, olası ve olası olmayan her türlü çevresel krizle uğraşmaya
başladı: Dünya sular altında kaldı, yandı ve kristale dönüştü;
yeşil namına bir şey kalmadı, depremlerle mahvoldu ve kur-
gusal zararlı bitkiler tarafından istila edildi. Bazen, örneğin
Cormac McCarthy'nin *Yol*'unda olduğu gibi, tam olarak ne

olduğu asla belirtilmedi ve belirtilmesinin gerektiği de düşünülmedi. Paul Briens, *Nuclear Holocausts: Atomic War in Fiction, 1895-1984* [Nükleer Soykırım: 1895-1984 Yılları Arasında Atomik Savaş Kurguları] adlı mükemmel bibliyografik çalışmasında şöyle yazdı: “Şaşırtıcı sayıda vakada, bir nükleer savaşın olup olmadığı belirsizdir. Nedeni açıklanmayan birçok belirsiz soykırım vardır.” Savaş ve kararan hava ikizleri birbirinden ayırt edilemedi.

Edebiyat eleştirmeni Fredric Jameson 1990’larda dünyanın sonunu hayal etmenin artık kapitalizmin sonunu düşünmekten daha kolay olduğunu söylediğinde bu elbette kısmen dünyanın sonuna dair tasavvurların bolluğundan kaynaklanıyordu ve bu bolluk, sera ısınmasıyla ilgili endişeler popüler olmaya başladığında insanların iyi hissetmesini sağlayan bir şeydi. Ancak aynı zamanda, doğal çevrenin gelecekteki bütünlüğü her zamankinden daha çok risk altında görüldüğünden, toplumu değiştirmek, özellikle soldaysanız, daha da zorlaştı. Siyasal dünyanın ve bu dünyanın ekonomik temellerinin radikal devrimci bir değişime, 1789’dan beri Avrupa düşüncesinin merkezinde yer alan bir tehdide veya vaade açık olabileceği fikri, 1945’ten sonra geri çekildi. Geç kapitalizmin, bunu açıklamak için başvurulabilecek, bilhassa çalışma üzerine kurulu kimliklerden tüketim üzerine kurulu kimliklere geçiş gibi, bir dizi özelliği vardır ancak hem politik bir gerçek olarak –süper güç çatışmasının olduğu bir dünyada devrim ve savaş aynı anlama gelebilir– hem de daha derin bir değişim hayalinin itici gücü olarak nükleer korkunun da bir rolü vardır.

Antropolojiye uyum sağlayan bir tarihçi olan Joe Masco, nükleer çağın birbiriyle çelişen iki geleceği beraberinde getirdiğine dikkat çekti: uzak bir zamanda kavuşulacak olan inanılmaz bir bolluk ve her zaman sadece birkaç dakika uzaklıkta olan benzersiz bir yıkım. Bu ani kıyameti savuşturmak, şimdiki sürekli olarak korumak ve onu Buz-Dokuz’undaymış gibi dondurmak anlamına geliyordu. Dünyanın sonunu hayal et-

medeki kolaylığın artması ile gidişatın hangi yöne doğru olacağını tahmin etmenin zorluğu birbirinden bağımsız değildir. Bunların her biri bir dereceye kadar diğerinin nedenidir.

Nükleer savaşın sonuçlarıyla ilgili korkular, çevresel felaketle ilgili daha genel bir endişenin ortaya çıkmasına yardımcı olduysa da bu tür bir savaşın nedenleriyle ilgili endişeler, teknolojiye karşı duyulan yeni bir güvensizliği besledi. 1940 ve 50'lerdeki nükleer silah korkusu, bir düşmanın bunları kullanarak saldırmasıydı. Ancak zamanla, bir savaş içinde gerçekleşecek nükleer soykırım düşüncesi önemini yitirmeye başladı. Pat Frank'ın 1959 tarihli çok okunan romanı *Alas, Babylon*'daki [Eyvah, Babil] kötü son, bir nükleer savaştan kurtulan yoksul, hastalıklı insanların aslında o savaşın kazananları olduklarını keşfetmeleridir. Soykırımlar artık bir savaşa giderek daha az ihtiyaç duyuyorlar. Bir generalin cinnetinden, kazayla çalıştırılan bir devreden, bir programcının hatasından hatta bilgisayarların kendisinde ortaya çıkan bir kötü niyetten kaynaklanabiliyor.

Nükleer çağın, insanın doğayla ilişkisi, muazzam teknolojik riskler ve çevresel felaketler hakkındaki fikirler üzerindeki etkisi, insanların jeomühendislik hakkında düşünme biçimlerini koşullandırıyor. Nükleer savaş korkusu beraberinde insanların çevre hakkındaki düşüncelerini değiştiren genel bir felaket korkusunu da getirdi. Nükleer enerjiyi, iklim değişikliğine karşı koymanın hayati bir parçası olarak görenlerin karşılaştığı sorunlardan biri, iklim felaketinden en çok endişe duyanların çoğunun nükleer teknolojiye de benzer şekilde korkmalarıdır. Bu muhtemelen bir bakıma aynı korkudur. Jeomühendislik de aynı endişe kaynağına giriyor. İklim jeomühendisliği, nükleer bombalar şöyle dursun, nükleer teknolojiye bile ihtiyaç duymaz. Fakat aynı türden bir tanrısal güç olduğu varsayımından muzdariptir. Jeomühendislik kolayca, Dr. Strangelove duyarlılığını ve "ben, dünyaların yok edicisi, şimdi ölüm oldum" kibrini somutlaştıran, teknokratik, stratosferden geçen gümüş

ok hırsıyla Stratejik Hava Komutanlığını büyüleyen, koruduğunu iddia etmesine rağmen hayatlarını riske attığı kitlelerin seslerine karşı sağır eden veya onları küçümseten bir şey olarak okunabilir. O da bilimsel, askeri ve teknik bir grup seçkinin oluşturduğu, kontrolü –eğer kontrol edilebilirse– sadece birkaç politikacının elinde olan bir şey gibi hissettirebilir. Bilgiden gelen gücün, başka hiçbir ahlaki gerekçeye ihtiyaç duymadığı, Faustçu bir anlaşmanın bir sonucu gibi görülebilir. Füzeyi fırlatan hatalı bir transistör gibi, Burpelson'da bombacıları arıza güvenliğinin ötesine geçiren deli gibi, oyunun teorisyeninin oyunu kaybetmesi gibi, umarsız bir şey gibi gelebilir.

İklim jeomühendisliğinin esasında mevcut olan zorunlu bir gerçek olduğunu düşünseydim, bu kitabı yazmazdım. Ancak jeomühendisliğin nükleer enerjiyle uyumunun gücünü görmezden gelmek aptalca olur zira bunun önemli bir tarihi temeli vardır. Kasıtlı iklim değişikliği fikri, soğuk savaşın en başından beri nükleer silahlanma düşüncesiyle bağlantılıydı.

Kontrol ve Felaket

Tamamen programlanabilir ilk elektronik bilgisayar olan ENIAC'a, 1945 yılında, daha sonra Edward Teller tarafından lanse edilen hidrojen bombası tasarımının bir simülasyonu olarak ilk problemi verildi. Bu görevi, Manhattan Projesine bağlı Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsünde çalışan matematikçi John von Neumann belirlemişti. Von Neumann, bilgisayarın problem çözme potansiyelinin o günün en acil sorunları için kullanılması gerektiğine karar vermişti. İşte bu yüzden o, hidrojen bombasının milyonlarca delikli kartı, ENIAC'ın devrelerinde dönerken bile bu makinenin ve halleflerinin hava durumunu tahmin ve kontrol etmek için nasıl programlanabileceğini araştırıyordu.

Takip eden yıllarda von Neumann, hava durumunun zamanla nasıl değişeceği sorusunu, makinenin kaldırabileceği bir

dizi hesaplamaya dönüştürmek için, sonunda Jule Charney adında parlak bir genç meteorolog tarafından yönetilen bir ekip kurdu. Hesaplamalar 1950’de başladı. Hatalar giderildikten sonra bile kullanıma hazır bir başarı elde edilemedi çünkü yirmi dört saat sonraki bir hava tahmini için otuz altı saat süren hesaplar yapmak gerekiyordu. Fakat bilgisayarların böyle şeyler yapabileceği, bir ilke olarak ortaya çıkmıştı. Makine, o yılın sonlarına doğru, gerçek bir tahmin olarak görülebilecek sonuçlar bile üretti.

Atmosferi modellemek için gereken bilgisayar donanımı, bomba tasarımı için gerekenle aynıydı. Yazılım yaklaşımları da benzerdi. İklim modelcilerinin 1950’lerde diferansiyel denklemleri programlamak için kullandıkları ders kitabı, silah üreticilerinin içe doğru patlayan plütonyum çekirdeklerinin modellerini oluştururken kullandıkları ders kitabıyla aynıydı. Ve daha derin bir tamamlayıcılık daha vardı. Atom bilimi, nihai bir güç vadederken iklimbilimi de nihai bir kontrol vaadinde bulunuyordu.

1906’da radyum hakkında övgüler yağdıran Frederick Soddy, atomun gücünün o kadar büyük olduğunu hayal etmişti ki, onu kullananlar “çöl halindeki bir kıtayı dönüştürmeyi, donmuş kutupları çözmeyi ve tüm dünyayı tek ve mutlu bir cennet bahçesi haline getirmeyi” başarabilirdi. Hiroşima ve Nagazaki yıkımlarından birkaç ay sonra, UNESCO’nun ilk genel sekreteri olan İngiliz biyolog Julian Huxley, *Madison Square Gardens*’taki bir dinleyici kitlesine, yeni atom enerjisi çağının tam da bunu yapmayı vadettiğini anlatıyordu. Atom enerjisi, çöl halindeki kıtaları dönüştürme konusunda, “(Sahra’nın) uçsuz bucaksız topraklarındaki sayısız çukura, buzul çağında sahip olduğu verimliliğe yeniden dönene kadar, tatlı su pompalamayı” mümkün kılacaktı. Donmuş kutuplarla ilgili olarak, “Kutup bölgelerinin üzerinde, uygun bir yükseklikte, en fazla birkaç yüz atom bombası patlatarak (...) kuzey ılıman bölgelerin iklimini değiştirebileceğimizi kaç kişi biliyor[du]?”

‘Üretilen muazzam ısının bir sonucu olarak, yüzen kutup buz tabakası eriyecek ve *erimiş olarak kalacaktı*.⁵²

Huxley sadece gücü övmekle kalmıyor, hem teknik hem de politik anlamda kontrolü de övüyordu. H. G. Wells’in, Sodd-y’nin keskin etkisi altında yazdığı ve Huxley nesli İngiliz bilimsel entelektüelleri için okunması gereken bir kitap olan *The World Set Free*’de iddia ettiği gibi, atomun gücü sadece tek bir dünya hükümetinin sağlayabileceği yeni bir tür kontrol gerektiriyordu. Huxley, yeni kurulan BM’de üst düzey bir yetkili için şaşırtıcı olmayan bir şekilde Bernard Baruch’un tüm nükleer silahların kontrolünü ele alacak bir süper hükümet organı fikrini destekledi ve bunu böyle bir dünya hükümetine giden bir yol olarak gördü. Ve dünya bir kez bu şekilde kontrol edildiğinde, iklim de öyle olabilirdi. Waldemar Kaempffert, *New York Times* okuyucularına, Huxley’in Sahara’yı sulama ve Kuzey Kutbu’nu nükleer bombalarla vurma fikirlerinin bağlamını, böyle bir hükümetin “dünya çapındaki sosyal planlamasının” bir parçası olarak açıkladı. Bu kontrol, körfez akıntısından genoma kadar uzanacaktı. Huxley, iklimin bilimsel olarak iyileştirilebileceğine inandığı gibi, insan sermayesinin de bilimsel olarak iyileştirilebileceğine ikna olmuş bir öjenistti.

Von Neumann’ın politikası oldukça farklıydı. Baruch planı için zamanı yoktu. Princeton’daki ofisi, von Neumann’inkinin yanında olan Albert Einstein, Amerikan Bilim İnsanları Federasyonu’nun dünya hükümeti manifestosu “Ya Tek Bir Dünya ya da Hiç”e katkıda bulunurken, von Neumann, henüz nükleer bir güç olmamış ve kendi memleketi Macaristan’ı işgal eden Sovyetler Birliği’ne karşı önleyici bir nükleer savaşı

52 Kalıcı değişime yapılan vurgu, Huxley’in Arktik buzun devrilme noktası modelinden geliyordu. Bu buzun, buzul çağının bir kalıntısı olduğuna inanıyordu ve eritilirse yeniden oluşmayacaktı. Bu, o günün 300 ppmlik karbondioksit dünyasında doğru olmayabilir. Ancak günümüzün 400 ppm veya daha fazla karbondioksit seviyeli dünyasında pekala doğru olabilir.

savunuyordu. Hâlâ bir kontrol ihtiyacı görüyordu ama bunu, en azından kısmen, bilgisayarda aradı: endüstriyel süreçler ve endüstriyel işçiler üzerinde kontrol; küresel ekonomi üzerinde kontrol; iklim üzerinde kontrol.

1955'in sonlarında araştırmacılar, bu kontrolü desteklemek için gereken modelleme türünü tartışmak için Princeton'da toplandılar. Bu, von Neumann'ın "sonsuz tahmin" dediği şeydi, yani bilgisayarları yalnızca yarının hava durumunu tahmin etmek için değil, aynı zamanda iklimin kalıcı özelliklerini, artık iklimbilimi için merkezi olan GCM'ler (Küresel İklim Modeli) gibi bir bütün olarak modellemek amacıyla kullanmak için. Robert Oppenheimer açılış konuşmasında, toplantıyı doğrudan atom bombasının ilk tasarımlarını ortaya koyan Los Alamos toplantısıyla karşılaştırdı. Bu gerek geniş kapsamı gerekse muhtemel askeri uygulaması açısından, karşılaştırılabilir hırs ve öneme sahip tek teknolojiydi.

Bu konferanstan birkaç ay önce, Haziran 1955'te, von Neumann, *Fortune* için nükleer güç ve dünyanın sonu hakkındaki fikirleriyle birlikte iklim kontrolü, savaş ve gelecek hakkındaki düşüncelerinin de, en azından kamuoyuna, daha eksiksiz bir şekilde ifade edildiği bir makale yazdı: "Teknolojiden Kurtulabilir miyiz?"

İlk satırında "büyük kürenin kendisine" atıfta bulunan makale, *Fırtına*'nın sonunda, büyücü Prospero'nun asasını kırıp tam bir güç ve kontrol sahibi olduğu ada dünyasını terk ederek daha küçük ama daha iyi bir adam olacağı büyük dünyayı seçtiği monologdan ilham alınmış gibi görünüyor. Şu farkla ki von Neumann'ın versiyonunda vizyon tersine çevrilmiştir çünkü asa kırılmaz, sığınılacak daha büyük bir dünya da yoktur.

Von Neumann, teknolojik gücün büyümesinin, bir zamanlar bu teknolojiyi barındıran ilerleme odaklı, kapitalist, teknolojik uygarlığın egemen olduğu sürekli genişleyen alanla dengelendiğini yazdı. Daha önce teknolojik güçlerin yayılabileceği

yeni yerler ve faaliyet gösterebilecekleri daha büyük kurumlar yani “coğrafi ve politik yaşam alanları” hep vardı. Oysa artık yok. “Hem kendi anlamıyla hem de mecazi olarak, yerimiz tükeniyor. Sonunda, Dünya’nın sınırlı ve gerçek boyutunun etkilerini kritik bir şekilde hissetmeye başladık.” Dünya tabut köşeliydi; Prospero’nun hücresi, güçleri arttıkça küçüldü.

İklimsel bilgisayar modelleri, hem dünyanın küçülmesinin sembolleriydi çünkü Dünya’nın işleyişi artık bir odaya sığabilen bir şeyle temsil edilebiliyordu, hem de onun ilerlemesini sağlayan araçlardı. Von Neumann, “Dünyanın herhangi bir noktasından başka bir noktasına hedeflenebilecek” güçlerden söz ederken tabii ki kıtalararası balistik füzeleri kast ediyordu zira bu füzelerin geliştirilmesinde Atom Enerjisi Komisyonu’nun bir üyesi olarak kilit rol oynuyordu. Ama aynı zamanda, “Kuzey Kutbu’nun, ılıman bölgelerde havayı kontrol edebileceği veya bir ılıman bölgedeki önlemlerin diğer bölgeleri kritik bir şekilde etkileyebileceği” yolları ortaya çıkaracak iklim modellerini de düşünüyordu. Bu tele-bağlantıların üstesinden gelmek, “milletlerin gidişatını, nükleer veya başka bir tür savaş tehdidinin zaten yapmış olduğundan daha kapsamlı bir şekilde birleştirecekti.”

Ancak iklim kontrolünü vadederken, teknolojinin kendisinin kontrolü için hiçbir imkan ya da zararlıların yerine faydalı teknolojilere öncelik vermenin herhangi bir yolunu sunmadı. Von Neumann’a göre, teknoloji daima biraz daha güçleniyor ve nasıl kullanılacağına hep kayıtsız kalıyordu.⁵³ Makalesinin sonunda, “insan türü daha önce benzer testlere tabi tutuldu ve doğuştan gelen bir yeteneğe sahip olduğu görülüyor” şeklindeki güven verici fikre ki bu, makalenin gövdesini oluşturan, küçük dünya büyük teknoloji tuzağının emsalsiz doğası hakkındaki iddiayla doğrudan çelişen bir fikridir ve bunun

53 Bugün von Neumann’ın hatırlandığı şeylerden biri, kendi kendini üretebilen ve sayıları üstel olarak artan teorik “von Neumann makineleri”dir. Bu, kendi kendine verdiği bir ödül olarak teknolojinin son noktasıdır.

için gereken beşeri niteliklerin sabır, esneklik ve akıl olduğu klişesine geri çekilir. Bu bir inançtan değil ama görevden kaynaklanan bir iyimserlik gibi görünüyor. Makaleyi okurken, alttan alta tamamına sinmiş olduğunu gördüğüm korkuyu maskeleyemeyi başaramıyor. On yıl önce, Hiroşima ve Nagazaki'nin bombalanmasından kısa bir süre sonra, von Neumann, AEC'nin ilk başkanı Lewis Strauss'a yazdığı bir mektupta, süpernovaların astronomların düşündüğü gibi yıldız evriminin kaçınılmaz son noktası olmak yerine, teknolojik evrimin doruk noktası, "Başka güneş sistemlerindeki akıllı varlıkların bilimde şu an bulunduğumuz noktaya ulaştığına ve birlikte yaşama sorununu çözemedikleri için en azından kozmik intihar konusunda uzlaşmayı başardıklarına dair kanıt" olabileceği konusunda spekülasyon yapmıştı. Sonraki makalenin altında da aynı can sıkıcı düşünce yatıyordu. İnsan, hayatta kalma problemine verdiği kişisel cevabın "muhtemelen hayır" olduğunu düşünmeden edemiyor.

Kıyamet ve İnkâr

"Teknolojiden Kurtulabilir miyiz?"in yayımlanmasından kısa bir süre sonra, von Neumann'a metastaz yapmış kanser teşhisi kondu. Katıldığı son bilimsel toplantı, Oppenheimer'ın konuşma yaptığı sonsuz tahmin konulu 1955 semineriydi ve durumunun kötüye gitmesinin ardından 1957'nin başlarında öldü. Onun mirası dünyanın tüm bilgisayarlarında görülebilir ama bu miras muhtemel hiçbir yerde nükleer silah tasarlayan laboratuvarlardakinden daha fazla değildir.

Teller, ilk simülasyondan itibaren, bilgisayarın buna benzer tüm işler için çok önemli olacağına ikna oldu ve Livermore 1950'lerde onun iktası olarak kurulduğunda, laboratuvarın en iyi bilgisayarlara sahip olmasını bir öncelik haline getirdi. Bu taahhüt hâlâ devam ediyor. 2014'ün sonunda Livermore dünyanın en güçlü üçüncü ve dokuzuncu süper bilgisayarlarına

sahip olmakla övünüyordu. Teller ayrıca von Neumann'ın iklim kontrolüne dair fikirleriyle de ilgilenmeye devam etti ve laboratuvar bilgisayarlarının GCM'ler için de kullanıldığından emin oldu (bugün olduğu gibi). Livermore'un ilk GCM'sini yaratan Chuck Leith, Teller'in 1960'lar vizyonunu, von Neumann'ın aynen 1940'larda belirttiği şekilde açıkladığını hatırlıyor: Atmosfer fiziğinin kararlı yönleri, nasıl davranacağını tahmin edilebilmesini, kararsız parçaları ise kontrol edilebilmesini sağlar.

Ama öyle olmadı. Yeni bilgisayar modelleme teknikleri etrafında gelişen iklimbilimi, başlangıçtaki kontrol ilgisine ortak olmadı; bunun yerine Dünya hakkındaki temel gerçeklerle ilgilenen ve Amerika'nın seçkin akademik kurumlarında sürdürülen "saf" bir bilim haline geldi. Bulut tohumlama ve benzerleri aracılığıyla hava durumunu değiştirmeye hâlâ biraz ilgi vardı. Ancak Cirrus Projesi'nin zorlu yıllarından sonra, kıtanın iç kesimlerinde daha az prestijli üniversitelerin bulunduğu bölgeye doğru çekilerek giderek daha marjinalleşti ve büyük bir teorik ya da numerik destekten mahrum kaldı. Hava kirliliğinin iklime etkisiyle ilgili endişeler arttıkça, kirlilik çalışmalarıyla bulut tohumlama çalışmaları giderek aynı alt disiplinin -kasıtlı ve kasıtsız hava değişikliği biçimleri- bir parçası olarak görülmeye başlandı. İşlevsel iklim kontrolü fikri tamamen ortadan kalkmadı ama süresiz olarak ertelendi. Akademik bilim insanlarının dediği şey, kendi gündemlerini belirledikleri hemen hemen her alanda söyledikleri gibi, şu an için ihtiyaç duyulan şeyin temel araştırmalar olduğuydu.

Von Neumann'ın diğer projesi olan nükleer silahların, bu modellerde tasvir edilen iklim üzerinde etki yaratabileceği düşüncesi ne iklim ne de silah bilimcilerinin ilgilendiği bir fikirdi. Halk, nükleer silahların bunu yaptığına büyük oranda ikna olmuştu. Atmosferik testler sırasında patlamaların ortaya tuhaf yeni hava modelleri çıkardığına dair iddialar vardı. Bazı bilim insanları bu fikri onaylasa da çoğu onayla-

madı. Yaşlı Soddy, inanılmaz bir şekilde, radyoaktif madde salımının atmosferin iyonlaşmasını değiştirdiğini savundu. Şiddetli bir savaşın getirebileceği çok daha fazla sayıda patlamanın iklimsel etkileri de ayrıntılı bir biçimde araştırılmadı. Buz çağlarını oluşturan sebeplerin, pek rağbet görmeyen bir araştırma alanı ile bir salon oyunu olmak arasında bir şey olduğu zamanlarda, nükleer savaşların dünyayı iliklerine kadar dondurma ihtimalinden neredeyse hiç söz edilmedi.

Bu merak eksikliği, soğuk savaş nükleer yapılanmasına iyi hizmet etti. Nükleer silahların savaşlarda kullanılma ihtimali, patlamaların etkilerinin sınırlı olmasını gerektiriyordu. Bu nedenle, nükleer bir savaşın iklimi değiştirme olasılığı, bu soruya en yakın olanların, sorunu olduğundan küçük göstermek istedikleri bir soruydu. Nükleer savaşın dolaylı etkileri üzerine yapılan araştırmalar tekrar tekrar, bu etkilerin doğrudan yıkımdan çok daha küçük olduğunu buldu. Tarihçi Paul Edwards'ın belirttiği gibi, "şaşırtıcı bir şekilde, nükleer hasar tahminleri (...) nükleer patlamaların toz, ateş ve duman etkilerini neredeyse hiç hesaba katmadı. Araştırmacılar bunun yerine, kendi kendilerine oluşturdukları şaşırtıcı bir kurumsal körlük vakasıyla, yalnızca şok dalgaları ve serpinti üzerine odaklandılar."

Buradaki ironi çok açıktır. Atomun gücü, eriyen buzulları ve çiçek açan çölleri hayal eden geniş kapsamlı yeni teknokratik tutkuyu destekliyordu. Yerküre sistemini değiştirme potansiyeli atomun Prometeyen cazibesinin bir parçasıydı. Aynı anda yürütülen nükleer silah programını sürdürme politikası, insanların, nükleer enerjinin fiili uygulamalarının, dünyanın o ya da bu ölçüde sonunu getirmek için kullanılsalar bile, aslında iklimi değiştirmeyeceğine inanmalarını gerektiriyordu. Livermore ve Sovyetler Birliği'ndeki insanlar, nükleer patlayıcıların muhtelif "barışçıl" kullanımlarını, örneğin kanallar ve limanlar inşa etmek gibi, tasavvur ettiler ancak bunları iklime uygulamanın bir yolunu asla bulamadılar.

1960'lardan 90'lara kadar Livermore'da iklim modelleri üzerinde çalışan ve Amerika'nın Küresel Değişim Araştırma Programı'nı yürüten Mike MacCracken, bu konuyu ortaya koyan bir anekdot anlatıyor. Kaliforniya 1976-77'de şiddetli bir kuraklık yaşadı. Sıcak bir yaz öğleden sonrasında MacCracken, bir saat içinde Teller'in ofisinde olmasını isteyen bir telefon aldığı anda, Teller'in bu sorunun nükleer patlayıcılarla nasıl çözülebileceğini soracağını biliyordu: "Sadece biliyordum." Bu yüzden, bu problemin kapsadığı enerjiler hakkında bir fikir edinmeyi amaçlayan bir dizi hesaplama yaptı. Kaliforniya'nın kaybettiği ve dolayısıyla ihtiyaç duyduğu su miktarını buharlaştırmak için gereken enerjiyi hesapladı. Bazı meteorologların kuraklık için suçladığı Pasifik'teki soğuk bölgeyi birkaç derece ısıtmak için gereken enerjiyi hesapladı. Diğer meteorologların suçladığı kışın oluşan yoğun kar örtüsünü eritmek için gereken enerjiyi hesapladı. Bütün hesaplamalar benzer büyüklükte bir cevapla sonuçlandı: Amerikalı bilim insanlarının o sırada kullandıkları enerji birimiyle 10^{21} kalori ki bu, Teller'in deyimiyle bir milyon megatonluk nükleer bombanın üreteceği enerjiye eşdeğerdi.

Her biri aynı türden tuhaf bir rakam oluşturan bu üç farklı yaklaşım, Teller'in bu soru üzerinde ilerlemesine engel oldu. Ve bir bütün olarak yerküre sisteminin enerjileriyle karşılaştırıldığında, nükleer silahların oldukça cılız kaldığı doğrudur. Ancak önceki bölümlerde gördüğümüz gibi, onlardan daha cılız güçler bile küresel ölçekte bir fark yaratabilir. Sadece, nükleer dünyada kimse böyle kaldıraçlar aramıyordu. İsin "kendi kendine yükseldiğini" kanıtlaması durumunda –yani içinde bulunduğu havayı ısıtarak, yüzeye geri dönmesini bekledikten uzun süre sonra bile havada kalmaya devam etmesi durumunda– uygulanabilecek türden bir kaldıraç, Crutzen ve TTAPS zamanına kadar keşfedilemedi.

Geriye dönüp baktığınızda, merakın bu şekilde kendi çıkarları doğrultusunda kısıtlanmasını, fakirleşmiş bir entelektüel

yaklaşımın ve ordu ile ilişkileri nedeniyle zayıflamış bir topluluğun kanıtı olarak görmek kolaydır. Vizyon üzerindeki bu tür kısıtlamaların, kesinlikle o spesifik grup ve döneme özgü olmadığını kabul etmekse zordur. Bugün insanlar gözlerinde at gözlüğü olmadığını düşünüyorsa, bunun nedeni sadece at gözlüklerinin işlerini iyi yapıyor olması olamaz mı? Günümüz iklim araştırmalarının, nükleer silahların olası iklimsel etkilerini gizleyenlere benzer şekilde, patron istemiyor tarzı nedenler yüzünden tespit etmekte başarısız olduğu etkiler, beklenmeyen gelişmeler ya da olumsuzluklar nelerdir?

Nükleer savaşın iklimsel sonuçlarına ilişkin kasıtlı körlüğe geri dönersek, öyleyse neticede nükleer kış olasılığı nasıl keşfedildi? Cevap, bir ironinin üzerine başka bir ironi koyuyor. Nükleer kıyamet korkularının şekillendirdiği hayal gücünün felaket senaryolarına yönelişi, romanlar, afet filmleri ve yaygın korkuyla sınırlı değildi. Bilimin seyrini de şekillendirdi. Nükleer patlamalar üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen özel nüfuzlar, dünyanın sonunun gelebileceği diğer yollara dair daha kapsamlı bir bilimsel anlayışa neden oldu. Sonuçta nükleer kış öngörüsüne yol açan şey, bu tür doğal felaketlerin olası örneklerinin araştırılmasıydı.

Yirminci yüzyılın ilk yarısında jeoloji, ideolojik ve metodolojik olarak “tekbiçimciliğe” yani Dünya’nın özelliklerinin değişmesine rağmen bu özelliklerin ortaya çıktığı ve yok olduğu süreçlerin sabit olduğu inancına bağlıydı. Ancak 1950’lerden itibaren, Dünya’nın geçmişinin modern zamanlarda görülmeyen türden ani felaketlerle şekillendiğine dair terkedilmiş düşünceye geri dönmeye başladı. 1970’lerin başında Crutzen’in, NO_x’in stratosferik ozon üzerindeki etkilerine dair çalışması yayımlanınca, Columbia’da fizikçi (ve Amerikan Silahlı Kuvvetler danışmanlarından oluşan JASON grubunun bir üyesi) olan Mal Ruderman, von Neumann’ın otuz yıl önce yaptığının tam tersini yaptı: Von Neumann’ın süpernovalara bakarak nükleer savaşları görmesine karşın Ruderman

nükleer savaşlara baktı ve süpernovaları gördü. Yakınlardaki bir yıldız patlamasında salınan radyasyonun, bombaların yaptığı gibi, stratosferik NO_x yaratabileceğini ve bunun, ozon tabakasına ciddi bir zarar vermeye yetecek boyutta olabileceğini hesapladı. Ardından, astronomik bir nedenden kaynaklanan bu tür hasarların, fosil kayıtlarında görülen ani yok oluş vakalarını açıklayabileceği konusunda spekülasyon yaptı.

Henüz bunun gerçekten böyle olduğuna dair bir kanıt yok.⁵⁴ Ancak süpernovalar ile yok oluşlar arasında bir bağlantı olabileceği fikri, paleontolog Walter Alvarez'in ve onun aracılığıyla, Manhattan Projesi'ndeki bomba yapımcılardan birisi olan babası Luis'in aklına 1970'lerde takıldı. Dinozorların neslini tüketmiş olabilecek bir süpernovanın izotopik kanıtını ararken, sonunda, bunun yerine dünyanın her yerine yayılmış iridyumca zengin bir kil tabakası buldular. İridyum, Dünya'nın kabuğunda nadir olmasına rağmen asteroitlerde yaygındır ve Alvarezler, bunun nereden gelmiş olduğuna şöyle karar verdiler: Bir asteroit veya belki de bir kuyrukluyıldız, altmış altı milyon yıl önce Dünya'ya çarpmış ve o kadar çok toz fırlatmıştı ki, güneşi engellemiş ve bitkilerin büyümesini yıllarca durdurarak biyosferin çökmesine neden olmuştu.

Asteroitlere Dünya tarihinde bir rol vermek tartışmalı bir şeydi. *New York Times*, dünyevi olayların nedenlerini göklerde aramanın yalnızca astrologların işi olduğu düşüncesine dayanarak bu fikre karşı çıkarken, aslında, bilim insanları arasında başlangıçta yaygın olan bir görüşü yansıtıyordu. Oysa çarpma fikri ansızın ortaya çıkmamıştı. 1960'larda, jeolojik ilkelerin Dünya'nın ötesindeki gezegenlere uygulanmasını teşvik etmek için herkesten çok çalışan bir jeolog olan Gene Shoemaker, bazı doğal kraterlerin asteroitlerin çarpmasıyla oluştu-

54 Buna rağmen MS 1054 yılında Çinli gökbilimciler tarafından gözlemlenen bir süpernova, aynı yıla tarihlenen bir Antarktika buz çekirdeğinde yer alan NO_x zengini bir tabaka ile oldukça dikkate değer bir bilimsel tutarlılık içinde ilişkilendirilmiştir.

ğunu göstermek için nükleer patlamaların meydana getirdiği kraterler üzerinde yapılan çalışmaları kullandı. Gökbilimci ve jeologlar, bu ihtimali çoğunlukla ya görmezden geliyor ya da reddediyorlardı. Söz konusu çalışmalar, Apollo döneminde, Ay'ın kraterlerinin ve Mars'ın yeni keşfedilen kraterli dağlık bölgelerinin çarpmalarla oluştuğunun anlaşılmasıyla birleşince, bazı bilim insanlarının bu fikri ciddiye almasını sağladı. Bu, Alvarezlerin çalışmasının yolunu hazırladı.

Shoemaker'ın yaptığı iş, saf ve saygın bir bilimdi. Bu bilim, Kaliforniyalı yazarlar Larry Niven ve Jerry Pournelle'in 1977 tarihli çok satan romanı *Lucifer's Hammer*'da [Lusifer'in Çekici] görüldüğü gibi, popüler kültürün geniş çapta ilgilendiği felaket senaryolarıyla tutarlıydı. *Lucifer's Hammer*, bir kuyruklu yıldızın Dünya'ya çarpış hikayesini anlatırken Arthur Hailey gibi o zamanlar popüler olan yazarların gişe rekorları kıran formatını ve *Poseidon Macerası* ve *The Towering Inferno* [Yükselen Cehennem] gibi felaket filmlerinin görsel hayal gücünü kullandı. Buzul çağıyla ilgili ipuçları içeren harika bir bilimkurgu olan ve bir kuyruklu yıldız çarpmasının nelere yol açabileceğini anlatan hikayesi, ciddi bilimin bu tür şeyler üzerinde neredeyse hiç düşünmediği bir zamanda üretilmişti ve kitabın benzer fenomenleri incelemeyi sürdüren bilim insanları tarafından hâlâ hatırlanmasının nedeni de budur. Luis Alvarez'in halka açık bir konferansında belirttiği gibi, “*Lucifer's Hammer* dinazorları öldürdü.” Romanda bilimin, Amerika'nın batı kıyısındaki kültüre yönelik muhafazakar karşı anlatının bir parçası olarak kullanılması, belki de daha az tasvip edildiği için daha zor hatırlanıyor olabilir. Dünyanın sonu hem bir kurtuluş hem de bir ceza olmuştur; çevreci hippiler ve şehirli Afro-Amerikalılar yamyamlaşmaya başlamıştır. Kuyruklu yıldızın neden olduğu tsunami, denizden gelip Santa Monica sörfçülerini korkunç sonlarına taşımadan çok önce, Los Angeles kanyonlarında bin yıldır paranoyak bir zehirli hava sızmaktadır.

Titanların Gelenekleri

Burası, aşağı yukarı, bu bölüme başlarken ulaştığımız noktadır. Alvarez hipotezi, TTAPS ekibinin çekirdeğini oluşturacak olan iklim modelcilerini, atmosfere çok büyük miktarda toz bırakmanın etkilerini araştırmaya yöneltti. Alvarez çarpmasının muazzam gücü, böyle bir çarpmayı, geri çevrilmesi mümkün olmayan nükleer bir savaşın karanlık ikizi haline getirdiği için, dinozorları öldüren bu toz bulutu üzerindeki çalışmalar, nükleer bir savaşın ardından gelecek enkaz bulutunun neler yapabileceğine dair çalışmalara yol açtı. Crutzen ve Birks'ün 1982 tarihli "Öğlen Alacakaranlığı" makalesinde ortaya koyduğu, duman ve isle ilgili feraset, bu can alıcı ve iç karartıcı dokunuşu, söz konusu çalışmalara da taşıdı. Sonunda, atomun gücünün iklim değişikliği için kullanılabileceği bir yol bulunmuştu ama bu yol korkunçtu.⁵⁵

Ancak, TTAPS makalesini doğuran çalışma, dünyayı kurtarmak için bir değil iki girişime yol açtı.

Bu girişimlerin ilki, Carl Sagan'ın, çalışmada elde edilen sonuçları Amerika'nın nükleer stratejisine karşı açtığı savaşta kullanmasıydı. Harcadığı tüm çabaya rağmen bunu bir başarı öyküsü olarak görmek zordur. 1983'te, nükleer kış makalesinin yayımlandığı sırada Sagan, çok az bilim insanının ulaşabileceği kadar ünlüydü. Çok satan bir yazardı; TV programı

55 TTAPS bilim insanlarının, bu istenmeyen iklim soğutmasını inceledikten sonra iklim jeomühendisliğiyle ilgilenmeye devam etmesi pek şaşırtıcı değildir. İkisi de artık hayatta olmayan Sagan ve Pollack, bu konuyu, 1993'te, diğer gezegenlerin "dünyalaştırılmasına" yönelik öneriler bağlamında ele aldılar ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğuna dikkat çekerken, "Dünyadaki sera ısınmasını hafifletmek için nispeten daha ucuz ve çevresel açıdan daha ihtiyatlı yöntemlere [küresel mühendislik yoluyla] önümüzdeki birkaç on yıl içinde ulaşılabilceği" sonucuna vardılar. Hem Turco hem de Toon perde yapma planlarıyla ilgili makaleler yayımladı (Turco perde yapma düşüncesine çok eleştirel bakmaktadır) ve Ackerman, John Latham'ın fikirlerini, Armand Neukermans ve arkadaşları tarafından geliştirilen püskürtme teknolojisini kullanarak test etme girişiminin öncülerinden biridir.

Cosmos bir hit olmuştu; on yıldan fazla bir süredir Johnny Carson'ın *Tonight Show*'una yılda ortalama iki kez konuk oluyordu ki bu, Bob Hope olmayan birisi için oldukça dikkat çekiciydi. Ve nükleer silahlar konusunda uzun zamandır endişeleniyordu. Dünya dışı zeka arayışına olan ilgisinin nedenlerinden biri, bu arayışın başarılı olması durumunda, teknolojik medeniyetlerin süpernova intiharına giden yola girmek zorunda olmadığıının ispatlanmış olacağıydı. Ancak, Stephen Schneider gibi sol görüşlü arkadaşlarının uzun zamandır devam eden teşviklerine rağmen karizmasını ve aklını 1980'lerin başına kadar bu veya başka herhangi bir siyasi konuda kampanya yürütmek için kullanmamıştı.⁵⁶

Sagan'ı bir kampanyacıya dönüştüren şey, tek başına TTAPS sonuçları olmayabilir. Ameliyat masasında ölümden dönmek ve yeni bir evliliğin de bununla çok ilgisi varmış gibi görünüyor. Fakat çalışmanın sonuçları ona mühimmat sağlamıştı. Reagan yönetimindeki yetkililerin kazanılabilir nükleer savaşlardan bahsetmekten mutluluk duyduğu ve Amerikan cephaneliğindeki yeni silahların ilk saldırıyı başlatmak üzere dizayn edilmiş gibi görüldüğü bir zamanda Sagan, nükleer kış biliminin bu tür fikirlerin hem intihar hem de soykırım anlamına geleceğini ortaya koyduğunu savundu. Bu konuyu, Boston'daki WGBH-TV için ele alan yazar Tom Levenson'ın sözleriyle, Sagan "önce korku, sonra inanç ve sonra da tepki" yaratmaya başladı ki bu, sonradan gelecek olan iklim aktivizminin de kullanacağı çalışma tarzıydı. TTAPS'in sonuçlarını kabul etmek, politikaların değiştirilmesi gerektiğini gösteriyordu; o sırada devam etmekte olan yeni nükleer sistemler inşa etmek yerine, nükleer silahlarda sert bir azaltmanın ardından yenilerinin yapımına son vermek gerekiyordu.

56 1970'lerde bir ara Schneider da Carson şovuna konuk olmuştu; sanırım şimdiye kadar bu şova konuk olan tek iklimbilimci odur. Ancak sunucuyu küçük düşürmek gibi bir hata yapınca bir daha davet edilmedi.

Ben 1984'te Cambridge'de bir lisans öğrencisiyken onun bu düşünceleri savunduğuna şahit oldum: Çarpıcı bir deneyimdi. Ancak, Sagan için, TTAPS sonuçlarından kendisinin tercih ettiği politikaya giden yol zorunlu ve doğrudan olsa da, başka cevapların da mevcut olduğunu belirtmekte fayda var. TTAPS, sözelimi havada değil de yeraltında patlayan ve böylece daha az yangın çıkaran bombalar ya da bir "Yıldız Savaşları" füze kalkanı veya büyük gıda stokları gibi yeni silah ve stratejiler geliştirmek için bir gerekçe olarak da görülebilirdi. Böylece nükleer kış, silahlanma yarışına son vermekten ziyade yeni bir silahlanma yarışını savunmak için kullanılmış olurdu. Yeni bilime karşı verilebilecek tek bir olası politika yanıtının olduğu durumlar çok nadirdir.

Birisi sadece tek bir cevap olduğunu iddia ettiğinde, bu siyasi tepkiden hoşlanmayanların vereceği açık tepki bilime saldırmaktır. TTAPS sonuçları, Amerika'nın (ve Rusya'nın) stratejik pozisyonunun mantığını çürüttü, bu nedenle her halükarda tartışmalı olacaktı. Ancak Sagan'ın kampanyası bunu daha da güçlendirdi ve muhtemelen sonuçlara yönelik eleştirilerin yoğunlaşmasına neden oldu zira Sagan'ın insanları televizyona çeken kendinden emin albenisi ve lirik kesinliği, kendisini meslektaşlarının da sevmesini sağlayamamıştı. TTAPS ekibi, diğer araştırmacıların sorunları iyileştirebileceğini (veya belki daha da kötüleştirebileceğini) düşündüğü bazı etkileri gözden kaçırmıştı. Farklı varsayımlarda bulunan ve başka modeller kullanan araştırmalar, genellikle oldukça kötü olsa da, TTAPS makalesinde görülenlerden daha az dramatik çevresel etkiler bulma eğilimindeydi. Kendi kendine yükselme olasılığı, ıslak ve kuru isin farklı davranışları ve modelinizde gündüz/gece döngüsünü doğru bir şekilde yakalamanın önemi gibi oldukça teknik tartışmalar normalde olduğundan daha hararetli bir şekilde yapılmaya başlandı. Stephen Schneider ve NCAR'daki meslektaşlarının yaptığı ve "nükleer kıştan" ziyade "nükleer güzden" söz etmelerine neden olan modelleme, Schneider'ın

Sagan ile dostluğuna büyük zarar verdi. İklim modellerinin, diğer tartışmalardaki öneminden dolayı, güvenilirliğini korumasını önemseyen Schneider, Sagan'ın etki adına bilimi feda ettiğini düşündü. 1970'lerde yaşadığı ve onu politikayla daha fazla meşgul olmaya zorlayan ironi, Sagan'ı bırakmamıştı.

Eleştiriler, Sagan'ın politik reçetelerini kabul etme isteksizliğinden kaynaklanan saldırılarla harmanlanmış gerçek fikir farklılıklarına dayanıyordu. İklim biliminin, Amerika'nın ulusal çıkarlarını altüst etmek için bilgisayar modellerini mantıksız boyutlara taşıyan solcuların fare yuvası olduğu düşüncesi, diğer yerlerin yanı sıra, *Wall Street Journal* yayın kurulunun kafasında da büyümeye başladı. Bu düşünce, on yıl sonra, karbondioksit emisyonlarını engelleme girişimlerine yönelik saldırılarda nerdeyse hiç değiştirilmeden yeniden kullanılacaktı.

Sagan ve Turco daha sonra nükleer bir kış korkusunun soğuk savaşın sona ermesinde etkili olduğunu iddia etti. Bunun için güçlü bir kanıt yok ve bu yaygın bir görüş de değildir. Aslında nükleer kıştan hiç bahsetmeyen soğuk savaş tarihleri bulmak oldukça kolaydır. 1983'te, TTAPS makalesine ilişkin bir yayın öncesi brifingden sonra, bir silah kontrol uzmanı, Sagan'a, "Eğer Washington ve Moskova'nın düşüncesinin değişmesi için, dünyanın sonunun geleceğine dair bir beklentinin tek başına yeterli olacağını düşünüyorsanız, açıkçası oralarda fazla zaman geçirmemişsiniz demektir," dedi. O uzman pekala haklı olabilir. Ama yine de nükleer kış fikri tutumlarda daha uzun vadeli bir değişime katkıda bulunmuş da olabilir. Son yıllarda nükleer silahların olmadığı bir dünyayı hedefleme fikri siyasi çevrelerde giderek daha fazla gündeme geliyor ve nükleer tartışmanın temel koşullarını değiştirme dürtüsünün arkasında, nükleer kışın ve hem savaşan hem de savaşmayan ülkeler için oluşturduğu meta-askeri tehdidin gölgesini görmek mümkün. Yine de bu bir projeksiyon olabilir çünkü söz konusu fikre nadiren özel olarak başvuruluyor. Başkan Obama 2009'da Prag'da yaptığı bir konuşmada nükleer sonrası

bir çağa doğru ilerlendiğinden bahsederken nükleer kıştan hiç söz etmedi; halbuki dünyanın dikkatini çevirmesi gereken yeni tehditlerden biri olarak küresel ısınmadan bahsetti.

Ya yukarıda TTAPS biliminden kaynaklandığını iddia ettiğim, dünyayı kurtarmaya yönelik ikinci kampanyaya ne demeli? Onun profili o kadar yüksek değildi ancak tartışmasız çok daha başarılı oldu. Bu ikinci kampanya, Alvarez makalesinin, stratosferik kefenleri bir endişe kaynağı haline getirmesinden bu yana geçen otuz yıl içinde Dünya'yı fark edilebilir düzeyde olmasa da önemli ölçüde daha güvenli bir yer haline getirdi. Antropolog Margaret Mead'ın şu sözü ünlüdür: "Akıllı başında ve kararlı yurttaşlardan oluşan küçük bir grubun dünyayı değiştirebileceğinden asla şüphe duyulmamalıdır; gerçekte şimdiye kadar sahip olunan tek şey de budur." Aslında buna inanmıyorum ancak duygusundaki çekiciliği görebiliyorum. Ama eğer inanıyor olsaydım, bunun delili olarak sunacağım şey, işte bu ikinci kampanyanın kalbindeki klik olurdu.

Mike MacCracken, Sicilya'da bir dağ köyü olan ve İtalyan fizikçi Nino Zichichi'nin planları sayesinde bilim dünyasının en hoş konferans mekanlarından biri haline gelen Erice'in bir avlusunda şarap içerken bana Edward Teller ve Kaliforniya kuraklığı hakkında aydınlatıcı bir anekdot anlattı. MacCracken 1980'lerde Livermore'da bir iklim modelcisi olarak nükleer kış üzerine çok çalışmış ve aynı zamanda jeomühendislikle ilgili araştırma ve politika tartışmalarının artmasını savunan birisi olmasına rağmen bizi orada buluşturan şey ne nükleer kış ne de jeomühendislikti. Dünyaya çarpabilecek asteroitlerin yarattığı tehlikeyi tartışmak için oradaydık.

Alvarez makalesinden önce, çoğu gökbilimci bu tehlikeyi çok az düşünmüştü. Hem bu tür çarpmaların sıklığını hesaplayacak hem de ne tür zararlar verebilecekleri konusunda bir fikir verecek delillerden yoksundular. Ve konu tamamen, bununla ilgilenecek bilim insanlarını hiç istemeyecekleri bir şekilde,

kıyamet kehanetinde bulunan astrologlar gibi gösterme riskiyle baş başa kaldı (*New York Times*'ın Alvarezler hakkındaki o aptalca başyazısına bakın). 1970'lerde Gene Shoemaker ve meslektaşı Glo Helin, yörüngesi Dünya'nın yörüngesini kesen ve dolayısıyla bir gün Dünya'ya çarpma ihtimali olan asteroitleri aramak için eski bir teleskobu kullanmaya başladıklarında, gezegenin güvenliğine katkıda bulunmak şöyle dursun, bilim yapmaktan çok bir eksantrikliğe düşkün olarak görülüyorlardı.

Alvarez makalesi bunu değiştirmeye başladı. O zamanlar, makalenin açıkladığı etkinin dinazorların ölümünün belirleyici tek nedeni mi yoksa sadece muhtelif nedenlerden birisi mi olduğu hakkında sorular vardı ve bu sorular zaman zaman hâlâ gündeme gelmektedir. Ancak, altmış altı milyon yıldan biraz daha uzun bir süre önce, bir gün, yaklaşık on iki kilometre çapında bir asteroidin şimdi Yucatan olarak bilinen yere, aynı anda gerçekleşen 20 bin tam kapasite nükleer savaşa eşdeğer bir enerjiyle çarptığına dair ciddi hiçbir şüphe yoktur.

Alvarez makalesinin ardından, bir NASA çalıştayında, Dünya'nın yörüngesini kesen ve dolayısıyla bir noktada benzer bir tehlike oluşturabilecek yörüngelere sahip olan asteroitleri bulmayı amaçlayan sistematik bir program için argümanlar toplandı. Çalıştayın tutanaklarını ve tavsiyelerini yazmakla görevlendirilen Shoemaker, hiçbir zaman bunu yapacak vakit bulamadı; ancak bazı argümanlar daha sonra Clark Chapman ve David Morrison'ın *Cosmic Catastrophes* [Kozmik Felaketler] adlı kitabında yayımlandı. Bu iki uzay bilimci, sağduyuya ters ama ikna edici bir şekilde, bir insanın bir asteroid çarpması yüzünden ölme ihtimalinin ortalama 30 binde bir kadar yani bir uçak kazasında ölme ihtimaline benzer olduğunu iddia etti. Bu tehlikeye en büyük katkı ne çok sayıda insanı öldürebilecek en sık görülen çarpmalardan yani yaklaşık yüz metre çapındaki asteroitlerin, oldukça büyük bir nükleer bombanın gücüyle, her bin yılda birkaç kez yeryüzünde

ya da yakınında patlamasından ne de Alvarezlerin tasvir ettiği gibi, insan ırkının neredeyse tamamını ve gezegen üzerindeki diğer türlerin yarısını yok edecek ancak yaklaşık yüz milyon yılda bir ortaya çıkan dev darbelerden geliyordu. En büyük tehlike, bir milyon yılda bir veya iki kez beklenebilecek türden, birkaç kilometre çapındaki asteroitlerdi.

Bu yine, bir kaldıraç meselesiydi. Küçük darbelerin bölgesel etkileri vardır çünkü etkileri yani ısı ve şok dalgaları doğrudandır. Bir şehrin başına böyle bir darbe gelirse milyonları öldürebilir. Ancak Dünya'daki çoğu bölge oldukça boştur ve bu nedenle bu tür darbelerin çoğunun nispeten az sayıda insanı öldürmesi beklenir. Oysa, asteroitler bir kilometre veya daha fazla büyüklüğe ulaştığında, hemen hemen nereye vururlarsa vursunlar küresel etkilere sahip olacak miktarda toz kaldırır- lar. Yeterince büyük bir darbede oluşacak kefen, şiddetli bir nükleer kış gibi davranarak tarımı bir yıl kadar durduracaktır.⁵⁷ Böyle bir iklimsel acil durum, insanları veya diğer türleri yok etmese de dünya nüfusunun önemli bir bölümünü öldürecektir. Herhangi bir yılda böyle bir darbenin gerçekleşme olasılığı milyonda bir olmasına rağmen bu, bir ömür boyunca küçük ama kayda değer bir risk anlamına gelir.

Ancak dünyanın hayal gücünün felaket senaryolarına yönelmesinden sonra bile asteroit tehdidi ciddiye almak zordu. Bu tür hesaplamaları ilk kez duyanların çoğu buna güldü ya da pes artık dedi. Medya, konu ne zaman açılrsa Cesur Civciv'den ve onun düşen gökyüzü korkusundan bahsetmek zo-

57 Buradaki "yeterince büyük" nitelemesi, nükleer bir savaştan çok daha fazla enerji açığa çıkarmak anlamına gelir zira tüm enerjisini tek bir yerde toplayan bir darbe, aerosolleri kaldırmak ve yangınlar başlatmak konusunda, korkunçluğunu binlerce hedefe paylaştıran bir savaştan çok daha kötüdür. Aslında, fizikçilerin yuvarlak sayılara olan düşkünlüğüne de bir şeyler borçlu olabilecek ilginç bir tesadüfle, küresel çapta önemli olacak bu darbelerden birindeki enerji, Mike MacCracken'in 1970'lerin sonunda Kaliforniya'daki kuraklıkla ilgili bir şeyler yapmak için gerekli olduğunu hesapladığı enerjiyle aynıdır: Bir milyon megaton.

runda kaldı. Tehdidin istatistiksel doğasını anlatmak zordu. Etkiler, kolayca anlaşılan herhangi bir anlatıya uymuyordu. Çevresel veya teknolojik felaketlerden farklı olarak, düşmanlık veya kibir, bir günahın bedeli ya da kızdırılan doğanın intikamı gibi açılardan anlaşılması zordu. Ve iş o noktaya geldiyse, herhangi bir zarar vermesine ortalama beş bin asır kalan meçhul bir asteroide gelene dek, endişelenilecek zaten yeterince çok şey yok muydu?⁵⁸

Evet, vardı. Ancak bu tehdidin neredeyse kesinlikle hiç yakın olmadığı gerçeği, onu ilgi çekmeyen ya da tamamen ihmal edilebilir bir sorun haline getirmede. Bazıları bu soruyu ciddiye aldı. Ben de onlardan biriydim; çok daha önemlisi, Terry Dawson adında bir Capitol Hill çalışanı da onların bir başkasıydı. Amerika Temsilciler Meclisi Bilim Komitesi Başkanı George Brown, 1991’de, büyük ölçüde Dawson sayesinde, NASA’nın küresel bir tehdit oluşturan tüm asteroitleri nasıl tespit edebileceğini ve ihtiyaç duyulması halinde bu tür tehditlerin üstesinden nasıl gelinebileceğini araştırmasını öngören bir yasa tasarısı hazırladı.

Asteroitleri tespit problemi Sagan’ın eski öğrencilerinden David Morrison’a verildi ve onun liderliğindeki bir ekip, on yılda 300 milyon dolar gibi oldukça mütevazı bir yatırımla yeryüzüne konuşlandırılacak teleskoplarla, Dünya ile kesişen yörüngelerde dolanan bir kilometre veya daha büyük asteroitlerin neredeyse tamamını keşfetmenin mümkün olduğunu söyleyen bir rapor yayımladı. Bir kez keşfedilip karakterize edilen asteroitlerin gelecek yüzyıllarda katedecekleri yollar hesaplanabilir. Bu yolların hiçbirisi Dünya’nınla kesişmezse, çarpışma problemi kendiliğinden çözülmüş olur. Bilinmeyen bir asteroidin küresel çapta feci bir etki yaratma riski, sadece daha fazla

58 Çok az insan, bir asteroidin Dünya’ya çarpma olasılığının, kendi yaşamları açısından, sırf soyut bir istatistiksel endişeden ziyade, gerçek bir endişe olduğunu düşünüyor. Şans bu ya, çeşitli kaygı sorunları olan sevgili bir arkadaşım da onlardan biri.

bilgiyle büyük ölçüde azaltılabilir; bilinen bir asteroidin çarpmasına bağlı riskler ise büyük ihtimalle sıfır olarak kalacaktır.

Ve böyle de oldu. Morrison'ın öngördüğü türden sistematik bir program hiçbir zaman olmadı ancak Hava Kuvvetleri için geliştirilen yeni sensörler, mevcut küçük teleskoplarla daha fazlasını yapmayı mümkün kıldı. Çok geçmeden yakınlardaki asteroitleri hızla keşfeden bir dizi program oluştu. Çarpma olasılığı olan asteroit popülasyonu, istatistiksel düzeyde daha iyi –henüz keşfedilmemiş kaç tane büyük asteroit kaldığını belli bir hata payı içinde söylemeye yetecek kadar iyi– anlaşıl-maya başlandı. Morrison'un bu raporu yazdığı sıralarda, bunların yüzde 10'undan daha azı keşfedilmişti. Bugün itibarıyla, yüzde 90'dan fazlası bulunmuş durumda ve hiçbir çarpışma rotasında değil. Gerçekten var olabilecek bir kıyamet tehdidinin orada olmadığı ispatlandı ki bence bu, sonuçta dünyanın güvenli bir yer olduğunu doğruluyor. Morrison'ın ifade etmeyi sevdiği gibi, bir grup bilim insanının çalışması sayesinde, bu tehlikenin boyutu, hiçbir zaman orta büyüklükteki bir McDonald's hamburgerinin boyutundan daha büyük sayılmadı.

Peki ya işler farklı gelişseydi? Çarpışmaya yol açabilecek bir yörüngede büyük bir asteroit keşfedilmiş olsaydı yapılacak şey açıkça onu nükleer bombalarla vurmaktı zira yirminci yüzyılın sonlarında başka ne olabilirdi ki? 1990'ların başında, tahmin edilebileceği üzere, konuyla bir şekilde ilgilenen Teller, büyük bir coşkuyla, böyle bir asteroidi yok etmek için askeri cephaneliklerdeki mevcut hidrojen bombalarından yüzlerce hatta belki binlerce kat daha güçlü hidrojen bombalarına ihtiyaç olabileceğini söyledi.

Daha incelikli bir analiz, gelen asteroidi yok etmeye çalışmak yerine onu bir kenara itmek gerektiğini ileri sürdü. Bu da nükleer patlayıcılara ihtiyaç duyabilecek bir seçenektir ama daha mütevazı bir ölçekte. Bu tür nükleer silahlar aslında bir asteroidi tozla çalışan bir roketle dönüştürebilir. Asteroidin

biraz uzağında gerçekleşecek bir nükleer patlama, asteroidi, bir tarafındaki tozu uzaya fırlatmasına yetecek kadar ısıtabilir. Bu da asteroidin kendisini, tıpkı bir roket egzozu gibi, ters yöne itecektir. Bir sonraki patlamanın ne zaman ve nerede olacağına, bir öncekinin sonuçlarına göre karar verilen böyle bir itme serisi, asteroidin yörüngesini bir süre sonra çarpma rotasından çıkaracak kadar değiştirebilir. Ve zaman her hâlükarda insanlığın yanında olacaktı. Tehditkar bir asteroidin birkaç on yıl içinde tespit edilmesi birkaç ay içinde tespit edilmesinden çok daha olasıydı.

Asteroit tehlikesiyle yakından ilgilenen gökbilimci Duncan Steel; Lord Byron'dan, Byron'ın arkadaşı Thomas Medwin tarafından kaydedilen ve bu tür düşüncelerin güzelliğini harika bir şekilde özetleyen bir alıntı buldu. Bir asır sonrasında Soddy'nin yaptığı gibi Byron da insanoğlunun büyüyen gücünü, eski uygarlıkların sahip olduğunu düşündüğü güçle karşılaştırmış ve bu gücün Steel, Chapman, Morrison ve meslektaşlarının –sadece muhtemelen olsa bile– gerekli olmasından korktukları görkemli görevleri mümkün kıldığını görmüştür:

Buharın gücüne nerede sınır koyalım? Kim “Buraya kadar gideceksin, daha ötesine değil,” diyecek? Şu anda bilimin emekleme dönemindeyiz. Bu gezegenin bizden önceki dönemlerinde bizden daha bilge yaratıkların olmadığını mı düşünüyorsunuz? (...) Prometheus ve ateşi çalışı, Briareus ve fani kardeşleriyle ilgili efsaneler, aslında sadece buhar ve buhar makinesiyle ilgili hadiseler olamaz mı? Bir kuyruklu yıldız, bu gezegeni yok etmek üzere yaklaştığında, daha önce defalarca olduğu gibi bu kez de yok olmayacağını, insanların buhar gücüyle kayaları temelinden parçalamayacağını ve devlerin yaptığı gibi, dağları yaklaştırmakta olan yakıcı kütleyle doğru fırlatmayacağını ve sonra Titanların geleneklerine ve gökyüzüyle yaptıkları savaşlara bir kez daha şahit olmayacağımızı kim bilebilir?

İki Kliğin Hikayesi

Bugün titanların işlerini çağrıştıran bir proje varsa bu güneş jeomühendisliğidir. Ve bu alanda olup bitenlerle çarpmaların meydana getirebileceği iklimsel acil durumları anlama ve gerekirse önlemeye yönelik son birkaç on yıldaki girişimler arasında öğretici ve ilgi çekici benzerlikler vardır.

Her iki çaba da yerküre sistemine yönelik büyük riskleri dengeleyebilecek teknolojik müdahaleleri belirlemiştir. Her ikisi de kendi risk analizlerini ve eylem potansiyellerini aydınlatan ve sergileyen, örneğin jeomühendislik için Pinatubo patlaması, darbe etkisini azaltmak için, Shoemaker-Levy 9 kuyruklu yıldızının 1994'te Jüpiter'e çarpması gibi doğal hadiselerle işaret etmiştir. Başka bir gezegenin girdaplar çizen bulutlu gökyüzünde görünür izler bırakan parçalanmış bir kuyruklu yıldız manzarası, çarpmanın gerçek bir tehlike olarak görülmesi için çok şey yaptı.

Bu iki alanda çalışan bilimsel toplulukların büyüklüğü ve karakteri de bir başka açık benzerliktir. 1980 ve 90'larda oluşan "asteroklik", 2000'lerde oluşan jeoklik ile aynı şekilde yani elde ettikleri sonuçları konferanslarda birbirleriyle paylaşan, konumlarını ve argümanlarını buna göre yenileyen bir grup insan olarak teşekkül etmişti. Jeoklik gibi, onların ortak çıkarları da bilimsel ve politik farklılıklarla renklendi ve dostluklarla desteklendi. Baskın kişiler vardı ancak Gene Shoemaker'ın ölümünden sonra açık bir liderleri olmadı. Jeoklik gibi, aslında disiplinlerarasıydı; gözlemsel astronomi ve hükümet politikalarının uygulayıcıları, uzay uçuşlarının tasarımcıları, yörünge mekaniği ve asteroitlerin fiziksel özellikleri gibi konularının uzmanları ve Dünya veya diğer gezegenlere çarpan asteroit tarihi ve nükleer silahların etkileri konularında eğitim alan öğrencilerden oluşuyordu. Jeoklikte olduğu gibi neredeyse tüm bu insanların zamanlarının çoğunu alan başka araştırma alanları vardı. Sürecin ilerleyen bölümlerinde bu

insanların bazılarına özellikle bu sorun üzerinde çalışmaları için fon sağlandı ancak 1990'ların sonlarına kadar hemen hiçbirinin birincil işi bu değildi.

Asterokliğin dışındaki bilim insanları, çarpma problemini genellikle önemsiz ve biraz da adı kötüye çıkmış olarak gördüler. Gökbilimciler, teleskoplara karşı açgözlüdür ve çoğu, bilimsel bakımdan çok az ilgi çeken asteroitleri avlamak için harcan-dıklarını görmek istemezdi. Bu sahanın yatkın görüldüğü medyatik paniklerde de yer almak istemediler. Medyaya birkaç yılda bir Dünya'ya çarpabilecek şu ya da bu nesneyle ilgili bir haber düşerdi ve asteroklik, her seferinde kimin bu hikayede sorumsuzca suç ortaklığı yaptığı ya da hataları açıklayamadığı gibi tartışmalarla parçalanırdı. Jeoklik de iklimbilimi toplulu-ğu tarafından benzer şekilde marjinalleştirildi ancak yukarıda gördüğümüz üzere, daha ayrıntılı nedenlerle. O, yeni keşfedi-len asteroitler konusundaki telaş gibi bir şey yaşamadı ancak zaman zaman medyanın dikkatine takılan iç bölünmeleri oldu ki bu, kendi içinde hiç de olumsuz bir şey değildi.

Her iki alanda da kliğin, askeri-sanayi komplekse ve özellikle bu kompleksin Livermore merkezli kısmına olan yakınlığı, birçok yabancı için ve içeriden bazıları için özel bir endişe kaynağıydı. Çarpma riski analizlerinin bu laboratuvarda araştırılmasına (bazıları bunu fazlasıyla abarttı), bunun laboratuvarın orijinal soğuk savaş görevine kısmi bir ikame bulma girişimi olduğunu düşünmeden bakmak zordu. Amerika'nın tüm ulusal laboratuvarları arasında, stratejik füze savunması olan "Yıldız Savaşları" programıyla en çok ilgilenen laboratuvar Livermore'du. Ve çarpmalar nasıl nükleer savaşın karanlık ikiziyse, bu çarpmaları önlemek de Yıldız Savaşları'nın öyle bir karanlık ikiziydi.

Pentagon'un Yıldız Savaşları ofisi –resmi adıyla Stratejik Savunma Girişimi Teşkilatı– bu konuyla yakından ilgilendi. Yıldız savaşçılarının Ay için planlanan ancak kazara Dünya'nın

yörüngesini kesen bir asteroit olan Geographos'a uçulan 1994 *Clementine* görevi etrafında dönen retorik kısmen, bu tür asteroitleri keşfetme kabiliyetinin sergilenmesine hizmet etti. Farazi bir takip görevi (nükleer olmayan), avcılarını uyum içinde ateşlemeyi deneyebilirdi. MacCracken ve benim, Kaliforniya seması açıkken nükleer patlayıcılarla yağmur yağdırılıp yağdırılamayacağı konusunda sohbet ettiğimiz Erice toplantısının masrafları Pentagon tarafından karşılanmıştı.

Çarpışma riskiyle ilgili konulara askeri-endüstriyel katılım, iklim mühendisliğiyle ilgili son tartışmalara katılımdan çok daha yüksekti. İklim mühendisliğiyle ilgili tartışmalara, Teller ve Lowell Wood'un kritik öneme sahip ilk makalesi ile yakın zamana kadar NASA Ames Araştırma Merkezi'nin başkanı ve *Clementine* misyonunun babası olan General Pete Worden'in jeomühendislik toplantılarına ev sahipliği yapma konusundaki istekliliği dışında çok az askeri-endüstriyel katılım olmuştur. Ancak ordu, hava modifikasyonu, iklim kontrolü ve nükleer güç Prometeyanizmi arasındaki derin bağların, şüphesiz, akıldan hiç çıkarılmaması gerekir.

Bu iki kliğin çabaları arasındaki temel fark, asterokliğin gözlemlerinin şimdiye kadar gözlemin ötesinde herhangi bir şey yapmayı ciddi ciddi düşündürtecek hiçbir neden vermemiş olmasıydı. Jeokliğin çalışmalarının da benzer bir sonucu ulaşabileceğini akılda tutmakta fayda var; bu çalışmalar, jeomühendislikle ilgili soruları kesin olarak, işe yaramaz cevabıyla bitirebilir. Eğer böyle olursa, bu bir başarı olur. Büyük bir asteroidin çarpma ihtimalinin, yirmi yıl önce zannedilenden çok daha düşük olduğunun güvenilir bir şekilde hesaplanması, dünyanın geleceği hakkındaki düşünlerimiz için ne kadar önemliyse, daha fazla araştırma ve tartışmayla insanların perde yapmanın bir işe yaramayacağına ikna olması da o kadar önemli olacaktır. Ahlaki tehlike argümanının bir doğruluk payı varsa, sunulabilecek herhangi bir teknolojik soğutma imkanının olmadığını kesin bir biçimde bilmek, artan azaltma çabaları açısından önemli olacaktır.

Ancak asterokliğin şu ana kadar bir tedbir alınmasını gerekli görmemesi, hikayesinin bittiği anlamına gelmez. Jeomühendisliğin olası seyrine bariz bir benzerlik içinde, asteroid saptama çabalarının hedefi ilerledikçe değişti ve bu değişim, bir asteroidin yörüngesini değiştirme girişiminin eninde sonunda yapılacağı ihtimalini artırdı.

Asteroit avı başladıktan sonra kendi iç mantığını oluşturdu. Neden sırf sizi en başında endişelendirenler oldu diye Dünya'ya çarpabilecek başka şeyleri aramayı, hem de yeni teknoloji giderek daha küçük cisimlerin algılanmasına imkan sağlarken bırakasınız ki? Bu tür çarpışmaların ortaya çıkardığı riskler, iklim değişikliğine yol açan büyük çarpmalarla ilgili risklerden çok daha küçüktür. Ama eğer bu nesnelerden birisi gerçekten bulunursa, risk hesabının biraz farklı görünmeye başlayabileceğini akıl etmek zor değildir, özellikle Dünya'nın darbeyi alacak olan küçük kısmında yaşayan insanlar için. Burada bence, deniz bulutlarının aydınlatılması tartışmalarının, işlemin küresel ortalamalar üzerindeki baskısından mercan resifleri, buzullar ve kasırgalara etkisine ve zaman zaman artan, ısı dalgalarına karşı geçici bölgesel perde yapma olasılığına kayışına çok benzeyen bir durum var. Bu, insanların başlangıçta düşündüğü şey olmasa da ve oldukça küçük bir ölçekte kalsa da hâlâ çekici olabilir.

Küçük asteroitlerin saptırılmasına yönelik talebin artması durumunda, asterokliğin bunun nasıl yapılacağına dair düşüncesinin daha Telleryen seçeneklerden uzaklaşmış olması iyi bir haberdır. Önceden yapılacak çok sayıda dürtmeyle, ki bu her zaman en olası senaryodur, küçük bir asteroidin nükleer silahlara başvurmadan rotasından saptırılması makul görünüyor. Belki de güneş ışığının baskısından daha rahatsız edici bir şey kullanmadan itilip çekilebilecekleri başka yollar da vardır. Bu tür nazik itmeler, yalnızca söz konusu asteroitler küçük olduğu için değil, aynı zamanda yörünge mekaniğinin bazı ince-liklerinin daha iyi anlaşılması, Dünya'nın kendi yerçekiminin,

önemsiz olacak kadar küçük değişiklikleri önemli hâle getirecek stratejiler verdiği için de makuldür. Burada söz konusu olan şey tam anlamıyla bir Arşimed kaldırıcıdır.

Kötü haber şu ki, bu imkan, jeomühendislik tartışmalarının bir başka yankısı olan “kazananlar ve kaybedenler” sorununu burada da gündeme getiriyor. Bir asteroit Dünya’ya çarpacaksa, Dünya’nın belli bir noktasına çarpacaktır. Yörüngesini yeterince değiştirirseniz, Dünya’yı tamamen ıskalayacaktır. Ama eğer yörüngesini yeterince değiştiremezseniz, sadece çarpma noktasını değiştirmiş olursunuz.

Farklı seviyelerdeki yetersiz dürtmelerin oluşturacağı çarpma noktaları, gezegenin yüzeyinde, güneş tutulmasında olduğu gibi, bir tramvay yoluna benzeyen iyi tanımlanmış bir rota oluşturur. Ve bu rota boyunca muhtelif noktalarda yaşayan insanlar olacaktır. Saptırma sorunu böylece, sadece bir yapılabilir mi yapılamaz mı sorunu değil, aynı zamanda başarısız olursa ne olur sorunu haline gelir. Eğer müdahale edilmezse Nebraska’ya düşerek orada büyük bir çukur bırakacak olan bir asteroidi, Mexico City’ye düşürme riskine rağmen saptırmak gerekir mi gerekmez mi? Ya da bu tramvayın rayları Pekin’in üzerinden geçerken Rusya’nın oldukça boş bir bölgesine doğru gelen bir asteroidi saptırmak gerekir mi? Bu konudaki fikirler, tıpkı modeller jeomühendisliğin risklerini ve faydalarını benzer bir doğrulukla yansıtabildiğinde olacağı gibi, farklı olabilir.

Bu tür karmaşıklıklar, bir zamanlar Tanrı’nın bir eylemi olan bir şeyi insani bir sorumluluk haline getirmenin bedelinin bir parçasıdır. Şunu fark ettim ki bu, bazılarının ödemeye değmeyeceğini düşündüğü bir bedeldir.

1990’larda asteroit çarpmaları hakkında ilk yazdığım da, insanların “kıkırdama aşamasını” geçme konusunda yaşadığı zorluğu görünce hüsrana uğramıştım. Gülen kişinin anlayışsız olmadığını fakat belli bir endişeye sahip olduğunu anla-

mam biraz zaman aldı. Bu endişe, asteroit tehdidiyle değil, ona karşı koymanın ima ettiği beşeri güçle ilgiliydi.

İnsanları güldüren ve konuyu değiştirmelerine neden olan şey, çarpma fikrinin kendisi değildi. İnsanların bu tür şeyleri önlemek için gereken büyüklükte müdahalelerde bulunabilecekleri düşüncesiydi; çok küçük olsalar bile yıldızların rotasını değiştirebilecek kadar büyük. Sanırım bu, bazı insanlar için kozmik bir kaza riski altında oldukları fikrinden daha rahatsız edici bir duygu. Özetle, doğal bir afet, o afeti önlemek için doğayı kurcalama fikrinden daha kabul edilebilir gelebilir. Jeomühendislikle ilgili en derin endişenin kalbinde yatan bu huzursuzluk, olası kötü sonuçlarıyla ilgili değil, fikrin kendisinin katıksız kapsamıyla ilgilidir. İster asteroitlerle kavga etme isterse aerosoller yoluyla olsun, Armagedon'u önleyecek şekilde hareket etmek, temel olması gereken sınırları arsızca aşmak gibi görünüyor. Bu, insanların insan, doğanın ise doğa olması için gereken şeyi değiştiriyor ve insan imparatorluğunu, küfür sınırının üstüne çıkarıyor.

Ama ben, beşeri eylemi insanlık üstü ölçeklerde tasavvur etmenin, zihinde uzak ve yüce bir aydınlanma hasıl edebileceğine inanıyorum. Trilyonlarca ton suyu tutan bir barajın bir uçuruma benzeyen kavisli duvarını, gece gökyüzüne çıkarken gördüğümüz uzay gemisini, gece ufkun yarısını aydınlatan uzaktaki şehir ışıklarını bizim gibi insanların inşa ettiğini bilmek, kendinden çok daha büyük bir şeyin parçası olmanın mütevazı haşyetini sunar. Ancak herkesin bu tür şeyleri yaparlara sempati duyma ayrıcalığına veya eğilimine sahip olmadığını da farkındayım. Ve bunların büyüklüğünün, derin bir rahatsızlığa neden olduğunu görebiliyorum.

Bu bir estetik anlayışı meselesi olabilir. Yüceliğin kalbinde bir arada bulunan korku ve güç arasındaki çatışma, eğer güzellik hiç deneyimlenmiyorsa, çok daha rahatsız edici hale gelir ve

radasyon kuvveti ve yörünge dinamikleriyle ilgili düşüncelerdeki veya teknolojinin doğal olmayan ya da doğaya karşı olan makinelerindeki güzellik, herkese uygun olmayabilir.

Bunun bir estetik meselesi olduğunu söylemek, önemsiz olduğu anlamına gelmez. Aslında tam tersine, önemli olduğu anlamına gelir. Bu duygular, önemsiz veya basit zevk meseleleri değildir. Estetik önemlidir, zira güzellik önemlidir. Jeomühendislik lehine, şefkate, görev duygusuna ve erdeme dayalı argümanlar görebiliyorum. Ama sonuçta, güzellikten kaynaklanan bir argüman olmamalı mı veya olmamak zorunda mı? Sadece güç varsa ve güzellik yoksa titanların teknolojik gelenekleri canavarlıktan başka bir şey olabilir mi?

Böyle Bir Bilgiden Sonra

Carl Sagan'ın teknolojik büyüklükten kaynaklanan huzursuzluk hakkında kendi düşünceleri olmalı. 1958'de yüksek lisansını yeni tamamlamışken, Hava Kuvvetleri'nin Ay'a nükleer bir cihaz fırlatma imkanını araştıran bir projesinde çalıştı. Projenin bilimsel bir gerekçesi vardı: kraterleşmeyi anlamaya çalışmak. Fakat aynı zamanda daha önemli bir de siyasi amacı vardı: diğer ulusları benzer bir şeyin kendilerine de olabileceğini düşünmeye davet etmek. Bu projenin, daha sonraları insanların von Neumann'ın süpernovalarından birini tetiklediğinden emin olma konusundaki ilgisini beslemediğini düşünmek oldukça zordur.

Fakat, Sagan'ın asteroit saptırma tartışmalarına ana katkısı, estetiğe veya Tanrı'yı oynamanın uygun olmayışına değil, askeri-endüstriyel komplekse karşı sonradan gelişen güvensizliğe dayanıyordu. 1990'larda, Dünya'yı ıskalayan rotalarda, ona çarpan rotalardan çok daha fazla asteroit olduğunu savundu çünkü bir nişan tahtasının dış halkası zorunlu olarak hedefin merkezinden daha büyüktür. İnsanlar, Dünya'ya çarpacak nadir asteroitleri dürterek yörüngelerini değiştirebilirse,

Dünya'yı iskalayan ve sayıları daha fazla olan asteroitleri de çarpacak yörüngelere kolayca sokabilirlerdi. Sagan, asteroitleri saptırma kapasitesini geliştirmenin, asteroit savaşı yürütme kapasitesini geliştirmek anlamına geleceği konusunda uyarılar yaptı. Soğuk savaş döneminin doğal felaketleri nükleer silahların, nükleer silahları da doğal felaketlerin karanlık ikizleri olarak görme eğilimi burada da ortaya çıkmıştır.

Ancak, jeofiziği bir silah haline getirmekle ilgili bu tür fikirlerin çoğunda olduğu gibi, Sagan'ın korktuğu şey de çok uzak bir ihtimaldi. Livermore'da, asteroit yörüngelerinin değiştirilmesi gerektiğini göstermeyi amaçlayan deneysel bir program olmasını ve birkaç bin yıl içinde ihtiyaç duyulması ihtimalinde bunu yapacak bir operasyonel kabiliyetin kurulmasını savunan bazı insanların olduğu doğrudur. Rusların asteroitleri bir silah haline getirme olasılığının dile getirildiği bir sunumu gördüğümü (şimdi bulamasam da) hatırlıyorum: Bir Dr. Strangelove'ın "Sayın Başkan, bir asteroit boşluğuna izin vermemeliyiz," dediğini hayal edebilirsiniz.

Fakat soğuk savaş döneminin daha barok olan fikirlerinin çoğunda olduğu gibi, ayakta duran bir asteroit karşıtı güç hiç olmayacaktı. Soğuk savaş düşünce tarzının etrafı, uygulamadaki çok açık zorluklar, akıl dondurucu masraflar ve daha akıllıca öğütlerin bir karışımı olarak bir yere varması mümkün olmayan çılgın planlarla doluydu. Ay'a nükleer bir bomba atma planı buna bir örnektir; geniş uzay kolonileri kurmak ve kanal ve limanların nükleer patlayıcılarla açılması planları ise başka iki örnek. Arşivlerde bu tür fikirleri anlatan raporlar bulabilirsiniz ancak uygulamacı olmayan bilim insanlarının bu coşkusu, araştırmacıların, beklediği görevi alamayan albayların uçuk fantezilerinin analizini yaparak para kazanma arzusu ve hatta Edward Teller'ın bir pilot program için fon bulma yeteneği bile bu tür şeylerin, hükümet düzeyinde ulusal politikaya dönüşebilecek kadar ciddiye alınacağına dair deliller olarak görülmemelidir. Soğuk savaşın bu karanlık jeo-şiiirleri, iş bu

tür şeyleri denemeye geldiğinde, defalarca, üst kademelerin çarpıcı derecede muhafazakar tutumlarıyla karşılaştı. Başkan Kennedy, 1963'te, büyük etkileri olan tüm jeofizik deneylerin en üst düzeyde gözden geçirilmesi gerektiğine dair açık talimatlar verdi.

Hava ve iklim değişikliği ile çevre savaşı planlarının çoğu, bu yarı gerçekçi uygulanabilirlik kategorisine giriyordu. Ayrıca biraz da anlamsızlardı. Sorun sadece von Neumann programının ilk kısmından (her ikisi de oldukça iyi sonuç veren hava durumu tahmini ve iklim modellemesi için bilgisayarları kullanma çabaları) ikinci kısmına (bilgisayarların sağladığı kavrayış sayesinde iklimi hassas bir biçimde kontrol etmek) nasıl geçileceği hakkında çok net bir fikrin olmaması değildi. Ayrıca, bu fikirlerin askeri avantaj açısından aslında dişe dokunur bir şey sunmamasıydı. Van Allen kuşaklarını etkisiz hale getirebilirsiniz –gerçekten de bu fikir ilgili çevrede yayıldı ve birkaç nükleer testle denendi. Su altında patlatılan devasa bombalarla tsunami oluşturmanın yollarını arayabilirsiniz. Ama iş o noktaya geldiğinde, başınızı neden ağrıtasınız? Çevresel savaşla ilgili tüm spekülasyonlara yol açan zalim güç, bu yeteneği bir yandan da atıl hale getirdi. Bomba, büyük güçlere, birbirlerini yerle bir etmeye yeten gücü zaten vermişti. Başka yıkım yolları bulmanın gerçekten ne faydası olacaktı?

Çevre savaşları bütünüyle kuru bir gürültü değildi. Fakat rahatsız edici olmasına rağmen askeri planlama için asla çok önemli bir şey olmadı. Amerikan silahlı kuvvetlerinin Hindişin'de bulut tohumlama ve yaprak dökme tekniklerini kullandığının tespit edilmesinden sadece birkaç yıl sonra UN ENMOD anlaşmasıyla sonuçlanan müzakerelerde bu kabiliyetlerden kolayca ve anında vazgeçildi. Ordu içinde ya da dışında kimse bunun yasını tutmadı.

Peki ya güneş jeomühendisliğinin bir silah olarak kullanılma ihtimali ne olacak? Jeomühendisliğin sonuçları olası savaşlara neden olabilir ancak bir savaş biçimi olarak, çoğu çevre savaşı

kadar az uygulanabilir görünüyor. Yerel olarak uygulanırsa yerel olarak engellenebilir, sözgelimi bir Salter bulut gemisi filosu, başka herhangi bir filo gibi, gemisavar füzeler tarafından kolayca batırılabilir. Küresel olarak uygulanırsa, bir silaha dönüşmeyecek kadar hedefsiz olur. Bazı düşmanlara daha normal yollar yerine iklimlerini soğutarak zarar vermek için bir neden bulsanız bile, bir perdeyi gezegenin geri kalanını soğutmadan nasıl kullanacağınızı bulmak çok zordur.⁵⁹

Yine de bir silah olarak kullanılmanın, en azından değinmemiz gereken birkaç yolu var. Bunlardan biri bazen “karşı jeomühendislik” olarak adlandırılır. Güçlü bir güneş jeomühendisliği programı tek taraflı olarak yasalaştırılırsa, diğer güçlerin sera etkisini geçici olarak güçlendirerek bunun etkilerine karşı koyması mümkün olur. Diflorometan, çok yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahip olması bakımından –karbondioksitinkinden molekül başına neredeyse bin kat daha fazla– Montreal Protokolü’nce yasaklanan CFClere oldukça benzeyen bir bileşiktir. Bununla birlikte, CFClerin aksine, ozon üzerinde hiçbir etkisi yoktur ve sadece yaklaşık beş yıl kadar bir atmosfer ömrüne sahiptir. Başka bir devletin gerçekleştirdiği güneş jeomühendisliğinden gerçekten hoşlanmazsanız, önlem olarak milyonlarca ton diflorometan yaymak, sera etkisini güçlendirmenizi sağlar. Karşı taraf pes edip perdelemeyi bıraktığında, siz de diflorometan yaymayı bırakırsınız ve statüko birkaç yıl içinde geri döner.

Bu bana gerçekleşme ihtimali son derece küçük olan bir yönetim tarzı gibi görünüyor. Başka bir devletin uyguladığı jeomühendisliği istemiyorsanız, buna karşı çıkmak için muhtemelen jeomühendislik tesislerine karşı sağlam bir askeri

59 Bununla birlikte, jeomühendislik teknolojilerinin var olduğu veya sadece söylentilerinin olduğu bir dünyada, bir delili olsun ya da olmasın veya delili ne olursa olsun, garip hava olayları çoğu kez bu teknolojilerin kullanımına atfedilecektir. Benzer şekilde, halen herhangi bir asteroit saptırma teknolojisi olmasa da dünyanın birçok yerinde, zarara yol açan bir asteroit çarpmasının suçu Amerika’ya atılacaktır.

tehdit oluşturacak güçlü bir koalisyon kurmak çok daha mantıklı olur.⁶⁰ Karşı jeomühendisliğin böyle bir koalisyonu daha da zorlaştıracığını düşünüyorum ve belki de kendinize saldırtmak için sizi daha açık hale getirebilir. Ancak bundan bahsetmemek bir ihmalkarlık olurdu.

Jeomühendisliğin sunabileceği diğer bir şey bir kıyamet günü cihazıdır. David Keith, isin yaptığından çok daha etkili ve güvenilir bir şekilde kendi kendine yükselen parçacıklar oluşturmayı mümkün kılacak gibi görünen bazı ince fiziksel etkilere dikkat çekmişti (isin bunu yapıp yapmadığı açık bir soru olmaya devam ediyor). Bu tür parçacıklar kendilerini stratosferin üzerine kaldırabilir ve orada yıllarca değil, on yıllarca kalabilir. İstendiğinde kesilebilecek ve sürekli yenileme gerektiren stratosferik jeomühendisliğin aksine, tasarlanmış bu aerosollerini kullanan jeomühendislik yarı kalıcı ve durdurulamaz olabilir. Yeterli sayıda konuşlandırıldıklarında, gelen güneş ışığını gezegeni birkaç derece soğutmaya yetecek kadar azaltabilirler. Buna yeterince uzun bir süre, sözgelimi bir asır devam edilirse, olası bir buz çağını başlatabilir.

Aslında, prensipte bundan daha ileri gidilebilir. Dünya tarihinde birkaç kez gerçekleşmiş olduğu gibi, buz albedosu etkisi bazı durumlarda buzullaşmayı son buzul çağlarında olduğundan çok daha ileri götürebilir. Bu “Kartopu Dünyası”

60 Eğer onlar jeomühendislik yapıyorsa, sen daha çok jeomühendislik yapmalısın şeklindeki üçüncü seçenek, birinci bölümde stratosferin ötesindeki alemlerin büyük gücünü nasıl savunduğunu anlattığımız Aldous Huxley’nin arkadaşı Gerald Heard’ın 1947 tarihli dikkate değer kısa romanında denmişti. *Ellery Queen’s Mystery Magazine*’de övgüyle basılan “Amerika Birleşik Devletlerinin Dedektif Başkanı’nda –insanüstü bir başkandı– Çin’in Amerika’yı sular altında bırakma planına, Kuzey Kutbu’ndaki buzun daha fazla erimesini sağlayan kendi programıyla cevap veriyordu. Böylece, Amerika, sabah vaktinin harika ışıkları altında ortaya çıkan yeni kaderinin tadını çıkarabileceği buzsuz Grönland’ın muhteşem arazilerine kavuşurken, Çin sular altında kalıyordu. Bu son derece çığınca bir fikirdir. “Kuzey Kutbu’nu Nükleer Patlayıcılarla Bombalama” fikrini öne süren Julian Huxley’nin bundan ne çıkardığını bilmek isterdim.

durumlarında, neredeyse tüm kıtaların ve okyanusların büyük bir bölümünün veya tamamının buzla kaplandığı görülüyor. Böyle bir kartopu olayını tetiklemek, yerküre sistemini, nükleer bir kışın ya da hatta Alvarez ölçeğinde, dinazorların neslini tüketen bir asteroidin başarabileceği her şeyin çok ötesindeki bir noktaya kadar yeniden düzenler.

Böyle bir durumda diflorometan gibi bir şey oldukça çekici görünüyor.

Bu tür spekülasyonlar çoğunlukla, jeomühendislikten kaynaklanan pratik tehditlerden çok, dünyanın sonunun geldiğini düşünmenin ne kadar kolay olduğuyla ilgili bir şeyler söylüyor. Böyle bir gücün, bahsettiğimiz şeyin en azından bir parçası olduğunu yani tartışılan kaldıraçların, aşırı uçta, Dünya'yı yaşanması neredeyse imkansız bir yer haline getirebileceğini anlamak, insanın aklını başına getirir. Fakat eski moda bir nükleer savaşın sıradan dehşeti, bana, biri onu bir buzul çağına itmeye çalışırken dünyanın geri kalanının buna izin verme ihtimalinden çok daha büyük görünüyor, dolayısıyla nükleer kış beni karanlık ikizinden daha çok endişelendiriyor. Bir imkanın dış sınırlarının tanımlanması iyi olsa da, bu sınırların dünyayı görme biçiminize hükmetmesine izin vermek bir hata olur. Güneş jeomühendisliğinin başladığı bir dünyada gerçekte neyin gerçekleşebileceğini denemek ve anlamak daha iyidir. Bu, bolca korku üretebilen ancak bunu aynı zamanda yeni umutlar teklif etmeden yapamayan bir süreçtir.

TASARLANAN GEZEĞEN

Düşündüğünüzden çok daha fazlası iyileştirilebilir.

Francis Spufford, *Unapologetic* (2012)

2003'te *New York Times* için, küçük bir jeomühendislik projesi hakkında görüş beyan eden bir makale yazmıştım. Zimbabveli bir jeolog olan arkadaşım Euan Nisbet, Kilimanjaro'nun tepesindeki buzulların erimekte olduğu ve bunun devam etmesi halinde, Tanzania ekonomisine önemli miktarda döviz getiren turistik bir cazibe merkezi ve antik bir güzellikle birlikte Afrika'nın geçmiş iklimlerinin kayıtlarının da geri getirilemeyecek şekilde kaybolacağı gerçeğiyle karşı karşıya kalmıştı. Buzulların uçuruma benzeyen kenarlarını beyaz brandalarla kaplamanın, buzunu güneşten ve rüzgardan koruyarak erimeyi neredeyse durdurmak için yeterli olacağını düşündü. Kilimanjaro'nun brandaları en azından birkaç on yıllık, belki de bir asırlık bir nefes alma alanı satın alabilirdi. O sırada, dağın etekleri yeniden ormanlaştırılabilir, zirveye yükselen hava nemlendirilerek buzunu onarılabildi.

Bu fikre katkım, böyle bir iyileştirme çalışmasının, sanatçı Christo'ya çekici gelebileceğini önermek oldu zira partneri Jeanne-Claude ile birlikte Reichstag ve Miami'nin Biscayne

Körfezi'ndeki adalar gibi yerleri giydirmeleriyle ünlenmişlerdi. Güzelliğin korunması, kendi başına bir sanat olabilir, üzerinde çalışanlara ve buna o şekilde tanık olanlara ilham veren teknolojik yüceliğin bir enkarnasyonu haline gelebilir: “Beyaz branda, geçici bir umudu, insan iradesi ve yaratıcılığının, insanlık tarihinin herhangi bir döneminde olduğundan daha fazla değişime uğrayacak ve daha fazla korumaya ihtiyaç duyulacak bir yüzyılın zorluklarını karşılayabileceğine dair bir umudu, bulutların üzerinde yüzdürebilir.”

Hâlâ bunun oldukça iyi bir fikir olduğunu düşünüyorum ve o zaman, aslında biraz ilgi çekebileceğine dair kişisel bir umudum vardı ancak şimdi Christo'nun gelen tüm önerileri kesinlikle reddettiğini biliyorum. Beklemediğim şey, makaleyi yayımlayan gazetenin kendisinden sert bir karşılık almamıydı. Editöryal düşünceye muhalefet eden makaleler genellikle onları yayımlayan gazeteden farklı bir çizgiyi takip ederler ancak bir gazetenin sadece kendi sayfalarında yer alan bir fikri çürütmek için zaman ayırması nadirdir. Birkaç gün sonra yayımlanan başyazı bu nadir yazılardan biriydi. Güzellik, özen ve umuda dair bir sanat eserinin hoş karşılanmayacağını öne sürüyordu. Buzullardaki verileri mümkün olduğunca çabuk elde ettikten sonra onu kaderine terk etmek, böylece “Afrika'yı yeni bir simgeye, ormanların pervasızca yok edilmesindeki çılgınlığı vurgulayan çıplak bir dağ zirvesine” terk etmek daha iyiydi.

Bu, ilginç bir dersti. O sırada bana, güzelliği önemseme, Dünya'nın tarihine saygı gösterme ve başkalarının geçim kaynaklarını besleme fırsatını kaçırmamak yerine beşeri aptallıkta skor yapmayı tercih eden insanların varlığını gösteriyor gibi gelmişti. Ancak şimdi geriye dönüp baktığımda, skor yapma olarak adlandırmanın belki de haksız olduğunu düşünüyorum. Yediğim o fırçanın esası, budalalığın, verebileceği tüm zararı vermediği sürece, bir budalalık olarak kabul edilmeyeceği duygusuyla ilgiliydi. Ve bu aptallığın

tam olarak ortaya çıkması, pervasızca yapılacak daha fazla yıkımdan kaçınmanın tek yoluydu.

Bu duruşta bir hikmet olmadığını söyleyemem. Sadece paylaşmadığımı söyleyebilirim. Hiçbir şeyin korunamadığı ve yalnızca acı ve kayıptan öğrenilen bir dünyayı kabul etmeyi reddediyorum. İnsanları eylemlerinin sonuçlarından korumak bazen kötü bir fikirdir ve bu sonuçlar diğer insanların yaşamlarına zarar verdiğinde, bu tür korumalar belirli ahlaki sorunlar doğurur. Ancak böyle bir korumanın her koşulda her zaman kötü bir fikir olduğunu düşünmüyorum. İnsanları eylemlerinin verdiği zararların bir kısmından kurtarmanın onlara ve başkalarına yardımcı olabileceğini düşünüyorum. Örneğin, iğne değişimlerine bakın. İnsanların kendilerine zarar veren şeyleri yapmaya devam etmesine izin verirler ama değişimi yapan insanlara ve başkalarına verilen zararın bir kısmını alırlar. Dahası, bu zarar ve altında yatan tutum hakkında konuşmayı mümkün kılacak yollar sağlarlar.

İnsanların iklim jeomühendisliğinden neden korktuğunu anlıyorum. Muhtelif jeomühendislik teknikleri, olması gerektiği kadar iyi anlaşılmayan riskler doğurur ve bu tekniklerden bazılarını ciddiyle takip etmek, karbondioksit birikiminin dünyayı maruz bıraktığı riskleri sınırlamaya yönelik diğer çabaları zayıflatabilir. Jeomühendislik, insanların doğal gördüğü şeyleri kurcalar, bu da huzursuzluktan tiksintiye kadar uzanan çeşitli duygular uyandırır. Sorunun önemli bir parçası, zaten bu kurcalamanın kendisi olduğunda çoğu kişi, jeomühendislik önerisini aptalca bularak bunun bir çözüm olamayacağını düşünür.

Asla jeomühendisliğin tek çözüm olduğunu hatta çözümlerden bir çözüm olduğunu bile söylüyor değilim. Ancak iklim değişikliğini, çözülmesi gereken bir sorun olarak ele almanın bir hata olduğunu düşünüyorum. Sanayileşmiş bir uygarlığın hem şekillendirdiği hem de onun tarafından şekillendirildiği

bir yerküre sistemiyle ilişkisi kadar karmaşık bir şey, bir defada ve sonsuza kadar kesin olarak çözülecek türden bir şey değildir ve öyle olduğunu düşünmek bir tuzaktır.

Fakat, bir çözüm olmasalar bile yapılacak değerli şeyler var. Risk altındaki insanlara verilen zararı azaltacak ve aksi takdirde kaybolacak şeyleri koruyacak jeomühendislik biçimleri hayal edebiliyorum. Ayrıca, Antroposen'in bazı çelişkilerini hafifletecek şekilde, bir şeyin doğal sayılmasını gerektiren şeyin ne olduğu konusunda yeniden müzakere etmeye yardımcı olduğunu görebiliyorum. Hatta jeomühendisliği bir ilham kaynağı olarak bile görebilirim.

Önceki bölümün gösterdiği gibi, felaketler tasavvur etmek kolaydır. Yüzsüz ütopyalar hayal etmek çok daha zordur ya da en azından sansasyonel derecede çarpıcı bir ustalıkla hayal etmek öyle görünüyor. Bunun yerine insanlar, savaş planları ile film senaryoları arasında bir yerde durarak senaryolarla ilgilenmeyi tercih ediyorlar. İşte o senaryolardan inceleyebileceğimiz bir tanesi.

Konser

Bu işi yapan büyük bir ulus değildir, aslında bu faaliyet tek bir ulusa ait değildir. Küçük bir grup oluşur ve içlerinden ikisi uçak pistlerine ev sahipliği yapar. Kendilerine Konser derler. Ortaya çıktıktan sonra diğerleri onlara Hakaret adını takar. Hiçbiri çok zengin bir devlet değildir, ancak en az zayıf devletler arasında da değillerdir. Hepsi zaten düşük karbondioksit emisyonlarına sahiptir ve hepsi sıfır emisyon yolunda ilerlemektedir. Bu, güneşli havaları ve meltemli denizleri olan, ağır sanayiye yönelik bir eğilimi veya hırsı olmayan, küçük, gelişmekte olan ülkeler için çok zor olmayan ama yine de etkiyici bir durumdur. Dolayısıyla iklim açısından, iyi adamlara benzemektedirler. Ancak kendi düşük emisyonları ve uluslararası toplumun çevreye duyarlı kesiminin onlara duyduğu

saygı, vatandaşlarının karşı karşıya olduğu iklimsel risklerin azaltılmasında bir işe yaramamaktadır. Gerçekten de, verilen emisyonları hafifletme sözlerinin, bu ülkelerin kendi insanların güvenliği için hiçbir şey yapmaması, grubun kuruluşunu takip eden yıllarda birçok kez bir dönüm noktası olur.

Donanım, çoğunlukla Brezilya ve Endonezya havacılık endüstrisinden tedarik edilir. Uçakların tasarımında yeni olan parçalar sadece kanatlar ve püskürtme kitidir, motorlar ve gövdeler diğer uçaklardan uyarlanır. Kaldırma kapasitesini ve menzilini artıran tanker uçaklar tamamen standarttır. Bu uçağın geliştirilmesi, parasını yüksek yoğunluklu veri depolama sistemlerinden kazanan, dünyanın giderek çoğalan milyarderlerinden biri tarafından izlenmekte ve finanse edilmektedir. Kapak hikayesi, Virgin Galactic'in devamı niteliğinde bir uzay turizminin gelişimidir. Projenin adı, kapak unutulduğunda bile üstüne yapışıp kalan bir isim olarak Espedair'dir. Proje, emsallerinin en abartılısının bir yata harcadığından daha pahalıya mal olur ama bundan daha fazlasına değil.

Konser, biri Orta Amerika'da, diğeri Güney Pasifik'te olmak üzere iki operasyon alanına sahiptir. İlk yıl için, her iki bölgeden günde birkaç uçuşla, stratosfere yirmi otuz bin ton kadar aerosol taşır. Her iki yarımkürede de tropikal ve subtropikal tropopozun üzerine rahatça püskürtülen bu aerosoller, tolere edilebilir derecede eşit, dikkate değer ölçüde ince bir perde oluşturur. Bir zamanlar stratosferik aerosol yoğunluğunu ölçmeye adanmış, araştırmacıların bir perde oluşumunu fark etmelerini sağlayabilecek bir uydu vardır ancak o uydunun ömrü sona erdikten sonra yerini alabilecek bir başkası yapılmamıştır çünkü daima, ölçülmesi daha ilginç gelen şeyleri olan bir grup ve yeni başlatabileceğiniz bir sürü başka görev vardır.

Konser, on sekiz aylık operasyondan sonra, 2022'deki UNFCCC iklim zirvesinde neler yaptığını açıklar.

Programını bir sivil itaatsizlik eylemi olarak sunar. Bu ülkeler, aslında, uluslararası hukuku çiğnemediklerini söylemektedir. Eylemleri düşmanca olsa, ENMOD sözleşmesini ihlal etmiş olurlardı. Şayet kanıtlanabilir bir zarara neden olurlarsa, uluslararası hukuk uyarınca sorumlu tutulabilirler. Fakat onlar durumun böyle olmadığını iddia ederler. Öte yandan bu perdeyi yapan ülkeler, uluslararası ilişkileri mevcut normlara bir yük oluşturacak, rahatsız edecek hatta şok edecek şekilde çiğnediklerini memnuniyetle kabul etmektedir. Sivil itaatsizlik de böyle bir şeydir zaten. Konser, uğrunda savaşılacak haklı bir neden varsa fakat bu amaca yönelik herhangi bir ilerleme kaydedildiğini gösteren bir şey yoksa, sivil itaatsizliğin kaçınılmaz olduğunu savunur. Zamanın akışına uymamak bir suç değil, bir görevdir, demektedirler.

Konser, faaliyetlerinin pratik amacının basit ve sınırlı olduğunu açıklar. Isınmayı durdurmayı veya tersine çevirmeyi değil, sadece yavaşlatmayı amaçlamaktadırlar. Perdeyi, iklim modelcilerinin ısınma oranını on yılda 0,1°C veya altında tutacağını düşündüğü bir hızda kalınlaştırmayı planlamışlardır. Tarihe meraklı olanların hatırlayacağı gibi, 1980’lerde sera gazlarına karşı nasıl bir eylemde bulunulacağı ilk kez tartışıldığında, sıcaklık değişim hızına bir sınır konması, etraflıca tartışılmış bir hedefti. Konser bu hedefi başarabilirse, yüzyılın geri kalanında sıcaklık, yirminci yüzyılda arttığı kadar artacaktır. Böylece yüzyılın sonundaki toplam sıcaklık değişimi 2°C sınırının altında kalacaktır. Bunu başarmak için perdenin ne kadar kalın olması gerektiği gelecek emisyonlara bağlıdır. Emisyonlar hiç kontrol edilmese bile, bu perde, neredeyse bir asır boyunca Pinatubo’nun oluşturduğu perdenin kalınlığına ulaşmayacaktır.

Ancak Konser, emisyonların kontrolsüz kalmasını istemediğini açıkça ortaya koyar. Kendi üyelerinin yaptığı gibi, diğer ulusların da emisyonlarda oldukça yüksek kesintiler yapmasını ister. Ve bu tür taahhütlerde bulunan ülkeleri, özellikle

karbondioksit giderme teknolojilerinin belli bir süre içinde geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını taahhüt eden ülkeleri, saflarına katmaktan mutluluk duyacaktır. Bu teklifi kabul ederek Konser'e katılan ülkeler, yeni veriler ve yerküre sisteminin işleyişi hakkında elde edilen yeni bilgiler ışığında, perdeleme planındaki revizyonlarla ilgili kararlarda ve emisyon politikasındaki yeni eğilimlerin gerektirebileceği revizyonlarda söz sahibi olacaktır. Konser'in kurucu üyeleri, işe yetersiz veri ve yarım yamalak bilgilerle başladıklarının farkındadır ve bunun getirdiği riskleri azaltmak istemektedir. Konser'e katılmayan ülkelerin böyle bir hakkı olmayacaktır.

Konser'in en başından öngördüğü gibi bu tartışma, iklim zirvesinden Güvenlik Konseyi'ne, telaştan daha hızlı bir şekilde ilerler. Aslında bu duyurunun zamanlaması, Konser üyelerinden birinin, Güvenlik Konseyi'ne katıldığı toplantıya denk getirilmiştir. Konser'in, iklim üzerindeki gücü ele geçirmeye yönelik bu gözü kara girişimi yani yaşlı Al Gore'un dediği gibi, "gezegene yapılan bu darbe" girişimi, Konseyin bazı daimi üyeleriyle birlikte çeşitli ülkeler tarafından kınanır. BM sözleşmesinin barışa yönelik tehditler, barış ihlalleri ve saldırgan eylemlerle ilgili VII. Bölümüne, perde yapma tesislerini kapatmak için askeri güç kullanımına izin veren bir karar eklenmek istenir. Ancak bu karar, daimi üyelerden biri tarafından veto edilir. Konser yöneticilerinin beklediği gibi, BM Genel Sekreteri'ni, bir BM İklim Mühendisliği ve Koruması Sözleşmesi (UNCCEP) taslağının hazırlanmasına yönelik çalışmalar yapmak üzere bir konferans düzenlemeye çağıran ayrı bir karar kabul edilir.

BM'de olduğu gibi, Konser ülkelerinin halklarında da bir kargaşa vardır. Vatandaşlara ne olup bittiği anlatılmamıştır ve birçoğu, liderlerinin böyle bir programı gizlice yürütmesi nedeniyle şoktadır. İki hükümet düşer. Bunlardan biri, Espedair havaalanlarına ev sahipliği yapan ülkelere biridir. Ancak ikinci kilit ülkede, ulusal bir referandum planlanır.

Bu, Dünya'nın radyasyonel kuvveti hakkında şimdiye kadar yapılan ilk demokratik oylamadır. Temsil gücü yüksek bir oylama değildir. Seçmenler karardan etkilenen nüfusun yani tüm dünya nüfusunun sadece yüzde 0.04'ünü teşkil etmektedir ancak son oylama da olmayacaktır.

Birkaç yıl içinde, bazıları tropik bölgelerin oldukça dışında olanlar da dahil olmak üzere, bir dizi başka ülke Konser'e katılmak için müzakerelere başlar ve perde yapıcı uçakların uçabileceği tesislerin sayısı artar. Konser bu aşamada, dünyanın hiçbir büyük ekonomisinin katılmasını istemediğini ve katılım için gereken emisyonları azaltma "fiyatını" onları caydıracak şekilde sabitlediğini açıkça söylemese de bariz bir şekilde ortaya koyar. Bu arada BM'nin ilgili sözleşmesine yönelik müzakereler yavaş ilerlemektedir. Hem Konser'e hem Konser'in ateşli muhaliflerine, hem Espedair uçaklarını alttan alta destekleyen ve sayıları giderek artan ülkelere ve hem de kararsız çoğunluğa uyacak bir anlaşma yapmak kolay değildir.

Birkaç yıl sonra, dünyanın en büyük ekonomilerinden biri, Konser üyesi olmamasına rağmen emisyon indirim hızını daha önce UNFCCC müzakerelerinde taahhüt ettiğinin üstünde artıracağını söyleyerek değişen duruma doğrudan bir atıf yapar. Yöneticileri, sera gazı birikimini yavaşlatmanın zaten her zaman iyi bir fikir olduğunu ve eğer bunu daha hızlı yapmak Konser'in daha az aerosol püskürtmesi anlamına geliyorsa bunun emisyon indirimi için ilave bir neden olduğunu açıklar. Bu, diğerlerini de aynı şeyi yapmaya teşvik eder. Bir başka büyük ekonomi önceki planlarını gevşetir. Artık fosil yakıt ve ağır sanayi lobilerine emisyonları azaltmanın geçmişte iddia edildiği kadar acil bir hal aldığını söyleyemez hale gelirler. Aynı hükümetler başka koşullar altında ilgili politikayı sıkılaştırır mıydı yoksa gevşetir miydi? Bunu bilmenin sağlam bir yolu yoktur.

BM'deki VII. Bölüm tartışması gerçekten gergin hissettirmiş olsa da yeni düzenlemenin askeri çatışmaları kışkırtma ola-

sılığı yıllar içinde azalıyor gibi görünür. Eğer Konser büyük güçlerden biri olsaydı, perde yapımı, jeopolitik iradenin tahammül edilemez bir dayatması olarak hissedilirdi ama değildir. Kurucu üyeleri, orta sınıftan, ciddi bir etkisi olmayan ülkelerdir. Dünya gündemi üzerinde, iklime verilen zararı sınırlamanın iyi olacağına karar vermekten ve bu amaç doğrultusunda hareket etmenin bir yolunu bulmaktan başka bir iddiaları yoktur ve gizli bir ajandalarının olduğunu varsaymak oldukça zordur. 1980’lerde Vaclav Havel’in “güçsüzlerin gücü” dediği şeyin bir biçiminden yararlanmaktadırlar ve gerçekte başka bir hesapları olsa dahi ne yapabilirler ki?

Halk her yerde tepki gösterir. Birçok insan huzursuzdur; bazıları derinden rahatsızdır. Uçakların kimyasal madde püskürttüğü için gökyüzünde sıradışı izler bıraktığını iddia eden komplo teorisyenleri, çatılardan başından beri haklı olduklarını haykırmaktadırlar (Konser’in gerçekte neyin peşinde olduğu ya da arkasında gerçekten kimin olduğu konusunda hiçbir zaman anlaşamaları da). Jeomühendislik araştırmalarındaki insanların uzun süredir korktuğu gibi, Amerika ve başka ülkelerdeki bazı kimseler, Konser’in bunu bütünüyle kapsadığı iddiası endişe verici olmadığı için küresel ısınmanın emisyon indirimi gerektirmediği görüşünden bir gecede “süper yüzsüz bir şekilde” dönerler. Yeşil politikacılar ve aktivistler, yani Konser’e, gücünü BM’ye teslim etmesi için çağrıda bulunmayanlar, çoğunlukla Konser’in iklim konusundaki adaleti böyle karşılıksız bir biçimde ve kendi kendine sağlama yöntemini açıkça kınarlar. Gökyüzü Çobanları adlı bir eylem grubu, Espedair havalimanlarından kolay erişilebilir olan iki tanesini, pistin üzerinde uçan balonlar ve özel hafif uçakla yıllarca abluka altında tutar. Ancak uzun vadede bu bölgelere, yetkililerin oradakilere el koyabileceği kadar hızlı bir şekilde yeni uçak gönderemezler.

Konuyu takip eden çoğu insan endişeli veya en azından canı sıkılmış vaziyettedir; bazıları rahatlamıştır; birkaçı gelişmeyi

gerçekten memnuniyetle karşılar. Dünyanın herhangi bir yerinde yaşayan insanlara Espedair uçaklarından birine yolcu olarak binme şansı sunan piyango başarılı olur. Dünya'ya Tanrı'nın gözüyle bakma ve aynı anda hem yerküre sistemine hem de dünya tarihine müdahil olma duygusu, koşullar biraz klostrofobik olsa da sarhoş edicidir. Yerde insanlar günbatımını, gençlik yıllarından ya da sadece birkaç yıl öncesinden hatırladıkları günbatımlarıyla karşılaştırarak, yeni bir dikkatle incelerler. Birçoğu kendisini bir fark gördüğüne ikna etse de aslında bu aşamada gerçek bir fark yoktur.

Spekülasyonlardan oluşan bu hikaye açıkçası, güneş jeomühendisliğini biraz çekici bir imkan olarak sunma amacı güdüyor. Peki ya bu ipe dizilmiş boncukların her biri? Birbirlerine bağlanma şekillerinden bağımsız olarak, ayrı ayrı ele alındıklarında makuller mi? Büyük ölçüde öyle olduklarını düşünüyorum.

Tropiklerde havaalanı olan birkaç küçük devlet ve bir teknoloji milyarder hayırseverin küçük bir aerosol jeomühendisliği denemesine kalkışması mümkün mü? Evet. Dördüncü bölümde anlatılan aurora araştırması, yılda yaklaşık iki milyar dolara çok daha büyük bir denemenin yapılabileceğini iddia ediyor. İlk yıllarında yalnızca on binlerce tonu kaldıracak şekilde yapılandırılan birinci nesil bir sistem çok daha ucuz olabilir. Yirmi iki kilometre yüksekte uçabilen bir uçak tasarlamak, başka bir şey yapmadığı sürece o kadar da zor bir şey değildir ve bu tür uçakları inşa etmek, hepsi gelişmiş dünyanın bir parçası olmayan bir düzineden fazla ülkedeki şirketlerin yapabileceği bir şeydir.

Milyarder jeomühendis ifadesinin artık eskimiş bir kinaye olması kısmen bu teknolojik fizibilite yüzündendir. Jeoklik içinde buna "Greenfinger" senaryosu denir. Sanırım, şimdi Kaliforniya Üniversitesi, San Diego'da olan siyaset bilimci David Victor'ın James Bond'a yaptığı bir göndermedir.

Ne de olsa milyarderlerin ya Richard Branson'ın Virgin Galactic ve Elon Musk'ın SpaceX ile yaptığı gibi halka açık olarak ya da Jeff Bezos'un Blue Origin ile yaptığı gibi daha özel olarak uzay gemileri inşa etmesi neredeyse sıradanlaşmış durumda. Greenfinger fikrinin yani iklimi aşağı yukarı kendi başına ele geçirmeye çalışan bir milyarder olasılığının saf haliyle son derece mantıksız olduğunu düşünüyorum. Bu konuda pek çok kişinin yaptığı gibi Bill Gates örneğini düşünün. Bazı jeomühendislik araştırmalarını finanse etti. Dahası, Stephen Salter'ın okyanusun yüzeyini soğutarak kasırgaları bozmayı düşündüğü cihazın patentinin ortaklarından birisidir zira bu fikir, Gates'in katıldığı bir tartışma sırasında ete kemiğe bürünmüştü. Ancak bu, Gates'in böyle bir teknolojinin uygulanmasını istediği anlamına gelmez, bundan daha az olası olan onu kendi başına uygulamanın iyi bir fikir olacağını düşünmesidir. Bundan da daha az olası olan ise, Amerikan hükümetinin ona bu konuda izin vereceğini düşünmesi olur çünkü milyarderler bütün hukukun üstünde değildir.

Ancak Bond filmlerindeki gibi kötü adamların olmaması, zengin insanların servetlerini dünyayı değiştirecek bir biçimde artıracak yeni teknolojiler aramadıkları anlamına gelmez. Bill ve Melinda Gates, aşı programını finanse ederek milyonlarca insanın kurtulmasında rol oynadı. Finanse ettikleri program, Hitler, Stalin ve Mao Zedong'un öldürdüklerine benzer sayıda hayat kurtarıyor. Bu bana son derece dikkat çekici gelen bir başarı. Elon Musk, gerçekten de insanların uzay yolculuğunu çok daha ucuz ve dolayısıyla daha rutin bir hale getirme niyetindedir. Bence bunu başarabilir ve bunu yaparak tarihin akışını değiştireceğine içtenlikle inanmaktadır. Megalomani yerine büyük bir iyilik düşüncesiyle motive olan, yalnızca mütevazı bir etki hedefleyen, küçük bir egemen devletler grubunun yönettiği ve onlar adına çalışan bir Greenfinger fikri, elinin tersiyle öyle hemen itilecek bir şey değildir.

Böyle bir şeyin gizlice gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği cevaplaması zor bir sorudur. Yüksek düzeyde güvenlik, bilginin bölümlere ayrılması ve Konser adına bazı inandırıcı kapak hikayeleri gerektirecektir. İyi bir kapak hikayesi, oldukça önemli şeylerin, başka uydular tarafından izlense bile gizlice yapılmasını mümkün kılar. Amerikan hükümetinin, Suudilerin 1980’lerde, Çin’den satın alınan nükleer olmayan balistik füzelerden oluşan bir güç oluşturduğunu ilk filolar faaliyete geçene kadar bilmediği gerçeği bunun bir delilidir. Ne yaptığınızı tespit edebilecek güvenlik birimlerinin çok dikkatli bakmaması buna yardımcı olur. Ufacık bir gizli jeomühendislik çabası için durumun böyle olup olmayacağı hakkında hiçbir fikrim yok. İstihbarat teşkilatlarının analistlerine daima kapasitelerinden daha fazla iş yükledikleri ve bunun insanların üzerinde fazla duracağı bir şey olmayacağı düşüncesine yatkınım. Ayrıca, Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi’nin 2015 yılında hazırladığı iki iklim jeomühendisliği raporunu CIA’in sipariş ettiğini ve finansmanının büyük ölçüde oradan karşılandığını biliyorum. Bu, oradaki birilerinin bu alandaki olası gelişmelere belli bir ilgi duyduğunu ancak art niyetli programları tespit etmeye yönelik herhangi bir istihbarat toplama çabası olmadığını gösteriyor.

Üstelik diğer hükümetler tarafından fark edilmek, Konser’in yaptığı şeyin mutlaka engelleneceği anlamına gelmez. Bir istihbarat teşkilatının analistleri faaliyetlerinin amacını ortaya koyabilir ancak yöneticiler bu amacı ciddiye almayabilir. Fikir ciddiye alınır ancak yanıt olarak hiçbir şey yapılamaz zira nasıl yanıt verileceği konusunda bir anlaşmaya varılamayabilir. Hiçbir sonuç vermeyen, gözden kaçan bir yanıt verilebilir veya vaatte bulunulabilir. Ya da devam etmesi için üstü kapalı bir onay anlamına gelecek şekilde hiçbir cevap verilmeyebilir. 202? iklim zirvesindeki duyuruyla şoke olan insanların bazıları bunu rol icabı yaparlarsa bu bir ilk olmaz.

Peki ya dünyayı değiştirmeye çalışan küçük bir devletler topluluğu olan Konser’e ne olacak? Ticari müzakereler gibi iklim

müzakereleri de rutin bir biçimde farklı taraflar arasındaki ortak çıkarları, bazen küçük bir grup siyasi girişimcinin önyak olmasıyla ortaya çıkarır. Mesela, deniz seviyelerinin yükselmesini varoluşsal bir tehdit olarak gören bir dizi ülkenin ortak bir ses vermek için 1990'ların başında kurduğu Küçük Ada Devletleri İttifakı'nın UNFCCC'de yer alması bunun bir sonucudur. İklim değişikliği müzakerelerini takip eden hiç kimse, Bali'deki UNFCCC toplantısında, bu ittifakın bir parçası olan Papua Yeni Gine'den Kevin Conrad'ın Amerika Birleşik Devletleri'ne şunları söylediği anı ve ardından Amerika'nın hemen pes ettiğini kolay kolay unutamaz: "Liderlik etmenizi rica ediyoruz, liderlik etmenizi bekliyoruz ama herhangi bir nedenle bunu yapmak istemiyorsanız (...) lütfen yoldan çekilin." Bu senaryo bir kurgu roman değil ve aklımda Konser için aday ülkeler yok. Fakat bunun oluşması için gereken dinamığın mümkün olduğunu düşünüyorum. Gelişmekte olan ülkelerin payına büyük iklimsel riskler düşüyor ve bu ülkelerin bazıları, harekete geçmek için dünyanın en büyük yayıcılarının yaptıklarından çok farklı yollar deneyebilir.

Ayrıca, Konser'in hayata geçireceği sistem, genel anlamda iklim müzakereleri için çok uygun bir sistemdir. David Victor ve başkaları, iklime yönelik bir "kulüp" yaklaşımının önemli faydalar sağlayabileceğini ileri sürüyor. Söz konusu kulüpler, azaltma, uyarılma ve diğer eylemleri özel çıkarlarına uygun bir şekilde yapmaya ilişkin anlaşmalarla nispeten sıkı bir şekilde birbirine bağlı olan milletlerden oluşacaktır. Bu tür kulüplerde çok taraflı ve hatta ikili anlaşmalar, BM iklim diplomasisinin kapsamı dışında kalan tavizler içerebilecek düzenlemeler yapan büyük yayıcılar, Suudi Arabistan'dan Bolivya'ya kadar herkes için eşit derecede kabul edilebilir anlaşmalar yaparak BM süreciyle düzenlenebilecek olandan daha büyük kesintiler için birbirlerini teşvik edebilirler.

Konser'in yaklaşımı, genel faydaları, iklim jeomühendisliğini hafifletme vaatlerine ve olası başka şeylere bağlayarak,

bu tür kulüplerin sağlayabileceğinin üzerine inşa etmeyi amaçlamaktadır. Jeomühendislik ile hafifletme arasındaki bağlantı normalde ya/ya da olarak ele alınır ve jeomühendisliğin hafifletme olasılığını düşürdüğü düşünülür. Ancak hukukçu Edward Parson'ın da dediği gibi, hafifletme ile iklim jeomühendisliği arasındaki bazı bağlantı biçimleri, hafifletmeyi koordine etmeyi kolaylaştırabilir ve böylece dünya, emisyonların daha çok azaldığına şahit olabilir.

Bu, tüm jeomühendislik senaryoları için geçerli değildir. Parson'ın işaret ettiği gibi, eğer jeomühendislik yalnızca gelecekte belirsiz bir zamanda ortaya çıkacak acil bir duruma verilecek bir yanıt olarak görülüyorsa, onu mevcut hafifletme eylemleriyle ilişkilendirmeye çalışmak –örneğin, şayet insanlar bugün güçlü bir hafifletme yaparlarsa, gerçekten gerekli olursa jeomühendislik yapmalarına izin verilir fakat yapmazlarsa bu olmaz demek– hiç pratik görünmüyor. Böyle bir bağlantının, insanların, onlarca yıl sonraki haleflerini de yeterince bağlayacağından emin olmanın hayal edilebilen bir yolu yoktur.

Ancak Parson, jeomühendislik gerçekten masadaysa veya zaten oluyorsa, bağlantının çok daha uygulanabilir olduğunu savunuyor. Bu, etkileyici diplomatik başarılar gerektirecektir. Ancak güçlü bir iklim eylemi tasavvur eden her senaryo, akıllı ve incelikli diplomasi yoluyla bir araya getirilen uluslararası anlaşmalar düşünmek zorundadır. İklim jeomühendisliği yokken bu tür müzakerelere bir sempati gösteriyorsanız, varlığında onları dışlamak haksızlık gibi görünüyor. Bu tür müzakerelere hiçbir zaman sempati duymuyorsanız, emisyonların azaltılmasına yönelik herhangi bir büyük diplomatik katkıyı reddediyorsunuz demektir. Bu nokta artık tanıdık gelebilir çünkü daha önce başka şekillerde konu olmuştu ancak tekrar etmeye değer olduğunu düşünüyorum. Jeomühendisliği iklim riskine karşı kullanan yaklaşımları sadece mümkün olan en iyi jeomühendislik dışı yaklaşımlarla karşılaştırmak, dünyaya bakışınızı, aldatıcı hale getirecek kadar çarpıtır.

Perdeleme ile hafifletme arasında, ahlaki tehlike endişesinin söylediği gibi, birini diğeriyle takas etmek yerine her ikisini de teşvik eden bir bağlantı kurma imkanı, Konser senaryosunun yapaylığının çok ötesinde bir geçerliliğe sahiptir. Bu, jeomühendisliğe yönelik herhangi bir hareketin nasıl yönetilmesi gerektiğine dair imalar içerdiğinden biraz daha incelenmeye değer.

İklim jeomühendisliğinin genellikle ve doğru bir şekilde, uluslararası yönetimde yeni zorluklar ortaya çıkardığı söylenir ve sık sık bu zorlukların, mutlaka uygulanmadan önce ele alınması gerektiği ileri sürülür. Birçok insan, bu süreç için iyi bir modelin olmayışını, uygulanabilir teknolojilere yakın herhangi bir şeye ulaşabilecek araştırmalardan kaçınmanın bir nedeni olarak görüyor. Endişeleri, şayet geçmişte geniş bir yelpazedeki birçok teknoloji ileriye dönük tasarlanabilmiş olsaydı, bugün topluma çok daha iyi hizmet etmiş olmaları gerektiğine dair sezgisel bakımdan açık (ancak kanıtlanabilir olmayan) inançtan kaynaklanmaktadır. Böyle bir öngörünün yokluğunda, teknolojinin ağırlıklı olarak zaten güçlü grupların çıkarlarına hizmet edecek şekilde konuşlandırılması daha olasıdır ki bu, çoğu zaman kamu yararına olabileceği kadar iyi hizmet etmeyeceği anlamına gelir. Verilen zarar, elde edilen faydadan daha büyük olabilir ve zarar da kâr da eşit olmayan bir şekilde paylaşılacaktır.

Buna karşın, önceden yönetimin asla mükemmel olmayacağı kesinliği de dikkate alınmalıdır. Cin şişeden çıktıktan sonra yönetim yapılarını geliştirmeye çalışmanın bariz problemleri vardır –Bernard Baruch’a sorun– ancak tüm yönetim sistemlerini önceden aşırı spesifik bir biçimde tanımlamaya çalışmak da problemlidir. Aşırı önlem, aslında güvenli, adil, hakkaniyetli bir biçimde yönetilebilecek şeylerin bu olasılıkların gerçekleşmesi için yeterince gelişmemesine yol açabilir. Ayrıca, yönetimin çerçevesini tamamen reddetmek ve ne olursa olsun devam etmek konusunda insanları daha haklı hissettirebilir.

Daha önce de söylediğim gibi, yönetim ve teknolojinin birlikte gelişmesine izin vermek, araştırmacıların olası yaklaşımları incelerken yönetimi dikkate almalarını sağlamak, yönetimle ilgilenen kişilerin araştırmanın gerçekte nereye gittiğine daha yakından bakmalarını sağlamak daha iyidir. Bir örnek: Bazı insanlar, bir sonlandırma şoku olmayacaksa, güneş enerjisi jeomühendisliğinin bitmeyen bir taahhüt gerektirdiğinden çok endişe ediyor. Bu, taahhüdün tanım gereği az ya da çok sınırlı süreli olduğu senaryolara bakmayı iyi bir fikir yapar. David Keith ve meslektaşları, bu nedenle, ısınma oranını, aksi takdirde olacağının yarısına kadar yavaşlatmak için stratosferik bir örtünün kullanıldığı bir senaryo geliştirdiler. Bu hedef, sera gazı seviyeleri stabilize olmaya başladığında perdenin incelmeye başlayacağı anlamına gelir. Yukarıda anlattığımız biçimiyle Konser senaryosu da benzer şekilde kendi kendini sınırlar. Bu tür senaryoların varlığı, perde eleştirmenlerinin, bunun zorunlu olarak yüzlerce veya binlerce yıl sürecek bir taahhüt anlamına geldiğinde ısrar etmelerini engellemez. Ama böyle senaryoların olması gerekir.

Mühendislik ve yönetimin birlikte gelişmesinin riskleri vardır, özellikle de ele geçirme riski. Bir teknoloji ve onun yönetimi el ele geliştiğinde, yönetim hakkında düşünen insanlar zaman içinde, teknolojinin daha fazla gelişmesi gerekip gerekmediğine değil, teknolojinin nasıl gelişmesi gerektiğine daha çok odaklanmaya başlar. Ancak toplumlar bazen belirli teknolojik yollara “kilitlenseler” de, bu kilidi kendileri açabilirler de. 1960’larda bir süpersonik yolcu taşımacılığı çağı başlatmak için çok çalışıldı ancak Concorde’un ürettiğinden başka bir SST biçimi oluşmadı. Almanya, iyi düzenlenmiş büyük bir nükleer sanayiye sahipti ama bu, o çalışmaların son bulmasına engel olmadı. Uluslar ve bireyler, gelişmelerini veya kullanımlarını kaçınılmaz bir şey gibi göstermeye çalışan yadsınamaz güçlere rağmen teknolojilerden yüz çevirebilmektedir.

Genel olarak bana öyle geliyor ki, iklim değişikliğine verilen geniş bir cevabın bir parçası olarak el birliğiyle geliştirmek için jeomühendisliğin nasıl yapılacağına ve ne tür bir jeomühendisliğin hangi koşullar altında yapılabileceğine dair fikirlerin üretilmesine uygun bir durum var. Ve yine bana öyle geliyor ki, hafifletme ile perdeleme arasındaki bağlantı olasılığı böyle bir yaklaşımı güçlendiriyor. Jeomühendislik, kazara yapılan iklim değişikliğinin sahip olmadığı özelliklere sahip ve kimin en kolay neyi yapabileceği konusunda anlaşmayı kolaylaştırıyor.

UNFCCC kapsamında yapılmaya çalışılanlar gibi, iklim değişikliğine ilişkin uluslararası anlaşmaların koordinasyonu, ilgili belirsizlikler ve süreler nedeniyle çok zordur. Hafifletme maliyetlerinin en düşük olduğu yerler, genel olarak, bunun faydalarının en fazla olduğu yerler olmayacak ve söz konusu faydalar, maliyetlerin ödenmeye başladığı zamandan on veya yüzyıllar sonra hissedilecektir. Güneş jeomühendisliği çok daha basittir. Birçok farklı oyuncunun eylemlerini önceden koordine etmek zorunda değilsiniz. Etkilerini görmek için başka bir nesli beklemenize gerek yok. Açık sorumluluklar ve hızlı etkiler var ve bu, sorunu esasen daha izlenebilir kılıyor gibi görünüyor. İklim jeomühendisliğine karşı, onun bu özelliklerini daha zor bir sorun olan hafifletme yönetimine bağlayan bir yaklaşım geliştirmek, size daha uygulanabilir bir sistem sağlayabilir. Peki bu kesin mi? Tabii ki hayır. Şimdi göreceğimiz gibi, azınlığın eylemi ve hızlı tepki, güneş ışığı jeomühendisliğini çok istikrarsız bir hale getirebilir. Ama bir şansı var mı? Evet. Konser senaryosunun göstermek istediği şeylerden biri de budur.

Küçük Etkiler ve Kötü Sonuçları

Konser senaryosunun, jeomühendislik politikaları ve teknolojisi hakkında faydalı gerçekleri ortaya çıkardığını düşünmemin ana nedenleri bunlar. Henüz tartışmadığım şey, senaryonun yerküre sistemi için ne anlama geldiği. Ve bunun bir

nedeni var: Zira yakın vadede muhtemelen çok az şey ifade edecek ve etkilerini tespit etmek imkansız olacak. 1990 ve 2000'lerdeki farklı ısınma hızlarının gösterdiği gibi, iklim on yıldan on yıla oldukça değişiklik gösterir. Böyle bir arka plan-da, Konser gibi mütevazı bir müdahalenin etkileri uzunca bir süre net olarak görülemeyecektir.

Bu tespit sorunu, söz konusu çabayı anlamsız kılmayacaktır. Aksi takdirde beklenecek olandan daha az ısınma ile geçen bir dönem, Espedair perdelemesinin bir sonucu olduğu açıkça görülse de görülmese de, azaltılmış etkiler ve daha kolay adaptasyon açısından iyi bir şey olacaktır. Aynı durum, hafifletme çabalarını jeomühendisliğe bağlamanın olası diplomatik faydaları için de geçerlidir. Bu tür çabalara nasıl bir sınır konulması gerektiğini tanımlamak için tasarlanmış uluslararası bir politika süreci, bunların çok başarılı olup olmadıklarından bağımsız olarak net bir kazanım olacaktır ve bu, aerosollerin stratosferdeki ozon, diğer kimyasal süreçler, su içeriği ve sıcaklık üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesine imkan sağlayan operasyonel bir deneyim sağlayacaktır.

Bana göre Konser senaryosunun ortaya çıkardığı en önemli şey, bir güneş jeomühendisliği programının, mutlak etkileri bakımından küçük olmasına rağmen yararlı olabileceği bilgisidir. Güneş jeomühendisliğinden, normalde, küresel ısınmayı durdurmanın veya gerçekten tersine çevirmenin bir yolu olarak bahsedilir ve bunun anlaşılabilir olmasının üç nedeni vardır. Durdur ya da geri al, insanların bir çözüm aramaya başladıklarında bekledikleri kesin sonuç türünden bir şeydir. İklim modelleri, büyük müdahalelerin etkilerini küçük müdahalelerden çok daha iyi gösterir ve bu nedenle modelciler son derece makul bir şekilde büyük müdahalelere odaklanmışlardır. Ve durdur ya da geri al, teknolojinin özgün bir özelliğidir. Mevcut bilgilerimize göre, büyük ölçekli bir stratosferik perdeleme (ve daha az kesin olsa da, muhtemelen, deniz bulutlarını aydınlatma) programının, gezegenin ısınmasını uzunca

bir süre durdurabileceği veya onu gerçekten bir miktar soğutabileceği ve aynı zaman ölçeğinde başka hiçbir şeyin bunu yapamayacağı oldukça açıktır. Ancak bunların hiçbiri, güneş enerjisi jeomühendisliğinin sadece durdur ya da geri al için kullanılmak zorunda olduğu anlamına gelmez.

Isınmayı yavaşlatmak birçok zararı önleyebilir. Yavaşlayan ısınmayı, daha fazla ve daha iyi sıfır emisyonlu teknolojilerin konuşlandırılacağı bir nefes alma alanı olarak kullanmak iyi bir strateji olacaktır. İzlenen stratejinin bu olmaması ve hafifletmenin eski hızında ilerlemesi durumunda bile faydaları olacaktır. Daha yavaş ısınma, küresel uyumun, yerel olarak daha kolay sağlanacağı bir yoldur.

Ancak bu, işlerin mutlaka en iyi şekilde hatta iyi şekilde sonuçlanacağı anlamına gelmez. Konser'in başarısız olabileceği birkaç senaryo şunlardır.

Birinci senaryo, ahlaki tehlike kabusudur. Bazı ülkeler Konser'in girişimine cevap olarak emisyon azaltma çabalarını artırırken, daha fazla sayıda ülke bunun tam tersini yapar. Bu gelişmeyi önemsememeyi bırakırlar ve kendilerine uygun olan her yerde fosil yakıtları yakarlar. Sonuçta, eğer işler kötüye giderse, buna bir tepki olarak perdeyi kalınlaştırabileceklerini iddia ederler. Konser ülkeleri bunu onaylamaz ancak verebilecekleri bir yanıt olarak çok az seçenekleri vardır. Nasıl halihazırda nükleer silahları olan ulusların Nükleer Silahların Yayılmasını Önleme Anlaşması'nda özel bir statüsü varsa, bu teknolojiyi kullanımlarına ve dolayısıyla kendi stratejilerine, gelecek UNCCEP müzakerelerinde ayrıcalıklı bir statü kazandırmaya çalışırlar. Uluslararası hukukun bir şekilde sabitlenebileceğini ve böylece kendi jeomühendislik biçimlerini, belli bir BM gözetimi altında kabul edilebilir tek biçim haline getirilebileceklerini umarlar. Ancak istediklerini alamazlar.

Herhangi bir pişmanlık duymayan karbondioksit yayıcıları, kendi perde yapıcı filolarını geliştirirler ve perdeyi dünya

sıcaklığını sanayi öncesi seviyenin 1.5°C üzerinde sabitleyecek kadar kalınlaştırmaya başlarlar. Dünya, kısmen Konser, perdelemenin bir felakete yol açması gerekmediği fikrine alıştırdığı için, kısmen perdelemenin olumsuz etkileri bugüne kadar ihmal edilebilir olduğu için, kısmen yeni dengeleyicilerden birinin büyük bir askeri gücü ve Güvenlik Konseyi'nde daimi bir sandalyesi olduğu için ve kısmen de her zaman olduğu gibi, ilgilenilmesi gereken daha acil meseleler olduğu için bu yeni yaklaşımı kabul eder. Konser'in teşvik etmeye çalıştığı karbondioksit uzaklaştırma teknolojisi, bugün CCS teknolojisine olduğu gibi, yaygın bir şekilde kullanılmadan gevşer. İklim değişikliğine verilen cevap, "Beni saflaştır Tanrım ama henüz değil"den "Önemli değil Tanrım, biz buna sahibiz"e kayar.

Yüzyılın sonuna doğru karbondioksit seviyesi 750 ppm'ye yakındır ve hâlâ yükselmektedir. İnsan kaynaklı emisyonlar zirve noktasından aşağıya doğru düşmektedir ancak bunu çok yavaş yapmaktadır ve bu nedenle karbondioksit seviyesi hâlâ önemli boyutlardadır. Okyanuslar ısındıkça, salınan karbondioksit içinde emebilecekleri oran azalmış, böylece atmosferde kalan emisyon miktarı artmıştır. 750 ppm'den beklenen ısınmanın yarısından fazlası aerosoller tarafından tutulur ve aerosol soğutması ile sera ısınması arasındaki uyumsuzluk ortaya çıkar. Düşük seviyede güneş enerjisi jeomühendisliğinin vadettiği, herkesin kazanacağı o tatlı nokta artık çok geride kalmıştır. Tropik ve subtropiklerin çoğunda hidrolojik döngüde kalıcı değişiklikler olur. El Nino ve La Nina olaylarının ritimleri ve yoğunlukları değişir. Okyanus asitlenmesi birçok mercanı ve diğer bazı ekosistemleri harap eder ve etkileri kötüleşir. Ve sıcaklık sabitlenmiş olsa da mühendislik uluslarının önlemek istediği muhtelif değişiklikler her halükarda gerçekleşir. Arktik deniz buzu, çoğu yıl yaz aylarında hemen hemen tamamen erir. Grönland buz tabakası endişe verici derecede istikrarsızlaşır.

Bu iyi bir sonuç değildir. Ancak birçok yönden, güneş enerjisi jeomühendisliği şapkasının olmadığı 750 ppm’lik bir dünyadan daha iyi bir sonuçtur zira yüksek sıcaklıklar insanlara, ekinlere ve vahşi yaşama gerçekten zarar verir. Önemli ölçüde daha kötü bir sonuç, başka şekillerde de ortaya çıkabilir. Genel olarak daha kötü olup olmayacağını söylemek imkansızdır, sadece mevcut modellerde böyle bir karar vermenizi sağlayacak türden ayrıntılar olmadığı için değil, aynı zamanda “daha kötünün” her zaman farklı insanların beklentilerinde farklı anlamlara geldiği için de. Ve mühendislik ürünü bu gezegen artık ek bir sonlandırma şoku riski de taşımaktadır. Hiç kimse ilgilenmiyormuş gibi görüldüğü için sonlandırmanın nasıl gerçekleşeceğini kimse söyleyememektedir ancak bunun olabileceği gerçeği bazı zihinlere ağır gelebilir.

Eğer güneş jeomühendisliği seçeneğinin hayata geçirilmesi durumunda dünyanın hafifletmeyi büyük ölçüde terk edeceğine ve jeomühendislik sıkı sıkıya masanın dışında tutulduğu sürece, dünyanın gelecek yüzyılda emisyonların azaltılmasına daha istekli olacağına gerçekten inanıyorsanız, ibretlik bir hikaye olarak kullanmanız gereken senaryo budur. Fakat bana öyle geliyor ki, bu inanç çifti insanı hem felaketli iklim değişikliği risklerinden hem de iklim jeomühendisliği risklerinden kaçmak için oldukça dar bir “bilgelige” hapsediyor. Eğer dünya yeterince bilge değilse, güçlü bir hafifletme olmaz, risklerden kaçamaz ve çok fazla iklim değişikliği yaşarsınız. Eğer dünya, jeomühendislik uygulanırken bile, hafifletme için hâlâ güçlü bir durum olduğunu anlayacak kadar bilgeyse, jeomühendislikten kaçamazsınız. Hem büyük iklim değişikliğinden hem de jeomühendislikten ancak dünya yeterince bilge olduğu halde bilgece davranmazsa kaçınabilirsiniz.

Ama bunlar kimsenin kesin olarak bilebileceği şeyler değildir. Zaten bir miktar güneş enerjisi jeomühendisliğine sahip olan bir dünyada, bazılarının bu miktarı düşüncesizce artırması ve diğerlerinin onları durduramaması veya bunu

istememesi oldukça olasıdır. Bunun kesinlikle dikkate alınması gerekir.

Bu ahlaki tehlike kabusunun ilginç ve küçük bir varyasyonu, natüralizm hizipleşmesi denilebilecek bir senaryodur. Bu senaryoda Konser'in kurucu üyelerinden biri olan küçük bir ada ülkesi, alkaliteyi artırarak çok değerli, çok güzel ve çok ziyaret edilen mercan resiflerini korumak için etrafındaki okyanusu kireçleyen bir teknoloji geliştirmeye başlar. Konser'deki diğer ülkeler buna şiddetle karşı çıkar ve bunu, mercan adası ülkesinin küresel emisyon kesintilerini teşvik etme taahhüdüne ters bir eylem olarak görürler.

Konser, başlangıcından beri, Paul Crutzen'in 2006'da yaptığı gibi, iklim jeomühendisliği konusunda her zaman her iki yöne de sahip olmaya çalışmıştır. Üyeleri, planlarını, kendi içinde olası bir fayda sağlayan ve insanları, hafifletmeyi daha ciddiye almaları konusunda korkutan bir yol olarak görmüştür. Konser üyelerinin bazılarını birincisi, bazılarını ise ikincisi daha çok motive etmiştir ama hepsi bu ikisinin birbirini dışlamadığını bilmektedir. Fakat mercan adası ülkesi, okyanusun asitlenme riskini en azından kendisi için ortadan kaldırmaya çalışarak, çok ileri gitmiş ve orta yolu yıkmıştır. Konser dağılır, diğer perde yapıcılar devreye girer ve insanlar, bazıları feci şekilde kötü giden birçok yeni okyanus kimyası modifikasyonunu denerken dünya, ahlaki tehlike kabusu sürecine girer.

Halihazırda radikal bir güneş enerjisi jeomühendisliği programıyla meşgul olan ülkeler arasında, okyanus asitlenmesine karşı küçük ölçekli bir eylemin ortaya koyduğu ahlaki tehlike nedeniyle bir anlaşmazlık çıkması, jeomühendislik tartışmalarının bazı eski müdavimlerine neredeyse gerçeküstü gibi gelir. Oysa geriye doğru bakıldığında, Konser'in yerküre sisteminin yalnızca bir yönüne jeomühendislik uygulama fikrinin istikrarlı olmasının asla muhtemel olmadığı görülür. Bir alanda uygulanan jeomühendisliğin diğer alanlarda da jeomühendis-

liğe yol açacağı dinamiğin geri döndüğünü, bazıları Espedair filolarının ilk uçuşlarından çok önce söylemiştir. İnsanlar nitrojen döngüsünü iyice anladıklarında, kendilerini, 3.5 milyar kişilik bir gezegenden üç katı daha dolu bir gezegene geçişi takip eden sonuçlarla uğraşmaya o ya da bu ölçüde adanmıştı. Bir kere, yerküre sistemi küresel ölçekte bu kadar kaba bir şekilde manipüle edildikten sonra, hem küresel hem de yerel ölçekte daha fazla kurcalanmamalı fikri, tamamen mantıksız değilse de en azından desteklenmesi zor bir fikirdir. Aynı zamanda büyük bir çekiciliği olmasına rağmen okyanusları asidik hale getirmekten vazgeçmeye çalışmak, çok uzak bir adım gibi görünür ve bu birçok insanı üzer. Yoksa, bu konuda yapabilecekleri hiçbir şey yok değildir.

Göz önünde bulundurulması gereken ikinci kötü sonuç, stratosferik perdelerle ilgili potansiyel sorunların konuşulduğu neredeyse tüm tartışmalarda ortaya çıkan şu senaryodur: Hint musonunda dramatik bir sekte veya aralıklı sektelerin bir sonucu olarak büyük güçler arasında çatışma çıkması. İnsanlar güneş enerjisi jeomühendisliğinin milyarlarca insanın geçim kaynağını etkileyebileceği uyarısında bulunduktan sonra, genellikle yetersiz bir musondan kaynaklanan bir iklimsel acil durumundan da söz ederler. Böyle bir acil durum, 2013 yılında Yale Üniversitesi toplantısında incelenen bir dizi senaryoda rol aldı. 2014'te tarihçiler Naomi Oreskes ve Erik Conway tarafından yazılan *Batı Uygarlığının Çöküşü* adlı hayali bir gelecek tarihinde de yer aldı. Musonların sekteye uğraması hakikaten, başlıkta atıfta bulunan çöküşü hızlandırıyordu.

Konser senaryosunda, böyle bir iklimsel acil durumu, kesin olarak Espedair perde yapıcılarına atfetmek zor olurdu. Musonların başlangıcı değişkendir. Ve Konser'inki gibi yavaş ilerleyen bir jeomühendislik stratejisinin, kara-deniz sıcaklık farkı üzerinde, büyük volkanik patlamalar kadar güçlü bir etkisi olmaz.

Üstelik, Konser'in eylemlerinin önümüzdeki on yıllar boyunca Hindistan'ın iklimi üzerindeki tek hatta en büyük beşeri etki olması pek olası değildir. Hindistan'ın ekonomik büyümesi devam ederse, aerosol kaynaklı hava kirliliğinin azalması oldukça muhtemeldir ki kuşkusuz musonu etkileyecek bu durum, ince ve makul ölçüde homojen bir stratosferik sülfat tabakasından çok daha fazlasını yapabilir.

Ancak bunların hiçbiri Konser faaliyetinin ilk yıllarında, çok zayıf bir veya bir dizi muson olmayacağı anlamına gelmez. Böyle bir zayıflığın ekonomik sonuçları kadar insani sonuçları da vahim olacaktır ve yüz milyonlarca insanın hayatı daha da kötüleşecektir. Çok sayıda ölüm olması ihtimali düşüktür. Büyük ekonomist Amartya Sen'in gösterdiği gibi, büyük kıtlıklar bilginin serbestçe yayıldığı demokrasilerde neredeyse hiç duyulmaz ancak bir ulusun ağır bir derdi olması için toplu ölümler yaşaması da gerekmez. Suçluluğuna dair kanıtlar zayıf olsa bile, Hint halkının ve hükümetinin böyle bir olay için tüm gücüyle Konser'i suçlayabileceği oldukça makul görünüyor.

Hikayeyi anlatmak gerekirse: 204? yılındaki yetersiz muson, Hindistan'ı Konser'e daha önce olduğundan çok daha düşmanca bir tavır almaya yöneltir ve dünyanın nüfusu en yoğun ülkesindeki bu fikir değişikliği Espedair programının kapatılmasına neden olur. Takip eden yıllarda, perdenin bastırdığı ısınma kendisini oldukça açık bir şekilde hissettirir. Aerosollerin aniden ortadan kaldırılması, yerküre sisteminin davranışında, yavaş yavaş oluşturulmalarındakinden çok daha net bir değişiklik yapar. Bu "sonlandırma şoku" beklenmedik derecede dramatik değildir ancak beşeri eylemlere atfedilebilecek ısınmanın onda birkaçı kadar ani bir ısınmaya neden olur. Dolayısıyla, arka arkaya gelen iki çok sıcak yaz, başka bir büyük ülkede felakete neden olur ve bu felakette beşeri eyleme atfedilir. Bu ikinci güçlü ülkede yaşayan insanlar, perdenin eski haline getirilmesini isterler ve liderleri bu isteği dinleyerek harekete geçer.

Sorunları çok tehditkar bir şekilde göstermemek için iyi niyetlerle kurguladığım Konser, artık tamamen yürürlükten kalkar. Program, birbiriyle uyumsuz hedeflere sahip en az iki büyük gücün mücadele ettiği bir tartışma konusu haline gelir. Birisi perdeleme istemezken diğeri ısrarla istemektedir. Çatışma tırmanır ve bu güçler arasında uzun süredir devam eden başka bir sorunu körükler. Savaş patlak verir. Ve bir dizi yanlış hesaplama nedeniyle nükleer bir savaşa dönüşür.

Bu, hayali nükleer silahlar uçmaya başlamadan önce bile çok kötü bir sonuç sayılır. İki veya daha fazla büyük gücün, güneş enerjisi jeomühendisliği konusunda güçlü ve karşıt çıkarları olduğuna inandığı bir dünya, jeomühendisliğin, hafifletme çabalarına yönelik tüm isteği tükettiği bir dünya kadar korkutucu olabilir. Jeomühendislik, bir savaş nedeni olarak, yerküre sisteminin planlanmayan ve istenmeyen yan etkilerinden çok daha fazla zarar verebilir. Ve bence jeomühendislik, kasıtsız iklim değişikliğine kıyasla çatışmayı tetiklemeye daha yatkın olabilir ki aynı nedenle müzakereye de daha yatkındır. Sonuçları çabuk elde edilir ve bunu kimin yaptığını bilirsiniz. Bu da jeomühendislikle ilgili bir anlaşmazlığın hızla tırmanmasına neden olur.

Peki bu risk ne kadar büyüktür? Belki o kadar da büyük değildir. Jeomühendislik, büyük güçlerin uğruna savaşabilecekleri şeylerin sayısını artırsa da, bunun, onlar için savaşmadan çözmenin son derece zor bir sorun olacağını düşünmek için hiçbir neden yoktur. Dünyanın büyük güçleri pek çok konuda anlaşamazlar ama çok az sayıda savaşa girerler. Bu senaryoda bir savaşın başlamasını sağlamak için önce büyük bir gücün başına jeomühendisliğe atfedilebilecek bir iklimsel acil durumun gelmesini, sonra jeomühendisliğin durdurulmasının başka bir büyük güç için başka bir acil durum oluşturmalarını ve bu çatışmanın sonuçta nükleer bir savaşa dönmesini düşünmem gerekiyordu. Bu, beklenmedik bir olaylar dizisidir.

Ama şüphesiz imkansız değildir. Bu tür olasılıklar, bütün risk muhasebesi defterlerinin borç sütununda belli bir yere sahiptir ve birçok kişi bunları kararı etkileyen temel faktör olarak değerlendirebilir.

Muson ve iklimsel acil durum dünyasından ayrılmadan önce, senaryonun biraz daha keyifli bir başka varyasyonu da şudur.

204?'te Kamçatka'da bir yanardağ, Tambora'dan bu yana görülen en büyük patlamayı gerçekleştirir. 1982'de El Chichon ve 1912'de Katmai'de olduğu gibi, perdesi neredeyse tamamen ekvatorun o tarafında kalacak kadar kuzeydedir. Hem tarihin hem de modellerin oldukça açık bir şekilde gösterdiği gibi, gezegenin kuzeyini soğutan ama güneyini soğutmayan bir perde, iki yarımkürenin hava düzenlerinin bulunduğu intertropikal çakışma bölgesini, Sahel'de kuraklığa yol açacak şekilde değiştirecektir.

Kuzeydeki perde yapımı, patlama sona ermeden durdurulur. Ancak üyeleri arasında son derece gergin bir dizi tartışmadan sonra, Konser, güney yarımküredeki perdelemenin sadece devam etmesi gerektiğine değil, aynı zamanda yanardağın oranısız soğutmasını dengelemek için hızlandırılması gerektiğine karar verir. Brezilya bu karara kızmaktadır. Zaten yanardağın ardından gelebilecek çok kötü bir musondan korkan Hindistan öfkelidir. İklimle daha fazla uğraşmanın zamanı değil, demektedir. INS *Vishal* gemisinden kalkan savaşçı hava devriyeleri, güney Hint Okyanusu üzerinde uçan Espedair uçağının yolunu kesmeye başlar. Savaşçılar Espedair uçağını izlemezler; daha hızlı olmalarına rağmen bu irtifalarda uçuşa devam edemezler. Bunun yerine, daha yavaş uçakların savunmasızlığını göstermek ve pilotlarını korkutmak için parabolik yörüngeler üzerinde yanlarından geçerler. Bazen, o kadar yakından geçerler ki Espedair pilotları yaptıkları işin kontrolünü neredeyse kaybederler.

Espedair uçakları insansız hava araçları olsaydı –birçoğu neden olmadıklarını uzun zamandır merak etmektedir– Hindistanlılar onları vurabilirdi. Fakat şimdi bunu yaparlarsa pilotların ölümünden onlar sorumlu tutulur. Espedair uçağını uçuran kadın ve erkeklerin başından beri bildiği gibi, stratosferde olmalarının bir nedeni de bu programa müdahale etmeye çalışmanın siyasi maliyetini artırmak, aerosol perdesine canlı bir kalkan olmaktır.

Gergin birkaç haftanın ardından Hindistanlılar, Konser'in uçaklarına veya üslerine yönelik operasyonlarını tırmandırmamaya karar verirler. Aylar içinde kuzey yarımkürenin büyük bir bölümü mevsime uymayacak şekilde soğuk olur. Hint musonu, böyle bir patlamanın ardından hep olduğu gibi yetersiz kalır. Ancak güneydeki kalınlaştırılmış perde, intertropikal çakışma bölgesini aşağı yukarı yerinde tutar. Tarihte ilk kez kuzey yarımkürede gerçekleşen büyük bir patlama Sahel'de kuraklığa yol açmamıştır.

Bu bölümünde ele aldığımız senaryolarda spekülatif pek çok şey olduğunu fark etmişsinizdir. Ancak bu metot oldukça sağlamdır. Her yüzyılda olduğu gibi bu yüzyılda da büyük volkanik patlamalar olacak ve bunların bir tanesinin kuzeyde gerçekleşme olasılığı çok düşük değil. Bu tür patlamalardan sonra Sahel'de kuraklık olduğu bulgusu, bu kitapta dile getirdiğimiz diğer tüm iklim beklentileri kadar iyi desteklenmektedir. Eğer perde yapma teknolojisi, kuzeydeki soğutmayı dengeleyecek şekilde güney yarımkürede sahaya sürülürse, Sahel'deki kuraklığın önlenebileceği düşüncesi oldukça makuldür.

Bu, dünyanın bir sonraki büyük kuzey patlamasını beklerken her ihtimale karşı perde yapıcı tesisler inşa etmesi gerektiği anlamına mı geliyor? Böyle bir plan mantıksız görünüyor. Ve ETC grubundan Jim Thomas'ın kendisiyle bu konuda yaptığımız çevrimiçi bir tartışmada belirttiği gibi, Sahel halkı muhtemelen yağmur yağdığında kendilerini çok daha az risk

altında bırakacak bir gelişmeyi görmeyi tercih eder. Muhtemelen öyledir. Yine de iklimsel acil bir durum olsa ve arzu edilen o değişiklik gerçekleşmemişse, yağmurların korunmasına karşı çıkacaklarından emin değilim.

Ve Sabaha Kadar Devam

Son olarak: Ya hiçbir şey ters gitmezse?

Bu kitabı yazarken, insanların söylediklerime karşı ileri sürebileceği argümanları tahmin etmeye ve onlara karşı adil olmaya çalıştım. Eminim ki bazı okurlar bu konuda yeterince çalışmadığını düşüneceklerdir. Başka bir kısım okurun ise tam tersine kitabın karşı argümanlarla tıka basa dolu olduğunu düşüneceğinden şüpheleniyorum. Dolayısıyla, bu noktada bazı risklerin olduğunu bir daha söylemeye artık pek gerek yok. Ancak sadece riskler var ve başarı imkanı hiç yok değil.

Konser senaryosunun radikal sonucu işe yaraması olabilir ve bu durumda işler aşağıdaki gibi gelişebilir.

Yirmi birinci yüzyılın sonunda, insanlar yılda sadece iki gigaton karbon salmaktadır ki bu günümüzün on gigatonundan çok daha az ve yüzyılın ortalarındaki zirveden çok çok daha azdır. Karbondan arındırılabilir süreçler, birkaç nesil içinde karbondan arındırılmıştır. Esasen bu, tüm elektrik üretimini içerir. Hidrokarbonlar hâlâ bazı inatçı endüstriyel işlemlerde ve uçuş gibi alternatif bulmanın zor olduğu bazı taşıma biçimlerinde kullanılmaya devam etmektedir ve bazıları bu amaç için özel olarak üretilse de diğerleri hâlâ yerden çıkarılmaktadır. Ancak karbondioksitin giderilmesine yönelik teknolojiler artık bu kalıntı fosil yakıt emisyonlarının bazı etkilerini ortadan kaldırmaktadır. Dünyada hâlâ bazı petrol ve gaz kuyuları olmasına rağmen yerden çıkarılan karbonun bir kısmı tekrar toprağa verilmektedir. Artık endüstriyel kömür madenleri yoktur, sadece el emeğiyle çıkarılanlar vardır.

Stratosferde kalıcı bir perde oluşur. UNCCEP nihayet yürürlüğe girince 205?’de yapılan değişikliklerin ardından Konser’in ilk yıllarda kullandığı kükürt bazlı sistem, daha ozon dostu ve daha iyi bir geri saçılma-ileri saçılma oranına sahip bir dizi aerosol ile değiştirilir. Ozon tabakası, mümkün olandan daha yavaş iyileşmiştir ancak çok yavaş değil ve bu gecikmeye hiçbir zaman özel bir zarar atfedilmemiştir. Daha az ileri saçılma, yeni aerosollerin gökyüzünü sülfatlardan bile daha az beyazlattığı anlamına gelir. Ama yine de günbatımlarını kızılaştırırlar; akşamlar bir zamanlar olduğundan daha canlıdır.

Akşamlar biraz daha sıcaktır ama çok değil. Ortalama yüzey sıcaklığı 2°C sınırına ulaşmamıştır. Yüzyılın sonuna doğru UNCCEP, perdeleme protokollerini Konser’in başlangıçta planladığının ötesine taşır. Bunun üç gerekçesi vardır: Birincisi, emisyonlar tüm büyük ekonomilerde oldukça hızlı bir şekilde düşmeye başlamıştır. İkincisi, kesintilerin daha da derinleşeceği artık açıktır. Bazı ülkeler, fosil yakıta en çok bağımlı oldukları döneme kıyasla yüzde 90 daha az salınım yapmaktadır. Bunların her ikisi de daha fazla jeomühendisliğin, hafifletme çabalarını zayıflatacağına dair endişeleri azaltır. Üçüncü faktör, perdelemenin başlangıcından bugüne kadar tehlikeli bir yan etkisinin görülmemiş olmasıdır. Yağış düzenleri biraz değişmiştir. Ancak bu değişiklikler bazen daha iyi olmuş ve her zaman adaptasyon sınırları içinde kalmıştır, dolayısıyla bazı sorunlar olsa da bunlar çok büyük değildir.⁶¹

Böylece, yirmi birinci yüzyılın son yirmi yılında perde, ısınmayı iyice yavaşlatacak kadar kalınlaştırılır. Doğal değişim, artık bilim insanlarının yirmi ikinci yüzyılın ilk birkaç on yılının diğerlerinden daha soğuk olmasını –1950’lerden sonra bir ilk olarak– beklemeleri anlamına gelmektedir. Bununla

61 O çağın devasa ve çözülmesi zor sorunları çok farklı bir arenada olacaktır. Pek çok büyük sorun gibi onlar da yeni ve oldukça şoke edici bir şekilde düzenlenmiş fakat şaşırtıcı derecede eski bir dizi endişe gibi görünecektir. Ama bunların hangi endişeler olacağını ve neden bir endişe oluşturacaklarını bilmem mümkün değil.

birlikte, tüm on yıllar hâlâ bir yüzyıl öncesine göre kabaca bir derece daha sıcaktır.

Dünya ısındığı için deniz seviyeleri yükselmiştir. Kıyıya yakın yerlerde yaşayan insanların uyum sağlamak ya da taşınmaktan başka seçenekleri yoktur. Bazı şehirler etkileyici deniz duvarları inşa etmiştir, bazı alçak kırsal alanlar ise artık sadece milyonlarca mültecinin anılarında kalmıştır. Okyanusların asitlenmesi bazı türler için kötü olmuştur. Sonuç olarak çoğu deniz ekosistemi değişime uğramıştır ve bazı durumlarda bu değişim dramatik olmuştur. Ancak okyanuslar, tanınmayacak kadar veya insanların denizden elde ettiği proteinin çoğunu üreten balık çiftliklerinin kullanılamayacağı kadar değişmemiştir. Bazı çok hassas bölgelerde, azalan alkalitenin etkilerini azaltmak için tasarlanmış kireçleme programları –karbondioksit giderme konusunda daha başarılı olan çabaların bazılarıyla ilgili programlar– önemli bir maliyetle olsa da bir miktar başarı sağlamıştır. Diğer yerlerde, bazen yetersiz uygulama ve bazen de öngörülemeyen koşullar nedeniyle başarısız olmuştur.

Daha yüksek karbondioksit seviyesi karada da etkili olur. Gine Körfezindeki bulut gemilerini kullanarak daha güçlü bir Batı Afrika musonu üretme girişimlerinin de yardımıyla, Sahel'in bitki örtüsü kuzeye doğru yayılır ve Sahra'nın büyük bir bölümünün hâlâ geri alınabileceğine dair umutlar vardır. Bu fikirden nefret eden çöl severler mevcuttur. Onların bu görüşü, Afrika'da derde deva olmazken, Kaliforniya'dan gelen muson akışının benzer şekilde güçlenebileceğine dair öneriler, Mojave ve Sonoran çölleri mümkün olduğunca mevcut hallerinde tutmak isteyenler tarafından savuşturulur.

Yerküre sisteminin diğer yönlerini değiştirmeye çalışan bölgesel programlar devam eder. And Dağları ve Alpler'in bazı bölgelerinde güneşten korunmayan bir buzul, artık ender görülen bir manzardır. Grönland'ın çeşitli stratejik noktalarında, sıvılaştırılmış havayı sondaj kuyularından aşağı pompala-

yarak buz örtüsünün tabanını adanın ana kayasına yeniden perçinlemeyi amaçlayan projeler vardır. Bu çok fazla çaba ve enerji gerektirir –artık kimsenin yapmadığı, petrolü kuma emdirerek daha hafif kısmını çekmeye benzeyen bir çaba– ama görünüşe bakılırsa bazı büyük buzulların denize doğru akışını durdurmakta ve böylece buz tabakasının feci bir şekilde çökmesini frenlemektedir. Böyle bir çöküşün süresiz olarak durdurulup durdurulamayacağı henüz bilinmemektedir. Antarktika’yı çevreleyen rüzgarları yüzen devasa türbinlerle yönlendirme, böylece en kurak kıtalardaki yağışları artırma, kendi buz örtüsünü kalınlaştırma ve deniz seviyesinin yükselmesini yavaşlatma projeleri henüz hâlâ spekülatif bir aşamada ve oldukça tartışmalıdır.

Bazıları bu yeni mühendislik biçimlerinde bir güzellik görür. Büyük buz tabakalarını tutmanın ve gezegeni kapsayan hava akımlarını yeniden yönlendirmenin ihtişamı onları heyecanlandırmaktadır. Ama aynı zamanda bunları, farkına varılmadığı hissedilen daha büyük bir güzelliğin, ilgilenilmeye henüz başlanan, yeni sevilen bir yerküre sisteminin temsilcisi olarak görürler. Günbatımını kızılaştırıran perde ile Japon kintsugi sanatında –kırıldıktan sonra onarılan eşyaları daha bütün ve daha güzel gören bir sanat– kırık çömlek parçalarını birleştirmek için kullanılan altın cila arasında benzerlikler kurarlar.

Diğerleri bu tür konuşmaları tehlikeli saçmalıklar olarak görür.

Bu tartışmalara rağmen bazılarının Konser’i böleceğinden korktuğu “natüralizm hizipleşmesi” böyle bir parçalanmaya neden olmaz. Dünyanın doğal olana bakışı, o ya da bu ölçüde kaçınılmaz olarak değişir. Doğa, artık, kendi başına bir şey olmaktan çok, süreçler ve potansiyeller açısından değerlendirilir. Ancak değişmemiş ve bozulmamış bir doğa arayanlar hâlâ mevcuttur ve gitgide hüsrana uğramaktadırlar. Gezegen bir bütün olarak insan imparatorluğuna her zamankinden daha fazla tabidir. Ancak pencere önündeki çiçeklikten yağmur

ormanlarına kadar her ölçekte, doğanın gönüllü ve kendiliğinden süreçleri hâlâ görülebilir ve takdir edilebilir. Dünya ve yerküre sistemi birbirleri için bir ayar olarak çalışır, mücevherlerdeki gibi bir ayar; termostatlardaki gibi değil. Ama ne ayrılmaz bir şekilde birleşmiş ne de ayırt edilemezdirler; hâlâ ayrılıkları ve istenmeyen şeylere her zaman bir yerleri vardır.

Belki insanların bir zamanlar çok özlediği her şeyi kuşatan doğa gitmiştir veya belki de zaten hiçbir zaman orada olmamıştır. Doğayı ifade edebilecek şeyler, süreçler ve yerler olduğu düşüncesi, her türlü kültürel değişimden geçtiği gibi, yine varlığını sürdürür. Bir asır öncesinin vahşi yaşamı yeniden kazandırma projelerinin yarattığı kırk yamalı ekosistemler, kurt ve kunduz gibi bir zamanlar yaygın olan türlerin sürgün edildikleri yerlere yeniden kazandırıldıkları ekosistemler, yapmacık oldukları açık olsa da şimdi doğanın iş başında olduğu yerler gibi görünmektedir. Doğal olanın bir süreç olarak algılanması, gezegenin albedosunu yükseltmekle birlikte sakinlerini hoşnut etmek için de üzerine düşeni yapan bazı Sibiry ve Kanada ormanlarına kök salan mamutlarda olduğu gibi, kimi genetik mühendisliği hünerlerine rağmen devam eder. Kimileri için, her zaman olduğu gibi, daha eski ve daha saf bir doğa nostaljisi vardır ve yeni yaratımlar bu özlemi tam olarak dindiremez. Ancak dünya büsbütün yapay bir şey olarak hissedilmez ve kaybedilen bir şeyler olsa da bir teselli mevcuttur.

Konser, bir natüralizm hizipleşmesine boyun eğmemesine rağmen başka şekillerde değişmiştir. İlk yılların ardından üyeler, yeni katılacak ülkeleri, vatandaşlarının çoğunluğunun ancak bir referandum sonunda jeomühendislik sürecinin bir parçası olmayı kabul etmesi halinde, almaya karar verirler. 208?'e kadar tüm insanlığın yarısından fazlası bu kurallara uyarak Konser'e katılır. Perdede hangi aerosollerin kullanılacağına ve perdenin aslında hangi düzeyde radyasyonel zorlama sağlaması gerektiğine ilişkin özel kararlar, giderek artan bir şekilde, uzun görev süreleri olan bir halk temsilciler mec-

lisi tarafından verilir. Emisyonlar ve bunların daha fazla azaltılmasıyla ilgili sorularda giderek daha yüksek bir sese sahip olan bu Atmosfer Konseyi'nin üyeleri halen Konser devletleri tarafından seçilmektedir. Ancak gelecekte küresel bir oylamayla seçilebilirler ve bu fikir giderek yerleşmektedir.

Dünyanın dengede olmadığı gerçeği karşısında sürekli bir huzursuzluk hisseden birçok insan vardır. Bir Potemkin Holosen'inde yaşadıklarını söylemektedirler. Gezegenin görünümü büyük ölçüde eskisi gibidir ama bu görünümü koruyan yerküre sistemi çok değişmiştir. Grönland buz tabakasının, deniz seviyesini şimdiye kadar olandan daha fazla yükseltmemesi için kalıcı kısıtlamalara ihtiyaç duyulabileceği düşüncesinden ve kalıcı olması gereken kısıtlamaların kalıcı olmamasından endişe etmektedirler. Bir barajın arkasına kapatılmış potansiyel bir güneş ışığı seli gibi, perdenin engel olduğu, yarım derecelik veya biraz daha fazla ısınmanın aniden gerçekleşmesinden kaygılanmaktadırlar. Karbondioksit seviyesini düşüren programları kırmaya çalışırlar ya da bunda başarısız olurlarsa, Atmosfer Konseyi'nin dünyanın yeterince zengin ve adaptasyon konusunda yeterince iyi olduğuna, perdenin yavaş yavaş inceltilerek ortadan kaldırılmasına ve sıcaklığın yükselmesine izin verilmesi gerektiğine karar vermesi için çalışırlar. Diğerleri, perdenin kalınlaştırılması ve sıcaklıkların yirminci yüzyıldaki seviyelere indirilmesi gerektiğini savunur. İnsan dışı yaşam, evrimleştiği sıcaklıklara daha yakın sıcaklıklardan faydalanabilir ve insanlar yağış ve benzeri ikinci dereceden sorunlara uyum sağlayabilir. Ne de olsa insanlar adaptasyon konusunda biraz deneyim kazanmıştır.

Bu tartışmaların farkında olan Konsey, kendi zamanını beklemektedir. Ve Konsey'in gücüne ya da bunu yapma hakkına karşı ciddi bir muhalefet yoktur. Bir dünya hükümeti gibi bir şey olmamasına rağmen –sonuçta diğer çalışma alanlarında çözülmemiş büyük sorunlar vardır– atmosferle sınırlı bir tür

hükümet vardır. Ve bu makul görünmeye başlar. Termostatın bir eli, kaldıracın bir dayanak noktası vardır.

Yirmi ikinci yüzyılın başında, tıpkı yirminci yüzyılın başında olduğu gibi, dünyanın büyüklüğü hakkında bir şey söyleyen herkes, dünyanın küçük olduğu konusunda hemfikirler. Mars'ta, yiyecek içecek tedariki çok pahalı olan köylerde yaşayan bir avuç insan için, Dünya'nın sadece pek de muhteşem olmayan bir akşam yıldızı olduğu gerçeği, bu durumun altını çizmektedir. Gerçi aslında bu, Dünya'nın ne kadar küçük olduğunu değil, beşeri dünyanın ne kadar büyüdüğünü gösterir. Dünyanın küçük görüldüğü diğer tüm zamanlarda olduğu gibi, hâlâ dolu ve karmaşıktır, karşıt çıkarlarla bölünmüştür, rasyonelliğe indirgenmesi imkansızdır. Doğru kaldıraçlar olmadan değiştirmeyi denediğinizde, kısa süre içinde direncinin ne kadar büyük olabileceğini görürsünüz.

Ancak yerküre sisteminin bazı parçaları gerçekten küçüktür. Gökyüzü sınırsız görünse de atmosfer gezegensel bağlamda her zaman küçük olmuştur. Akdeniz'den sadece biraz daha ağırdır. Bunun nedeni, daha da küçük olan biyosferin yanı sıra, gerçekte o kadar büyük olmayan atmosferin, sistemin insanların en çok değiştirebildiği kısmı olmasıdır.

Herhangi bir küçük deniz gibi, atmosfer de kıyılarındakiler için son derece önemlidir ve bu, Marslılar dışındaki herkes için önemli olduğu anlamına gelir. Ama aynı zamanda, küçük bir deniz gibi, ortaya çıkarabileceği pek çok sorun vardır. Evlerinizi atmosferin fırtınalarına göre inşa ederseniz, getirebileceği düşmanlara karşı tahkim ederseniz; havasını ticaret için açık, sularını balıklar için temiz tutarsanız, ne içerdiğini inceler ve nasıl çalıştığını öğrenirseniz; güzelliğini, buna dikkat etmediğiniz zamanlardan biraz daha fazla takdir ederseniz, yapılması gerekenlerin çoğunu yapmış olursunuz. Bunlar, kabul edilmesi ya da insanların benimsemesi çok zor olan kurallar değildir. Akdeniz, daha az atık

su üreten teknolojik seçenekler ucuzlayıp yaygınlaştıkça çok daha temiz hale gelmiştir.

Yüzyılın başında neredeyse imkansız gibi görünen bir görev olarak gökyüzündeki küçük denizi yönetmek üzere bir dizi ilke bulmak, insan zekasının ötesinde değildir. Bu ilkeleri eyleme geçirmek siyasi bakımdan imkansız değildir. Gerçekten de geçmişe dönüp bakıldığında, gelişen yerküre sisteminin karşılaştığı tehlikeler arasında zorluk derecesi düşük olanlardan bir tanesi gibi görünmektedir. Karşılaşılan zorluklar bunu hep yapar.

Sonsöz

Bir zamanlar Louis Armstrong'un dediği gibi, hikayenin sonuna geldik. Yalnız dikkat edilmesi gereken bir şey daha var.

Bu kitapta çoğunlukla eksik olan bir kelime var: “biz.” Ortaya çıktığı yerlerde az çok açık bir şekilde size yani okurlara ve bana yani yazara atıfta bulunuyor. Çoğunlukla ya daha önce söylenenlere ya da daha sonra söyleneceklerle işaret etmek için kullandım. Yazarken ve okurken aramızda bir tür birliktelik oluştu ve zaman içinde paylaşılan bu alan içinde “biz” kelimesini kullanmak uygun görünüyor.

Bu kitapta, iklim ve diğer konular hakkında yazılan pek çok yazıda ortaya çıkan nitelenmemiş bir “biz” yani gizli ve sahte bir rızanın “biz”i yoktur. “Biz”, yazarı, okuru ve doğal olarak aynı fikirde olduğu ima edilen ve bu nedenle tüm doğru düşünen insanları kapsıyor gibi görünen belirsiz bir grup insanı aynı hizaya getirir. Biz ne yapacağımızı biliyoruz, onu sadece yapmalıyız, diyen “biz.” Benim çıkarlarımın sizin de çıkarlarınız olduğunu ve farklı ülkelerde yaşayan farklı görüşlere sahip insanların çıkarlarının, örneğin, daha az yoksul olmak isteyenlerin çıkarları ile zenginliklerinin sağladığı faydaların tam olarak farkında olmayanların çıkarlarının kolayca hizalanabileceğini varsayan “biz.” “Onların” hayal kırıklığına uğrattığı

bir dünya adına konuşmaya çalışan “biz.” Ve “onların” nasıldığını biliyorsun, değil mi; onlar tehlikeli bir grup, onlar bizim gibi değil, diyen “biz.”

Dışarıda bıraktığım “biz”, izin verdiğimiz gerçeğini açıkça görmezden gelerek bunun devam etmesine izin veremeyiz diyen “biz”dir. Yazarla aynı fikirde oldukları sürece, tüm insanlar, tüm tarih ve tüm türler adına konuşmaya çalışan “biz”dir.

Bu biz’e başvurmadan siyasi konularda konuşmak neredeyse imkansızdır. Onsuz yazmak oldukça zordur. Buna rağmen bunu yapmaya değer olduğunu düşündüm zira o biz, masum bir yanılsama değildir. Zararlı bir şeydir. Önemli olan biz, bir yazar tarafından retorik bir araç olarak çağrılan kişiler değildir. O, anlaşmaları gereken konularda birbirleriyle gerçekten anlaşmak kadar zor bir işi başaran ve anlaşmazlık alanları konusunda da anlaşılan insanlar tarafından inşa edilen bir biz’dur.

Bir biz olmak zordur ve aslidir. Siyasetin özü budur; aynı zamanda aşkın da özü budur.

Jeomühendislik konusunda ve neredeyse uluslararası tüm meselelerde biz diye bir şey yoktur. “Biz bunu denemeliyiz” veya “biz bunu denememeliyiz” diye bir şey yoktur. Bazıları zaten mevcut olan ve bazılarının icat edilmesi gereken argümanlar ve bunların ifade edileceği yerler vardır. Herkes için değil, kendileri için konuşacak hareketler vardır. Sürecin sonunda bir “biz” olabilir. Ama burada yani başlangıçta veya başlamadan önce bir biz yoktur. Siyaset henüz yapılmamıştır.

Yani bu, şimdilik kişiseldir. Bu kitabı yazarken, jeomühendislik konusundaki umutlarımın ve ona yüklediğim anlamların, radyasyonel kuvvet ve tropopozun üzerinde olup bitenlere yüklediğim anlamlardan daha derin hisleri yansıttığının farkındaydım. Olayların bir baskı oluşturduğu, tarihin ve dünyanın, bugünü, yapılacak seçimi daha da sıkılaştıracak şekilde kuşattığı hissi benim mizacıma bir parçasıdır. Benim sürekli

içinde hapsoldüğüm ve nefessiz kaldığım duygu, biraz daha fazla alan, biraz daha az baskı, çerçevenin biraz genişletilebilir, sınırların biraz geri itilebilir olması ve nefes almak için biraz zaman ve boşluğa ihtiyaç olduğu algısıdır. Bu duygu, hayatımdaki, bazılarını biraz anladığım, bazılarını da kuşkusuz anlamadığım deneyimlerden geliyor. Muhtemelen bazılarınızın deneyimleriyle de bir şekilde ve bir dereceye kadar uyumludur. Yeterince çok alana, zamana ve seçeneğe hangimiz sahibiz?

Umudun, işlerin gerçekten farklı olabileceği umudunun nereden geldiğini pek bilmiyorum. Ama bir umut var: İnsanların daha fazla özen gösterebileceğini ve dünyayı zararı azaltacak şekilde düzenleyebileceğini ümit ediyorum. İnsanların bu özende, dünyanın doğallığında bir azalma yerine, insan ve doğanın nasıl iç içe geçebileceğinin yeni bir tasavvurunu, doğanın iddia edilen sınırlarına körü körüne bağlanma yerine, gezegen için neler yapılabileceğine dair yeni bir bilinci göceklerini ümit ediyorum. Gezegen ölçeğinde bir şefkat göstermede bir zevk ve dayanışma bulunabileceğini ve fırsat verildiğinde insanların sadece iklimsel kısıtlamalar ile büyümenin itişi arasında geçici bir özerk bölge oluşturmalarını değil, aynı zamanda bu alanı, hayatlarının mevcut ve gelecek günlerine daha iyi uyan bir yerküre sistemi oluşturmak, o alanı paylaşan ve daha iyi bir rota çizen bir biz yaratmak için de kullanacaklarını ümit ediyorum.

Yukarıda ve akıl dışındaki tüm gözler için çok uzaklarda, uzun, güçlü kanatlar üzerinde yükselen bir gelecek, zarif ve temkinli bir dönüş başlatıyor. Dünya'nın sınırlarının sanki ötesindeymiş gibi görünüyor ama pervasızca uçmuyor; yapamayacağı ve yapmaması gereken şeyler var, kayabileceği veya düşebileceği birçok yanlış yol var. Gelecek, bir yandan onunla ilgili tasarımlarla, diğer yandan da doğanın acımasız yasalarıyla kuşatılmıştır. Ancak bu kanatların yönü ve yüksekliği beceriyle değiştirilebilir.

Üstünde boşluk, altında aydınlık ve parlayan bir dünya vardır.

Geleceğin kanatlarına binen yük, yatarken hafifçe kayar; eğim ve çizgileri hafif bir tepki verir. Bu kavisli kanatların uzun oldukları kadar, uzun ömürlü de olmaları gerekir; bu şekilde defalarca esnemek zorundadırlar. Geleceğin yükünü Dünya'dan gökyüzüne taşıyıp geri dönmek için yaptıkları kalkış ve inişlerde, endişe verecek derecede esnerler.

Buna rağmen tarih ve alışkanlık onları kırılgan hale getirebilir. Güvenilir olmalarına rağmen başarısız olabilirler. Ama şimdilik bu uzun kanatlar esneyebilmektedir. Ve bunu yaparken de adalete doğru eğilmektedirler.

Greenwich, Aziz David Günü 2015

TEŞEKKÜR

Bu kitap üzerindeki uzun ve bazen dolambaçlı çalışma sürecim boyunca çok sayıda insana karşı ve üstelik bazı durumlarda burada hakkını veremeyeceğim kadar derin bir şükran borcu oluştu. Bunu söyledikten sonra, projeye yardımcı olmanın ötesine geçen bir düzeyde verdikleri destek için Ken Caldeira, David Keith ve John Latham'a gerçekten minnettarım. Teşvik edici sohbetleri, iyi arkadaşlıkları, faydalı tanıtımları ve zaman zaman gerçekleşen davetleri için özellikle teşekkür borçlu olduğum diğer jeoklik üyeleri, yol arkadaşları ve Antroposen düşünürleri, ayrıca yukarıdaki görüşlerin bazılarının veya tümünün eleştirmenleri şu kişilerdir: Thomas Ackerman, Greg Benford, Jason Blackstock, Tom Crookes, Lilian Caldeira, Denise Caruso, Peter Cox, Paul Crutzen, Jim Fleming, Francois Gemenne, Timo Goeschl, Clive Hamilton, Hugh Hunt, Tim Kruger, Bruno Latour, Mark Lawrence, Margaret Leinen, Tim Lenton, Jane Long, Mike MacCracken, Andrew Mathews, Duncan McLaren, Granger Morgan, Ted Parson, Colin Prentice, Phil Rasch, Steve Rayner, Stan Robinson, Alan Robock, Stephen Salter, Steve Schneider (bu konuyu onunla biraz daha tartışmayı çok isterdim, ne yazık ki olmadı), Dan Schrag, Jesse Scott, John Shepherd, Vaclav Smil, Robert Socolow, Pablo Suarez, Mark Sutton, Jim Thomas, David Victor, Kelly Wanser, Andy Watson ve Matt Watson. Bazen ortak komplolar kuran George Collins ve Andy Parker'a özel teşekkürler.

Sanırım, yerküre sistemiyle ilgili yazdığım hiçbir şey, her zaman minnettar kalacağım Jim Lovelock'un etkisinden asla kurtulamayacak. Aynı şey, tarih söz konusu olduğunda Simon Schaffer için de geçerlidir.

Ayrıca Julian Allwood, Jim Anderson, Meinrat Andreae, Govindasamy Bala, Bidisha Bannerjee, Scott Barrett, Steve Barrett, Richard Betts, Linus Blomqvist, Olivier Boucher, Stewart Brand, Wally Broecker, Holly Buck, Rose Cairns, Ralph Cicerone, Olaf Corry, Steve Davis, Matthias Dörries, Simon Driscoll, George Dyson, Paul Edwards, Erle Ellis, Paul Falkowski, Chris Field, Piers Forster, David Fowler, Jean-Baptiste Fressoz, Alan Gadian, Jim Galloway, Stephen Gardiner, Arnulf Grübler, Patrick Halloran, Steve Hamburg, Jim Haywood, Tracy Hester, Clare Heyward, Thomas Homer-Dixon, Alf Hornborg, Jo House, Mike Hulme, Pete Irvine, Andrew Jarvis, Anna-Maria Jenkins Hubert, Andy Jones, Richard Klein, Ben Kravitz, Richard Lampitt, Lee Lane, Andrew Lockley, Sean Low, Adam Lowe, Simon Lewis, David MacKay, Doug MacMartin, Ashley Mercer, Pat Mooney, John Moore, Juan Moreno-Cruz, David Mitchell (hiçbiri ünlü olmasa da hepsi iyidir), David Morrison, David Morrow, Armand Neukermans, Simon Nicholson, John Nissen, Helena Paul, Arthur Petersen, Roger Pielke Jr, Ray Pierrehumbert, Rafe Pomerance, Julia Pongratz, Colin Prentice, Greg Rau, Jesse Reynolds, Kate Ricke, Andy Ridgwell, Johan Rockström, Danny Rosenfeld, Dan Sarewitz, Gavin Schmidt, Hauke Schmidt, Vivian Scott, Russell Seitz, Drew Shindell, Ian Simpson, Vaclav Smil, Joe Smith, Jordan Smith, Rachel Smolker, Karolina Sobecka, Andy Stirling, Bron Szerszynski, Michael Thompson, Simone Tilmes, David Titley, Kevin Trenberth, Slawek Tulaczyk, Paul Valdes, Naomi Vaughan, Jean-Pascal van Ypersele, Peter Wadhams, Gernot Wagner, Tom Wigley, Jennifer Wilcox, Lowell Wood, Rob Wood ve Pete Worden'e de teşekkür ederim.

Bu insanların bir kısmına, Ken Caldeira, Jim Galloway, David Keith, Ben Kravitz, Tim Kruger, John Latham, Jim Lovelock, David Morrison, Phil Rasch, Matt Watson, Jim Galloway, David Victor, kitabın bir kısmını veya tamamını okuyup yorum yaptıkları için ekstra teşekkürler ve bu konuda Olivia Judson'a, kardeşim John Morton'a ve Francis Spufford'a özellikle teşekkür ederim. Her biri kitabı daha iyi hale getirdi; bundan daha iyi olmamasının ise tüm sorumluluğu bana ait.

Asilomar, Berlin, Big Sur, Calgary, her iki Cambridge, Edinburgh, Heidelberg, Lizbon, Oxford, Potsdam, Santa Cruz ve Waterloo'daki muhtelif jeomühendislik toplantısı ve yaz okullarında elde ettiğim dinleme, konuşma ve sosyalleşme fırsatlarına ek olarak, Ted Nordhaus ve Michael Shellenberger'in düzenlediği Çığır Açıcı Diyaloglar'daki benzer teşvikten de keyif aldım. 2009'daki medya bursu için SCAR'a çok müteşekkirim. Bu mekanların bazılarında, bu büyüleyici konuyla ilgilenen, Catherine Brahic, Jamais Cascio, Christopher Cokinos, Jeff Goodell, Eli Kintisch, Fred Pearce, Andy Revkin, Jon Vidal ve Gaia Vince gibi birçok başka yazarlarla birlikte çalışmak bir zevkti. Bu konuyla ilgili muhtelif makalelerim, editörlüğünü Alexandra Witze, Rich Monastersky, James Crabtree ve Geoffrey Carr gibi isimlerin yapmış olmasından çok istifade etti. Önce *Nature* ve ardından *Economist*'teki meslektaşlarım hem destekleyiciydiler hem de ilham verici sorularla doluydular. John Micklethwait, Zanny Minton Beddoes, Daniel Franklin ve Andrew Palmer'a bu desteklerini, her türlü devamsızlığa izin vererek ve kolaylaştırarak ortaya koydukları için çok minnettarım.

Simon Schaffer, Anita Herle, Eva Herle Schaffer ve gıyabında Sheila Schaffer'a Brighton'daki inziva ve çok daha fazlası için her zamanki gibi şükran borçluyum. Aile desteği için benzer bir teşekkür, Baconların üç nesline ve geniş bir Morton ve Hynes yelpazesine gitmeli. John Harrison, hayatı her zaman zenginleştirmiştir. Kitabın bitmiş halini Dominic Prior ya da

Iain Banks ile paylaşmadığım için üzgünüm. Laura Joannecht'e çok teşekkür ederim. Birçok kafenin baristası ve diğer çalışanları, yazarken masalarını dağıtmama katlandı; özellikle Redwood Café, Brighton, Southsea Coffee Company, Southsea ve Greenwich'teki Plumtree Café ve en sık olarak da Buenos Aires Café'ye teşekkür ederim. Beyaz kahve konusunda hiçbir oyunun içinde olmasa da benzer bir minnettarlığı, Cambridge Üniversitesi Kütüphanesi'ne, Merkez Bilim Kütüphanesi'ne (ne yazık ki artık yok), Corpus Christi College ve Royal Society of Arts için de hissediyorum. Bu bağlamda Andrea Burgess'e ve kahve için Ali Shaw'a teşekkür ederim.

Leonard Cohen ve Flobots'un eserlerinden ve "J. Alfred Prufrock'ın Aşk Şarkısı"ndan alıntı için Faber ve Faber ve Eliot malikanesine minnettarım.

Ayrıca Kevin Trenberth'e onun adıyla hatırladığım diyagramı kullanma izni verdiği için ve Wesley Fernandes'e bu diyagramı benim için yeniden çizdiği için minnettarım.

Harika menajerim Sarah Chalfant, bu projeye, gelişiminin kimi noktalarında benden çok daha fazla güveniyordu; bunun ve diğer her şey için ona ve Alba Ziegler-Bailey'e çok teşekkür ederim. Philip Gwyn Jones ve Ingrid Gnerlich'e kitabı ilk etapta satın aldıkları için çok teşekkürler. Granta'dan Bella Lacey, editörlerin şampiyonu oldu ve kitap daha önce olduğundan farklı bir şeye dönüşürken çok destekleyiciydi; ona, Christine Lo'ya, mükemmel redaktör Mandy Woods'a ve düzeltmen Francine Brody'ye çok teşekkürler.

Önceki kitaplarımda olduğu gibi, en büyük ve en yoğun teşekkür borcum Nancy Hynes'a ve bu yüzden şimdi, sağlığına içmek için, yüksek atmosferdeki buz kristallerinin hafifçe buğulandığı dolunay ışığıyla zarif ve güzel bir şekilde süslediği bahçesini onaracağım.

KAYNAKLAR, NOTLAR VE BAŞVURULAR

Genel

Goodell (2011) ve Kintisch'te (2011), yakın tarihli jeomühendislik araştırmaları, uygulayıcıları ve bazı sonuçları hakkında güzel açıklamalar bulunuyor. Bu araştırmanın yaygınlaştırılmasına yönelik argümanlar Brand (2009) ve Keith'te (2014) mevcut. ETC Group (2010), Hamilton (2014) ve Hulme (2014) bu fikirleri eleştiriyor. Son derece ilgili bir tarihi Fleming (2012) ortaya koyuyor. Caldeira, Bala ve Cao (2014) bu alandaki bilimsel araştırmaların güncel bir derlemesini sunuyor. Preston (2013) sosyal ve beşeri bilimlerdeki birçok konuyu kapsıyor. Royal Society (2009) ve Ulusal Araştırma Konseyi (2015a, b) raporları çok faydalı kaynaklardır.

Jeomühendisliği doğru bir biçimde anlamak, yerküre sistemi ve tarihini anlamayı gerektirir: Langmuir ve Broecker'ı (2012) ve biraz daha ileri düzeyde Lenton ve Watson'ı (2011) öneriyorum. Lunine (2012) ve Kump et al. (2013) güzel lisans ders kitaplarıdır. Cornell et al. (2012) ile IPCC (2013) daha fazla ayrıntı sağlar.

Giriş: İki Soru

Robert Socolow'un biraz değişik ifade ettiğim iki sorusunu duyduğum toplantı, Mart 2012'de Calgary'de düzenlenen "Havadan Doğrudan Yakalama Zirvesi"ydi. Wagner ve Weitzman'ı

(2015) okuyanlar Socolow'un sorularını hatırlayacaklardır zira onlar da kendi kitaplarını bu sorularla başlatmışlardı. Notlarında söyledikleri gibi, bu, 2013'te MIT'de Gernot Wagner'in katıldığı bir jeomühendislik tartışmasının takdiminde söz konusu soruları kullanmamı müteakip olmuştu.

İklim değişikliği bilimine mükemmel bir genel bakış için bkz. IPCC (2013). İnsanların neden Socolow'un sorularına birçok yönden yanıt verdiğine dair aydınlatıcı bir tartışma için bkz. Hulme (2009) ve emisyonları azaltabilecek uluslararası bir iklim rejimine yönelik ilerleme eksikliğinin yetkin bir açıklaması için bkz. Victor (2011). Arnulf Grübler'in enerji geçişleri hakkında alıntıladığımız düşünceleri için bkz. Grübler (2012). Karbondan arındırma oranları tahminleri Anderson ve Bows'tan (2009) alınmıştır. Nükleer enerjinin 1980 öncesi tarihi, Amerika için Walker'da (2006), Fransa için Hecht'te (2009) tartışılmıştır; ayrıca bkz. Morton (2013). Nükleer enerjinin yeni durumu Stone (2013) ve Lynas'ta (2014) mevcuttur. Yenilenebilir enerjiye çok iyi bir genel bakış MacKay'de (2008) bulunabilir. Jane Long'un başkanlığını yürüttüğü rapor, Long et al.'da (2011), Robert Socolow tarafından yönetilen havadan doğrudan yakalama maliyetlerine ilişkin APS raporu Socolow et al.'dadır (2011).

Birinci Bölüm: Dünyanın Tepesi

Teisserenc de Bort'un hayatının kısa bir özeti için bkz. Greene (2000). Pocock (2005) U-2 tarihinin güzel ve ansiklopedik bir anlatımıdır ve U-2'de uçmanın nasıl bir şey olduğu May'de (2009) görülebilir. Emekli General Patrick Halloran'a da deneyimini paylaştığı için çok müteşekkirim. Üst dünya kavramı Holton et al.'da (1995) vücuda getirilmiştir. Burke'ün yazışmalarından yaptığımız alıntı, Nye'de (1993) atıfta bulunan Taylor'dandır (1973). Serpinti tartışması Jessee'de (2014) ele alınmaktadır. Ozon tabakasının tarihi Parson'da (2003) ve

bilimi biraz ayrıntılı bir şekilde Solomon'da (1999) ele alınmıştır. Harold Johnston'ın düşünceleri Johnston'dan (1984) uyarlanmıştır. Commoner yasaları Commoner'de (1975) bulunmaktadır.

İkinci Bölüm: Hava Adında Bir Gezegen

Uzaydan görülen Dünya'yı ele alan iki çalışma öne çıkıyor: Cosgrove (2001) ve Poole (2010). Konunun "Uzay Gemisi Dünya" veçhesi de beni kapsül ekolojisiyle tanıştıran Anker'de (2010) ele alınmıştır. Bu kavramlara yönelik, Ingold'dan (2000) etkilenen bakış açımı Morton'da (2010) genişlettim. Trenberth diyagramı, mevcut haliyle ilk kez Trenberth, Fasullo ve Kiehl'de (2009) yer aldı. *Şekil 1*'deki versiyon Trenberth ve Fasullo'dan (2011) türetilmiştir. Sankey diyagramının tarihi Schmidt'te (2008) bulunabilir. "İnsan imparatorluğu" kavramı Williams'ta (2013) parlak bir şekilde aydınlatılmıştır. Tansley'in ekosistem tanımı Tansley'de (1935) ve Freud ile bağlantıları Cameron ve Forrester'da (1999) yer almaktadır. Sharon Kingsland'ın Lotka hakkında söyledikleri, Kingsland'den (1994) alındı; daha fazlası için bkz. Kingsland (1995). Dave Keeling araştırmasının tarihi Keeling'de (1998) verilmiştir; ayrıca bkz. Howe (2014). Sayre (2008), şüpheli, taşıma kapasitesi kavramının tarihinin izini sürüyor. Crary (1999), Turner hakkında bilgi veriyor.

Üçüncü Bölüm: Pinatubo

Pinatubo patlaması, Newhall ve Punongbayan'da (1996) bütünüyle belgelenmiştir ve Oppenheimer'da (2012) iyi anlatılmıştır. Patlamaların iklim üzerindeki etkileri Robock'ta (2000) incelenmiştir. Dorries (2006) bilimlerin bu etkileri nasıl anladığının tarihini açıklıyor ve D'Arcy Wood (2014) Tambora'nın küresel etkileri konusunda mükemmeldir. Pollock et al. (1976), sülfat soğutma hipotezini tam olarak ortaya

koyuyor. Pinatubo'nun iklim ve ozon üzerindeki etkileri, McCormick et al.'da (1995) ayrıntılarıyla anlatılıyor. İklimi nasıl etkilediğiyle ilgili tahminler için bkz. Hansen et al. (1992) ve Hansen et al. (1996). İklimdeki su buharı geri beslemesini göstermek için verilerin nasıl kullanıldığı hakkında bkz. Soden et al. (2002). Hidrolojik döngü üzerindeki etkiler Trenberth ve Dai'de (2007), dolaylı ışık etkileri Gu et al. (2003) ile Mercado et al.'da (2009) yer almaktadır.

Dördüncü Bölüm: Öğle Vaktinde Alacakaranlık

Matt Watson bana bir sohbet sırasında Soufriere Hills deneyimini anlattı. Teknolojik yücelik için bkz. Nye (1994). Aurora raporu McClellan et al.'dadır (2010). Kimyasal komplo teorisyenleri ve inandıkları şeyler hakkında akademik bir açıklama Cairns'te (2014) bulunabilir. Eylem halindeki inançlar için Ian Simpson'ın "Look Up!" adlı sitesine bakınız Simpson (2015 ve sonrası). Sülfat parçacıklarının kolayca büyümesi sorununu ve bunun nasıl aşılacağını daha iyi anlamak için Pierce et al.'a bakınız (2010). Ozona etkisi için bkz. Tilmes, Müller ve Salawitch (2008). Ozon tabakasına zarar vermeyen aerosoller Weisenstein ve Keith'de (2015) tartışılmıştır ve ozon deliğine yönelik terk edilmiş bir jeomühendislik fikri, Cicerone, Elliott ve Turco'da (1991) bulunmaktadır.

Simon Schaffer'ın Prometeyen bilim tanımı Schaffer'da (2010) yer almaktadır. GeoMIP belgelerinin bir arşivi için bkz. GeoMIP (2015'ten itibaren); Kravitz et al.'a (2013), genel bir bakış sunmaktadır. Kutupsal veya ekvatorial yetersiz veya fazla soğumanın neden temel bir sorun olmadığını görmek için bkz. MacMartin et al. (2013). Jones et al. (2013) sonlandırma şokuyla ilgilenir. Ray Pierrehumbert, Pierrehumbert'te (2015), bağlılık konusundaki endişelerini sert bir şekilde dile getiriyor. climateprediction.net makalesi Ricke, Morgan ve Allen'dadır (2010). Sonuçları, Kravitz et al.'da (2014) geniş bir

biçimde destekleniyor; yine de farklı görünen bir sonuç için ayrıca bkz. Crook, Jackson ve Forster (2015).

Beşinci Bölüm: Farklı Düşünmeye Başlamak

İklim üzerindeki beşeri etkiyle ilgili fikirlerin tarihi, büyük ölçüde Fleming (1998), Locler ve Fressoz (2012) ve Golinski'ye (2007) dayanmaktadır. Grove (1995) adalar, Blackbourn (2006) Almanya, Meyer (2000) Amerika ve Davis (2004) Kuzey Afrika üzerine mükemmeldir. İnsanların Avrupa iklimine yirminci yüzyıldan önceki fiili etkileri Betts et al.'da (2007) modellenmiştir. Etzler'in incelemesi, Thoreau'dadır (1974).

Mars jeomühendisliği hakkında bkz. Lowell (1896) ve (1906), Marklay (2005) veya aslında Morton (2002); William James'e bağlantı Dolan'da (1992). Dünya jeomühendisliği ile Mars'ı inşa etme arasındaki daha yeni etik bağlantılar için bkz. Robinson (1993), (1994) ve (1996). Hamblin (2013), çevresel savaş ve bunun felaket senaryoları üzerindeki etkilerine ışık tutuyor; McNeill ve Unger (2010) yardımcı olan bağlamlar sunuyor. "How to Wreck the Environment" [Çevre Nasıl Mahvedilir], MacDonald'dır (1967). On dokuzuncu yüzyılın sonları ve yirminci yüzyılın başlarındaki popüler iklim değişikliği planları Collins'te (2005) tartışılmaktadır. Roger Revelle'in masa tenisi topları, Başkanlık Bilim Danışma Konseyi Raporu'nun (1965) Ek Y4'ündedir. Lamb (1972), Bölüm 19'da iklim üzerindeki insan etkisinin ve olası jeomühendislik yaklaşımlarının bir raporunu verir; benzer bir rapor Schneider'dadır (1977). Sera ısınmasına bir cevap niteliğindeki jeomühendisliğin kurucu makaleleri Marchetti (1977) ve Dyson (1977)'dir.

1990'ların başında jeomühendisliğin nerede olduğuna dair bir fikir Ulusal Bilim Akademilerinden (1992) alınabilir; ayrıca bkz. MacCracken (1991), Palm Coast Konferansı'nda sunulan bir makale. Karbondioksit politikası ve iklim

değişikliği biliminin birbiriyle bağlantılı bir şekilde büyümesi, Weart (2008) ve Howe'da (2014) takip edilebilir. İngiliz tüketiminde, üretimin aksine, karbon giderme olmaması Helm'de (2012) tartışılmaktadır. İklim değişikliği konusunda uluslararası ilerlemenin neden zor olduğunun en iyi açıklaması Victor'dadır (2011).

Altıncı Bölüm: Oyunun Ortasında Kuralları Değiştirmek

Livermore makalesi, Teller, Wood ve Hyde'dadır (1997). Lowell Wood'un Aspen konuşmasına verilen cevaplar Keith (2000a) ve Bala ve Caldeira'da (2000) bulunmaktadır. Teller'in katkısının siyasi bağlamı Oreskes ve Conway'de (2012) tafsilatlı olarak anlatılmıştır. Ken Caldeira'nın okyanus asitlenmesi tartışmasına kısa ama oldukça etkili olan ilk katkısı Caldeira ve Pickett'te (2003) bulunabilir; mercan resifleri için bkz. Hoegh-Guldberg et al. (2007). Jeomühendisliğin eksenel tartışması Crutzen'de (2006) yer almaktadır. "Süper yüz-süz dönüş", adını, Levitt ve Dubner'den (2011) alır; sarsıcı bir eleştiri için bkz. Pierrehumbert (2011). Dünyaya "güneş radyasyonu yönetimini" veren NASA toplantısının tutanakları Lane et al.'dadır (2007).

"Ahlaki tehlike" argümanları pek çok yerde ele alınıyor. Gardiner (2012)'deki anlatımı, özellikle nesiller boyunca kabiliyetin değil de riskin geçişini vurgulaması açısından yararlı buluyorum; ayrıca bkz. Hale (2012) ve Morrow (2014). Hiç yayımlanmamış Bush dönemi raporu, Khan et al.'dadır (2001). "İklimsel acil durum" çerçevesinin oluşturulmasında rol oynayan Novim raporu, Blackstock et al.'dadır (2009); ayrıca bkz. Royal Society (2009) ve Bipartisan Center (2011). Eylem halindeki acil durum düşüncesi için bkz. Arktik Acil Metan Grubu (2014); sağlam bir eleştiri için bkz. Horton (2015). "Breathing space" [Nefes alanı] makalesi Wigley'dedir (2006). David Keith ve meslektaşlarının stratosferik deney düşüncesi

bkg. Dykema et al. (2014) ve olası deneylerin bir portföyü için bkg. Keith, Duren ve MacMartin (2014). Bu tür araştırmaların düzenlenmesine ilişkin ilkeler Rayner et al.'da ele alınmaktadır (2013); ayrıca bkg. Parker (2014). Agar (2013), modern bilim ideolojisinde “kontrolün” rolü hakkında muhtelif ciddi örnekler sunar. Latour (2011), Prometeyen'e, özen gösterme ödevini öğretir. Termostat kadar eli de yapma ihtiyacının anlaşılması için Andrew Mathews'e minnettarım.

Yedinci Bölüm: Azot

IPPC'nin (2013) altıncı bölümü, biyojeokimyasal döngülere ve bunlara yapılan beşeri müdahalelere çok yararlı bir genel bakıştır. İnsan müdahalesinden önceki ve sonraki nitrojen döngüsünün bir açıklaması için, Galloway et al.'a (2004) bakınız ve beşeri kimyagerlerin bunu nasıl devraldığına dair harika bir açıklama için bkg. Smil (2001).

Crookes'un konuşması, Crookes'tadır (1898). Marx ve guano ile düşündürücü analiz hakkında daha fazla bilgi için bkg. Foster, Clark ve York (2010). Crookes'un otuz yılının bir değerlendirmesi Enfield'dedir (1931); Enfield kroniklerinde bazı değişimlerin kum çanağı oluşturmaları Egan (2006)'da anlatılmaktadır. Vogt ve Osborn için bkg. Desrochers ve Hoffbauer (2009); ayrıca bkg. Ehrlich (1968) ve Ehrlich ve Ehrlich (2009). “Yeşil Devrim”in bilimsel ve politik arka planı konusunda Cullather (2012) mükemmeldir. Azot sabitlemenin çiftçiliğin temel enerjisini nasıl değiştirdiği Leach'te (1976) anlatılmıştır; ayrıca bkg. Smil (2008).

Nitrojen sabitlemenin yol açtığı karışıklık duygusu Fowler et al. (2013), Erisman et al. (2013) ve Sutton et al.'da (2011) sunulmaktadır. Bala et al. (2013) tüm bunların küresel üretkenlik üzerindeki etkilerini tahmin etmektedir. Ortalığı karıştıran şeyin mühendislik olmadığı Keith'te (2000b) anlatılmaktadır. Modern tarımsal üretim olmadan yedi milyar insanı

beslemek için gereken alan hesabı Burney, Davis ve Lobell'de (2010) yapılmıştır.

Sekizinci Bölüm: Karbonun Dünü ve Bugünü

Atomcu iyimserliğin birincil kaynağı Soddy'dir (1909); ayrıca biyografisine bakınız, Merricks (1996). Yirminci yüzyılın karbon geçmişinin bilhassa faydalı bir okuması Mitchell'dedir (2011). Soddy sonrası dönem için güzel çağdaş Dünya tarihi için, bkz. Langmuir ve Broecker (2012) ve Lenton ve Watson (2011). Ruddiman'ın fikirleri, Ruddiman (2008) ve Ruddiman'da (2014) bulunabilir; Dünya üzerindeki ilk insan etkilerine genel bir bakış Ellis et al.'da (2013) ele alınmaktadır. Ruddiman'ın görüşlerine karşı güçlü eleştiriler, diğerlerinin yanında Bala et al. (2007) ve Singarayer et al.'da (2011) yer almaktadır. 1610 yılının Antroposen'in başlangıcı olarak alınabileceği düşüncesi Lewis ve Maslin'de (2015) geliştirildi ve o anda insanlık tarihinde büyük bir uçurumun açıldığı duygusu Pomeranz (2001) ve Mann'da (2011) bulunabilir. Böyle bir analizin, Antroposen'e geçişi, genel olarak türlerden kaynaklanmak yerine belirli bir ekonomik ve politik sistemin sonucu haline getirdiği fikri Malm ve Hornborg'da (2014) geliştirilmiştir.

Buz çağlarında iklimsel ara dönemlerin keşfine ilişkin bir açıklama için bkz. Kunzrig ve Broecker (2008); devrilme noktalarına ve iklim değişikliğine genel bir bakış için, bkz. Lenton et al. (2007). Rowan Sage'in karbondioksit ve tarımın kökenleri hakkındaki fikirleri Sage'dedir (1995). Holosen'de tarımın zorunlu olması, Richerson, Boyd ve Bettinger'de (2001) yer alan bir fikirdir. Tasarlanmış dünyadaki tarımsal verim tahminleri Pongratz et al.'dan (2012) alınmıştır. Holosen Sahra devrilme noktası, Liu et al. (2006) ve Claussen'de (2009) tartışılmıştır. Erken-orta Holosen döneminde Megachad Gölü kıyılarındaki yaşama dair bir tasavvur Broodbank'ta (2014) bulunabilir. Zorla tuzdan arındırma ve sulama yoluyla Sahra'nın ıslah edilmesi için bkz. Ornstein, Aleinov ve Rind (2009).

Dokuzuncu Bölüm: Karbonun Bugünü ve Yarını

Önerilen tüm karbondioksit giderme teknolojilerine genel bir bakış için McClaren'e (2012) bakınız. CCS'nin teknik bir açıklaması için bkz. Wilcox (2012). Deniz suyu yaklaşımları, Caldeira ve Rau (2000) ve Rau'da (2011) anlatılmıştır. Okyanusları demirle gübreleme deneyleri Boyd et al. (2007) ve Williamson et al.'da (2012) gözden geçirilmiştir; ayrıca bkz. Kunzrig ve Broecker (2008), Kintisch (2010) ve Goodell (2010). Bu şekildeki jeomühendislik çalışmalarına karşı çıkan oşinografların bir açıklaması için, bkz. Strong et al. (2009). Ormanların küvet olarak kullanılması için bkz. Dyson (1977); Geçmişte gerçekleşen tüm orman kayıplarını tersine çevirerek depolanabilecek karbondioksit tahminleri House, Prentice ve Lequere'den (2002) alınmıştır. Woolf et al. (2010) biyokömürün potansiyeli hakkında iyimser bir anlatı sunar; Read (2008), BECCS'nin önemli bir izahıdır. Jeomühendisliğin yokluğunda emisyonların uzun süreli etkileri için bkz. Solomon et al. (2009) ve Archer (2010).

Onuncu Bölüm: Kükürt ve Islak Aynalar

Bulut tohumlama ve Cirrus Projesi'nin hikayesi için, bkz. Fleming (2010) ve ayrıca, finansman rakamlarının geldiği Byers (1974) ve Cotton ve Pielke'ye (1995) bakınız; daha geniş bir bağlam için bkz. Meyer (2000). Kurt Vonnegut, Vonnegut'ta (1977) Langmuir ile geçirdiği zamanı hatırlar. Uzun vadeli deneme Breed'de (2014) ve dünya çapındaki duruma ilişkin bir güncelleme Brintjes'tedir (2013). Latham'ın ilk jeomühendislik makalesi Latham'dadır (1990). 1960'lardaki küresel soğuma hakkında, bkz. Weart (2008). Buz devri makalesi, Schneider ve Rasool'dadır (1971) ve nasıl oluştuğu Schneider'da (2009) yeniden anlatılır; ayrıca bkz. Schneider (1977); buzul çağı endişelerinin son zamanlarda abartılması hakkında Peterson, Connolley ve Fleck'e (2008) bakınız. Fred Hoyle'un

bir buz devri durumunda Dünya'yı ısıtmaya yönelik planları Hoyle'de (1981) ve Lovelock'un anti-soğutma jeomühendisliğiyle ilgili alçak sesli sözleri Lovelock'ta (1966) yer almaktadır; planktonik kükürtle ilgili keşifleri Lovelock'ta (2000) anlatılmıştır ve bu araştırmanın doruk noktası Charlson et al.'da (1987) yer alır.

Aerosollerin yağış üzerindeki karmaşık etkisi Rosenfeld et al.'da (2008) ve bölgesel bazda Shindell et al.'dadır (2012a); Güney Asya musonları üzerindeki etkileri Bollasina, Ming ve Ramaswamy'de (2011) araştırılmıştır. Çin sülfat emisyonları ile ortalama küresel sıcaklıkların artışı arasındaki yavaşlama arasındaki olası bağlantı, Streets et al.'da (2013) incelenmiştir. Kısa ömürlü zorlayıcıların hem sağlık hem de iklim açısından azaltılması gerektiği iddiası Shindell'de (2012b) ortaya konmuştur.

Uluslararası sularda kükürt emisyonlarına ilişkin IMO kısıtlaması gibi hareketlerin sağlık ve iklim üzerindeki etkileri için bkz. Lauer et al. (2009) ve Winebrake et al. (2009). Bulut gemileri için bkz. Salter, Sortino ve Graham (2008) ve Phil Rasch'ın bu yöntemin etkinliğine ilişkin hesaplamalarını da içeren deniz bulutu aydınlatmasına genel bir bakış için, bkz. Latham et al. (2008); Brezilya için sorun bulan, İngiliz Meteoroloji Dairesi makalesi Jones, Haywood ve Boucher'dedir (2009). Kentsel aydınlatma için bkz. Akbari, Menon ve Rosenfeld (2009); ekin aydınlatmasına Ridgwell et al. (2009) ve Doughty, Fields ve McMillan'da (2011) bakılmıştır; su yüzeylerinin aydınlatılması için bkz. Seitz (2011). Isı dalgalarına bir cevap olarak çok ideal bir perde yapma modeli Bernstein et al.'da (2013) ve deniz bulutu aydınlatmasının bölgesel uygulamaları Latham et al.'da (2014) tartışılmaktadır. Deniz bulutu aydınlatmasının ardından kara üzerindeki yağış artışı Bala et al.'da (2011) modellenmiştir. Bu tekniklerin birçoğunun potansiyeline ilişkin bir değerlendirme Lenton ve Vaughan'da (2009) yer almaktadır. Sadece bir yarımkürede perde yapımının etkileri Haywood et al.'da (2013) tasvir edilmiştir; ayrıca

bkz. Oman et al. (2005). Bölgesel jeomühendisliği çevreleyen bazı yasal konular Hester’de (2013) ele alınmaktadır.

On Birinci Bölüm: Dünyanın Sonu

Badash (2009), nükleer kışla ilgili argümanların ve kökenlerinin tam bir açıklamasını sunar; anahtar makaleler Crutzen ve Birks (1982) ve Turco et al.’dır (1983) –TTAPS makalesi. Levenson (1990) mükemmel bir içerik sunar. Weart (1988) ve Brians (1987), nükleer korkunun kültürel sonuçlarını anlamak için faydalıdır; Johan Rockström, Rayner ve Heyward’dan (2013) alıntılanmıştır. Huxley’in konuşması hakkında daha fazla bilgi için bkz. Deese (2010). John von Neumann hakkında mevcut birçok kaynak arasında Dyson (2012) öne çıkıyor; onun süpernova korkuları Smith’ten (2007) alıntılanmıştır ve “Sonsuz Tahmin” toplantısının makaleleri Pfeffer’dadır (1956). Hava modifikasyonu ve iklim modellemesinin farklı akademik ortamları hakkındaki düşünce, Hart ve Victor’da (1993) geçmektedir ve Paul Edwards’ın iklim ve nükleer gücü birlikte ele alan incelemesi Edwards’ta (2012) yer almaktadır. İklimin insanlar tarafından kasten ve kasıtsız bir şekilde değiştirilmesi arasındaki simetri Schneider’da (1977) güzel bir şekilde görülmektedir. Nükleer kışa yol açan felaket tellalı makalelerin izi, Ruderman (1974), Alvarez et al. (1980) ve Toon et al.’ı (1982) içerir. Schneider ve Sagan’ın kapışması için bkz. Schneider (2009). Turco ve Sagan (1990), soğuk savaşın sona ermesine yardımcı olan nükleer kış durumunu ortaya koyuyor. Gaddis (2005) ikna edici olmayan (ve “ölüm gemisi” ifadesini kullanmama bilinçsizce ilham vermiş olabilir) çeşitli hikayelerden biridir. Sagan ve Pollack (1993), diğer gezegenlerin teknolojik dönüşümleri bağlamında jeomühendislikten beklentileri değerlendirir.

Chandler (2008) asterokliğin ilk günlerinin canlı bir anlatımını sunar; Duncan Steel’in Byron alıntısı Medwin’dendir (1824).

Morrison et al. (2002), bilimin politikayla bağıını ortaya koyar ve Harris (2008), tespit edilmemiş bir asteroidin çarpma riskinin nasıl bu kadar belirgin bir şekilde azaldığını gösterir. Mellor (2007), asteroid tespiti ve saptırılması ile ordu arasındaki bağlantıları ele alıyor. Asteroid saptırmanın kazananları ve kaybedenleri Schweickart'ta (2004) anlatılıyor. Carl Sagan'ın asteroid saptırmanın kasıtlı olarak kötüye kullanılması konusundaki endişeleri Sagan ve Ostro'da (1994) ve onun aya nükleer bomba atılmasıyla ilgili çalışması Davidson'da (1999) tartışılıyor. David Keith'in kendi kendine yükselen aerosoller Keith'te (2010) yer almaktadır ve "karşı jeomühendislik" fikri Parker ve Keith'te (2015) tartışılıyor. Gezegen çapında buzullaşmayı sağlamak için jeomühendisliğin kurgusal bir kullanımı, Cooper ve Niven'da (2001) bulunabilir.

Bölüm 12: Tasarlanan Gezegen

Steve Rayner, 2014 Berlin toplantısında jeomühendisliğin bir tür sivil itaatsizlik olarak başlatılabileceğini öne sürdü ve bu teklifi işittiğim için kendisine çok minnettarım. Bahsedilen ısınma hızının yarıya indirilmesine ilişkin senaryo Keith ve MacMartin'de (2015) yer almaktadır. Bağlantı üzerindeki tartışmalar Parson'da (2014) anlatılıyor ve bir basitleştirme olarak jeomühendislik fikri, muhteşem Schelling'e (1997) kadar uzanır. Konser'de karar verme mekanizmasına uygun olabilecek bazı argümanlar Weitzman'da (2012) bulunmaktadır. Teknolojik kilitlenme Cairns'de (2014a) incelenmektedir. Yale senaryoları Banerjee et al.'dadır (2013). Mamutların rolü Doughty, Wolf ve Christopher'da (2010) tartışılmıştır ve buzul kısıtlaması fikrine ilk olarak UCSC'de Slawek Tulaczyk'in bir konuşmasında rastladım; bunların her ikisi de Robinson'da (2012) kurgusal olarak kullanıldı. Duncan McClaren'e kintsuginin alakasına dair sezgisi için çok müteşekkirim; benim onu kullanış şeklim, onun konuyla ilgili düşüncesini temsil ediyor olarak anlaşılmamalıdır.

BİBLİYOGRAFYA

Metinde ve notlarda doğrudan atıfta bulunulan kitap, makale ve diğer belgeleri içerir.

- Abbott, Charles Greeley (1938). *The Sun and the Welfare of Man*. Smithsonian Press.
- Agar, Jon (2013). *Science in the 20th Century and Beyond*. Polity Press.
- Akbari, Hashem, Menon, Surabi ve Rosenfeld, Arthur (2008). "Global Cooling: Increasing World-Wide Urban Albedos to Offset CO₂", *Climate Change* 94, s. 275-286.
- Alvarez et al. (1980). "Extraterrestrial cause for the Cretaceous –Tertiary extinction", *Science* 208, s. 1095-1108.
- Anderson, Kevin ve Bows, Alice (2008). "Reframing the Climate Change Challenge in Light of Post-2000 Emission Trends", *Phil. Trans. Roy. Soc. A* 366, s. 3863-3882.
- Angel, Roger (2006). "Feasibility of Cooling the Earth with a Cloud of Small Spacecraft Near the Inner Lagrange Point (L1)", *PNAS* 103, s. 17184-17189.
- Anker, Peder (2010). *From Bauhaus to Ecohouse: A History of Ecological Design*. Louisiana State University Press.
- Archer, David (2010). *The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate*. Princeton University Press.
- Arctic Methane Emergency Group (2014). *Strategic Plan*. <http://a-m-e-g.blogspot.co.uk/2012/12/ameg-strategic-plan.html>
- Bachelard, Gaston (1964). *The Poetics of Space*. (çev., by Maria Jolas), Orion Press.
- Badash, Lawrence (2009). *A Nuclear Winter's Tale: Science and Politics in the 1980s*. MIT Press.

- Bala, Govindasamy ve Caldeira, Ken (2000). "Geoengineering Earth's Radiation Balance to Mitigate CO₂ -Induced Climate Change", *Geophysical Research Letters* 27, s. 2141-2144.
- Bala, Govindasamy et al. (2007). "Combined Climate and Carbon-Cycle Effects of Large-Scale Deforestation", *PNAS* 104, s. 6550-55.
- Bala, Govindasamy et al. (2011). "Albedo Enhancement of Marine Clouds to Counteract Global Warming: Impacts on the Hydrological Cycle", *Climate Dynamics* 37, s. 915-931.
- Bala, Govindasamy et al. (2013). "Nitrogen Deposition: How Important is it for Global Terrestrial Carbon Uptake?", *Biogeosciences* 10, s. 7147-7160.
- Banerjee, Bidisha et al. (2013). *Scenario Planning for Solar Radiation Management*. Yale Climate and Energy Institute.
- Bernstein, Diana N. et al. (2013). "Could Aerosol Emissions Be Used for Regional Heat Wave Mitigation?", *Atmospheric Chemistry and Physics* 13, s. 6373-6390.
- Betts, Richard A. et al. (2007). "Biogeophysical Effects of Land Use on Climate: Model Simulations of Radiative Forcing and Large-Scale Temperature Change", *Agricultural and Forest Meteorology* 142, s. 216-233.
- Bipartisan Policy Center (2011). *Geoengineering: A National Strategic Plan for Research on the Potential Effectiveness, Feasibility, and Consequences of Climate Remediation Technologies*.
- Blackbourn, David (2006). *The Conquest of Nature: Water, Landscape and the Making of Modern Germany*. Jonathan Cape.
- Blackstock, Jason et al. (2009). *Climate Engineering Responses to Climate Emergencies*. The Novim Group.
- Bollasina, Massimo A., Ming, Yi ve Ramaswamy, V. "Anthropogenic Aerosols and the Weakening of the South Asian Summer Monsoon", *Science* 334, s. 502-505.
- Bonneuil, Christophe ve Fressoz, Jean-Baptiste (2013). *L'Evenement Anthropocene: La Terre, l'Histoire et Nous* Seuil.
- Boyd, Philip et al. (2007). "Mesoscale Iron Enrichment Experiments 1993-2005: Synthesis and Future Directions", *Science* 315, s. 612-617.
- Breed, Daniel et al. (2014). "Evaluating Winter Orographic Cloud Seeding: Design of the Wyoming Weather Modification Pilot Project (WWMPP)", *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 53, s. 282-299.
- Brand, Stewart (2009). *Whole Earth Discipline: An Ecopragmatist Manifesto*. Viking.
- Brians, Paul (1987). *Nuclear Holocaust: Atomic War in Fiction, 1895 - 1984*. Kent State University Press.

- Broecker, Wally (ve Wallace) –bkz. Kunzrig, Robert and Langmuir, Charles.
- Broodbank, Cyprian (2014). *The Making of the Middle Sea: A History of the Mediterranean from the Beginning to the Emergence of the Classical World*. Thames & Hudson.
- Brown, Harrison (1954). *The Challenge of Man's Future*. Viking.
- Bruintjes, Roelof (2013). *Report on the Expert Team on Weather Modification Meeting 2012/2013*. World Meteorological Organization.
- Byers, Horace R. (1974). "History of Weather Modification", *Weather and Climate Modification*, ed. W. N. Hess. John Wiley & Sons.
- Buffon, Comte de [George Louis Leclerc] (1778). "Epoques de la Nature", *Histoire Naturelle*.
- Burney, Jennifer A. Davis, Steven J. ve Lobell, David B. (2010). "Greenhouse Gas Mitigation by Agricultural Intensification", *PNAS* 107, s. 12052-12057.
- Cairns, Rose C. (2014a). "Climate Geoengineering: Issues of Path-Dependence and Socio-Technical Lock-In", *WIREs Climate Change* doi: 10.1002/wcc.296.
- Cairns, Rose C. (2014b). "Climates of Suspicion: 'Chemtrail' Conspiracy Narratives and the International Politics of Geoengineering", *Climate Geoengineering Governance Working Paper Series*: 009.
- Caldeira, Ken, Bala, Govindasamy ve Cao, Long (2013). "The Science of Geoengineering", *Annual Series of Earth and Planetary Sciences* 41, s. 231-256.
- Caldeira, Ken ve Rau, Greg (2000). "Accelerating Carbonate Dissolution to Sequester Carbon Dioxide in the Ocean: Geochemical implications", *Geophysical Research Letters* doi: 10.1029/1999GL002364.
- Caldeira, Ken ve Pickett, Michael. "Oceanography: Anthropogenic Carbon and Ocean pH", *Nature* 425, s. 365-365.
- Cameron, Laura ve Forrester, John (1999). "A Nice Type of the English Scientist": Tansley ve Freud. *History Workshop Journal Issue* 48.
- Carson, Rachel (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin.
- Chapman, Clark R. ve Morrison, David (1989). *Cosmic. Catastrophes* Plenum.
- Chandler, David (2008). "The Burger Bar that Saved the World", *Nature* 453, s. 1164-1168.
- Charlson, Robert J. et al. (1987). "Oceanic Phytoplankton, Atmospheric Sulphur, Cloud Albedo and Climate", *Nature* 326, s. 655-661. –the CLAW paper.
- Cicerone, Ralph J. Elliott, Scott ve Turco, Richard P. (1991). "Reduced Antarctic Ozone Depletions in a Model with Hydrocarbon Injections", *Science* 254, s. 1191-1194.

- Clarke, Arthur C. (1979). *The Fountains of Paradise*. Gollancz.
- Claussen, Martin (2008). "Holocene Rapid Land-Cover Changes –Evidence and Theory" in *Natural Climate Variability and Global Warming*, ed. Richard Battarbee ve Heather Binney, Wiley-Blackwell.
- Collins, Paul (2005). "Polar Eclipse", *New Work Magazine* (10 Mayıs).
- Commoner, Barry (1975). *The Closing Circle: Nature, Man and Technology*. Knopf.
- Cooper, Brenda ve Given, Larry (2001). "Ice and Mirrors", *Asimov's Science Fiction*. Şubat 2001.
- Cooper, Gary et al. (2014). "Preliminary Results for Salt Aerosol Production Intended for Marine Cloud Brightening, Using Effervescent Spray Atomization", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 372 doi: 10.1098/rsta.2014.0055.
- Cornell, Sarah E. et al, ed. (2012). *Understanding the Earth System: Global Change Science for Application*. Cambridge University Press.
- Cosgrove, Denis (2001). *Apollo's Eye: A Cartographic Genealogy of the Earth in the Western Imagination*. Johns Hopkins University Press.
- Cotton, William R. ve Pielke, Roger A. (1995). *Human Impacts on Weather and Climate*. Cambridge University Press.
- Crary, Jonathan (1999). *Techniques of the Observer: On Vision and Modernity in the Nineteenth Century*. MIT Press.
- Crook, Julia, Jackson, Lawrence ve Forster, Piers (2015). "A Comparison of Temperature and Precipitation Responses to Different Earth Radiation Management Geoengineering Schemes", *Journal of Geophysical Research* (baskı sürecinde).
- Crookes, William (1898). "Presidential Address to the British Association for the Advancement of Science", *Chemical News* 78, s. 125-139.
- Crutzen, Paul J. ve Stoermer, E. F. (2000). "The 'Anthropocene'", *Global Change Newsletter* 41, s. 17-18.
- Crutzen, Paul J. (2006). "Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma", *Climatic Change* 77, s. 211-219.
- Crutzen, Paul J. Ve Birks, John W (1982). "The Atmosphere after a Nuclear War: Twilight at Noon", *Ambio* 11, s. 114-125.
- Cullather, Nick (2012). *The Hungry World: America's Cold War Battle Against Poverty in Asia*. Harvard University Press.
- D'Arcy Wood, Gillen (2014). *Tambora: The Eruption that Changed the World*. Princeton University Press.
- Davidson, Keay (1999). *Carl Sagan: A Life*. John Wiley and Sons.

- Davis, Diana (2004). "Desert 'Wastes' of the Maghreb: Desertification Narratives in French Colonial Environmental History of North Africa", *Cultural Geographies* 11, s. 359-387.
- Deese, R. Samuel (2010). "The New Ecology of Power: Julian and Aldhous Huxley in the Cold War Era", *Environmental Histories of the Cold War*, ed. J. R. McNeill ve Corinna R. Unger.
- Desrochers, Pierre ve Hoffbauer, Christine (2009). "The Post War Intellectual Roots of the Population Bomb: Fairfield Osborn's 'Our Plundered Planet' and William Vogt's 'Road to Survival' in Retrospect", *Electronic Journal of Sustainable Development* 1, s. 73-97.
- Dolan, David Sutton (1992). "Percival Lowell: The Sage as Astronomer", PhD thesis. University of Wollongong.
- Dörries, Matthias (2006). "In the Public Eye: Volcanology and Climate Change Studies in the 20th Century", *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 37, s. 87-125.
- Doughty, Christopher, Wolf, Alexander ve Field, Christopher (2010). "Biophysical Feedbacks Between the Pleistocene Megafauna Extinction and Climate: The First Human- Induced Global Farming?", *Geophysical Research Letters* doi: 10.1029/2010GL043985.
- Doughty, Christopher, Field, Christopher ve McMillan, Andrew (2011). "Can Crop Albedo Be Increased Through the Modification of Leaf Trichomes, and Could this Cool Regional Climate?", *Climatic Change* 104, s. 379-387.
- Dykema, John A et al. (2014). "Stratospheric Controlled Perturbation Experiment: A Small-Scale Experiment to Improve Understanding of the Risks of Solar Geoengineering", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 372 doi: 10.1098/rsta.2014.0059.
- Dyson, Freeman J. (1977). "Can We Control the Carbon Dioxide in the Atmosphere?", *Energy* 2, s. 287-291.
- Dyson, George (2012). *Turing's Cathedral: The Origins of the Digital Universe*. Allen Lane.
- Edwards, Paul N. (2010). *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*. MIT Press.
- Edwards, Paul N. (2012). "Entangled Histories: Climate Science and Nuclear Weapons Research", *Bulletin of the Atomic Scientists* 68, s. 28-40.
- Egan, Timothy (2006). *The Worst Hard Time: The Untold Story of Those Who Survived the Great American Dust Bowl*. Mariner Books.
- Ehrlich, Paul (1968). *The Population Bomb*. Ballantine Books.
- Ehrlich, Paul R. ve Ehrlich, Anne H. (2009). "The Population Bomb Revisited", *Electronic Journal of Sustainable Development* 1, s. 5-14.

- Ellis, Erle C. et al. (2013). "Used Planet: A Global History", *PNAS* 110, s. 7978-7985.
- Enfield, R. R. (1931). "The World's Wheat Situation", *Economic Journal* 41, s. 550-565.
- Erismann, Jan Willem et al. (2014). "Consequences of Human Modification of the Global Nitrogen Cycle", *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 368 doi: 10.1098/rstb.2013.0116.
- ETC Group (2010). *Geopiracy: The Case Against Geoengineering*.
- Etzler, John Adolphus (1836). *The Paradise within the Reach of all Men, without Labor, by Powers of Nature and Machinery*. John Brooks.
- Fisk, Dorothy (1934). *Exploring the Upper Atmosphere*. Oxford University Press.
- Fleming, James Rodger (1998). *Historical Perspectives on Climate Change*. Oxford University Press.
- Fleming, James Rodger (2010). *Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control*. Columbia University Press.
- Foster, John Bellamy, Clark, Brett ve York, Richard (2010). *The Ecological Rift: Capitalism's War on the Earth*. Monthly Review Press.
- Fowler, David et al. (2013). "The Global Nitrogen Cycle in the Twenty-first Century", *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 368 doi: 10.1098/rstb.2013.0164.
- Gaddis, John Lewis (2005). *The Cold War*. Penguin.
- Galloway, James N, et al. (2004). "Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future", *Biogeochemistry* 70, s. 153-226.
- Gardiner, Stephen M. (2011). *A Perfect Moral Storm: The Ethical Tragedy of Climate Change*. Oxford University Press.
- Garrels, Robert M. Mackenzie, Fred T. ve Hunt, Cynthia (1973). *Chemical Cycles and the Global Environment: Assessing Human Influences*. William Kaufmann Inc.
- GeoMIP (2015 onwards) –an archive of all papers can be found at <http://climate.envsci.rutgers.edu/GeoMIP/publications.html> (15 Mayıs 2015'te erişildi).
- Gernsback, Hugo (1917). *The Scientific Adventures of Baron Münchhausen* (Robert Godwin tarafından derlenmiş, kısaltılmış ve düzenlenmiştir). Apogee Books.
- Glick, Thomas F. –bkz. Thoreau, Henry David.
- Godwin, Robert –bkz. Gernsback, Hugo.
- Golinski, Jan (2007). *British Weather and the Climate of Enlightenment*. University of Chicago Press.

- Goodell, Jeff (2010). *How to Cool the Planet: Geoengineering and the Audacious Quest to Fix Earth's Climate*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Greene, Mott T. (2000). "High Achiever" *Nature* 407, s. 947.
- Grove, Richard (1995). *Green Imperialism: Colonial Expansion, Tropical Island Edens and the Origins of Environmentalism, 1600-1860*. Cambridge University Press.
- Grübler, Arnulf (2012). "Energy Transitions Research: Insights and Cautionary Tales", *Energy Policy* 50, s. 8-16.
- Gu, Lianhong et al. (2003). "Response of a Deciduous Forest to the Mount Pinatubo Eruption: Enhanced Photosynthesis", *Science* 28, s. 2035-2038.
- Hale, Benjamin (2012). "The World that Would Have Been: Moral Hazard Arguments Against Geoengineering", *Engineering the Climate: The Ethics of Solar Radiation Management*, ed Christopher J. Preston, Lexington Books.
- Hamblin, Jacob Darwin (2012). *Arming Mother Nature: The Birth of Catastrophic Environmentalism*. Oxford University Press.
- Hamilton, Clive (2013). *Earthmasters: The Dawn of the Age of Climate Engineering*. Yale University Press. Ayrıca daha geniş bir derleme için bkz. clivehamilton.com.
- Hansen, James et al. (1992). "Potential Climate Impact of Mount Pinatubo Eruption" *Geophysical Research Letters* 19, s. 215-218.
- Hansen, James et al. (1996). "A Pinatubo Climate Modelling Investigation", *The Mount Pinatubo Eruption: Effects on the Atmosphere and Climate*, ed. Giorgio Fiocco, Daniele Fuà ve Guido Visconti, Springer.
- Hart, David ve Victor, David (1993). "Scientific Elites and the Making of US Policy for Climate Change Research, 1957-74", *Social Studies of Science* 23, s. 643-680.
- Harris, Alan (2008). "What Spaceguard Did", *Nature* 453, s. 1178-1179.
- Haywood, Jim M. et al. (2013). "Asymmetric Forcing from Stratospheric Aerosols Impacts Sahelian Rainfall", *Nature Climate Change*. doi: 10.1038/NCLIMATE1857.
- Heard, Gerald (1936). *Exploring the Stratosphere*. T. Nelson and Sons.
- Heard, Gerald (as Heard, H. F.) (1947). "The President of the United States, Detective", *Ellery Queen's Mystery Magazine* (Mart 1947).
- Hecht, Gabriel (2009). *The Radiance of France*. MIT Press.
- Helm, Dieter (2012). *The Carbon Crunch: how We're Getting Climate Change Wrong –and How to Fix it*. Yale University Press.
- Herzog, Arthur (1977). *Heat* Pan Books.

- Hester, Tracy D. (2013). "A Matter of Scale: Regional Climate Engineering and the Shortfalls of Multinational Governance", *Carbon and Climate Law Review* 3, s. 168.
- Hoegh-Guldberg, Ove et al. (2007) "Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification" *Science* 318, s. 1737-1742
- Holton, James R. et al. (1995). "Stratosphere -Troposphere Exchange", *Reviews of Geophysics* 33, s. 403-439.
- Hornborg, Alf (2014). "Technology as Fetish: Marx, Latour, and the Cultural Foundations of Capitalism", *Theory, Culture and Society*. doi: 10.1177/0263276413488960.
- Horton, Joshua (2015). "The Emergency Framing of Solar Geoengineering: Time for a Different Approach", *Anthropocene Review* (baskı sürecinde).
- House, Joanna I., Prentice, I. Colin ve Lequeré, Corinne (2002). "Maximum Impacts of Future Reforestation or Deforestation on Atmospheric CO₂", *Global Change Biology* 8, s. 1047-1052.
- Howe, Joshua P. (2014). *Behind the Curve: Science and the Politics of Global Warming*. University of Washington Press.
- Hoyle, Fred (1981). *Ice: The Ultimate Catastrophe*. Continuum.
- Hulme, Mike (2009). *Why We Disagree About Climate Change: Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*. Cambridge University Press.
- Hulme, Mike (2014). *Can Science Fix Climate Change? A Case Against Climate Engineering*. Polity Press.
- Ingold, Tim (2000). "Globes and Spheres: The Topology of Environmentalism", *The Perception of the Environment: Essays in Livelihood, Dwelling and Skill*, Routledge.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* –bkz. <http://www.climatechange2013.org/>.
- IPCC (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability* – bkz. <http://ipcc-wg2.gov/AR5/>.
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change* –bkz. <http://mitigation2014.org/>.
- Jessee, E. Jerry (2014). "A Heightened Controversy: Nuclear Weapons Testing, Radioactive Tracers, and the Dynamic Atmosphere", *Toxic Airs: Body, Place, and Planet in Historical Perspective* eds James R. Fleming ve Ann Johnson, University of Pittsburgh Press.
- Johnston, Harold (1984). "Human Effects on the Global Atmosphere", *Annual Review of Physical Chemistry* 35, s. 481-505.
- Jones, Andy, Haywood, Jim ve Boucher, Olivier (2009). "Climate Impacts of Geoengineering Maritime Stratocumulus Clouds", *Journal of Geophysical Research* doi: 10.1029/2008JD011450.

- Jones, Andy et al. (2013). "The Impact of Abrupt Suspension of Solar Radiation Management (Termination Effect) in Experiment G2 of the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP)", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* doi: 10.1002/jgrd.50762.
- Keeling, Charles D. (1998). "Rewards and Penalties of Monitoring the Earth", *Annual Reviews of Energy and the Environment* 23, s. 25-82.
- Keith, David W. (2000a). "Geoengineering the Climate: History and Prospect", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 25, s. 245-284.
- Keith, David W (2000b). "The Earth is Not Yet an Artifact", *IEEE Technology and Society Magazine* 19, s. 25-28.
- Keith, David W. (2010). "Photophoretic Levitation of Engineered Aerosols for Geoengineering", *PNAS* 107, s. 16428-16431.
- Keith, David W. (2013). *A Case for Climate Engineering*. MIT Press.
- Keith, David W., Duren, Riley ve MacMartin, Douglas G. (2014). "Field Experiments on Solar Geoengineering: Report of a Workshop Exploring a Representative Research Portfolio", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 372 doi: 10.1098/rsta.2014.0175.
- Keith, David W. ve MacMartin, Douglas G. (2015). "A Temporary, Moderate and Responsive Scenario for Solar Geoengineering", *Nature Climate Change* doi: 10.1038/nclimate2493.
- Khan, Ehsan et al. (2001). *Response Options to Limit Rapid or Severe Climate Change: Assessment of Research Needs*. US Department of Energy.
- King, Paul –bkz. May, James.
- Kingsland, Sharon E. (1994). "Economics and Evolution: Alfred James Lotka and the Economy of Nature", *Natural Images in Economic Thought: "Markets Read in Tooth and Claw"*, ed. Philip Mirowski, Cambridge University Press.
- Kingsland, Sharon E. (1995). *Modeling Nature: Episodes in the History of Population Ecology*. Chicago University Press.
- Kintisch, Eli (2010). *Hack the Planet*. John Wiley and Sons.
- Klein, Naomi (2014). *This Changes Everything: Capitalism vs. the Climate*. Simon & Schuster.
- Kravitz, Ben et al. (2013). "Climate Model Response from the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP)", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* doi: 10.1002/jgrd.50646.
- Kravitz, Ben et al. (2014). "A Multi-Model Assessment of Regional Climate Disparities Caused by Solar Geoengineering", *Environmental Research Letters* 9 doi: 10.1088/1748-9326/9/7/074013.
- Kump, Lee R. et al. (2013). *The Earth System* (3. baskı). Pearson.

- Kunzig, Robert ve Broecker, Wallace S. (2008). *Fixing Climate: The Story of Climate Science –and how to Stop Global Warming Profile*.
- Lamb, Hubert Horace (1971). "Climate-Engineering Schemes to Meet a Climatic Emergency", *Earth-Science Reviews* 7, s. 87-95.
- Lamb, Hubert Horace (1972). *Climate: Present, Past and Future*. Methuen.
- Lane, Lee et al. (2007). *Workshop Report on Managing Solar Radiation* NASA/CP-2007-214558.
- Langmuir, Charles H. ve Broecker, Wally (2012). *How to Build a habitable Planet: The Story of Earth from the Big Bang to Humankind*. Princeton University Press.
- Latham, John (1990). "Control of Global Warming", *Nature* 347, s. 339-340.
- Latham, John et al. (2008). "Global Temperature Stabilization via Controlled Albedo Enhancement of Low-Level Maritime Clouds", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 366, s. 3969-3987.
- Latham, John et al. (2014). "Marine Cloud Brightening: Regional Applications", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 372 doi: 10.1098/rsta.2014.0053.
- Latour, Bruno (2011). "Love Your Monsters", *Breakthrough Journal* 2, s. 21-28.
- Lauer, Axel (2009). "Assessment of Near-Future Policy Instruments for Oceangoing Shipping: Impact on Atmospheric Aerosol Burdens and the Earth's Radiation Budget", *Environmental Science and Technology* 43, s. 5592-5598.
- Leach, Gerald (1976). *Energy and Food Production*. IPC Science and Technology Press.
- Lem, Stanislaw (1986). *One Home Minute* (çev., Catherine S. Leach). Harcourt, Brace.
- Lenton, Timothy M. et al. (2007). "Tipping Elements in the Earth's Climate System", *PNAS* 105, s. 1786-1793.
- Lenton, Timothy M. ve Vaughan, Naomi E. (2009). "The Radiative Forcing Potential of Different Climate Geoengineering Options", *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, s. 5539-5561.
- Lenton, Tim ve Watson, Andrew (2011). *Revolutions That Made the Earth*. Oxford University Press.
- Leopold, Aldo (1949). *A Sand County Almanac and Sketches Here and There*. Oxford University Press.
- Levenson, Thomas (1990). *Ice Time: Climate, Science and Life on Earth*. Harper Collins.
- Levitt, Steven D. ve Dubner, Stephen J. (2011). *SuperFreakonomics: Global Cooling, Patriotic Prostitutes, and Why Suicide Bombers Should Buy Life Insurance*. Harper Collins.

- Lewis, Simon L. ve Malin, Mark A. (2015). "Defining the Anthropocene", *Nature* 519, s. 171-180.
- Liu, Zhengyu et al. (2006). "On the Cause of Abrupt Vegetation Collapse in North Africa During the Holocene: Climate Variability vs. Vegetation Feedback", *Geophysical Research Letters* 33 doi: 10.1029/2006GL028062.
- Locher, Fabien ve Fressoz, Jean-Baptiste (2012). "Modernity's Frail Climate: A Climate History of Environmental Reflexivity", *Critical Inquiry* 38, s. 579-598.
- Long, Jane et al. (2011). *California's Energy Future: The View to 2050*. California Council on Science and Technology.
- Lotka, Alfred J. (1925). *Elements of Physical Biology*. Williams and Wilkins.
- Lovelock, James (1966). "Some Thoughts on the Year 2000", Lovelock archives, Science Museum.
- Lovelock, James (1977). *Gaia: A New look at Life on Earth*. Oxford University Press.
- Lovelock, James (1988). *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*. Oxford University Press.
- Lovelock, James (2000). *Homage to data: The life of an Independent Scientist*. Oxford University Press.
- Lowell, Percival (1896). *Mars*. Longmans, Green and Co.
- Lowell, Percival (1906). *Mars as the Abode of Life*. Macmillan.
- Lunine, Jonathan (2013). *Earth: Evolution of a Habitable World* (2. baskı). Cambridge University Press.
- Lynas Mark (2011). *The God Species: Saving the Planet in the Age of Humans*. National Geographic.
- Lynas, Mark (2014). *Nuclear 2.0: Why a Green Future Needs Nuclear Power*. Kindle Single.
- MacCracken, Michael C. (1991). "Geoengineering the Climate", Lawrence Livermore National Laboratory preprint UCRL-JC-108014.
- MacDonald, Gordon J. F. (1968). "How to Wreck the Environment" *Unless Peace Comes*, ed. Neil Calder, Penguin.
- MacKay, David J. C. (2008). *Sustainable Energy – Without the Hot Air*. UIT. Ayrica bkz. <http://www.withouthotair.com/>.
- MacMartin, Douglas G. et al. (2012). "Management of Trade-Offs in Geoengineering Through Optimal Choice of Non-Uniform Radiative Forcing", *Nature Climate Change* doi: 10.1038/ NCLIMATE 1722.
- Maddox, John (1972). *The Doomsday Syndrome: an Attack on Pessimism*. McGraw Hill.
- Malm, Andreas ve Hornborg, Alf (2014). "The Geology of Mankind? A Critique of the Anthropocene Narrative", *Anthropocene Review* 1, s. 62-69.

- Mann, Charles C. (2011). *1493: Uncovering the New World Columbus Created*. Knopf.
- Marchetti, Cesare (1977). "On Geoengineering and the CO2 Problem", *Climate Change* 1, s. 59-68.
- Markley, Robert (2005). *Dying Planet: Mars in Science and the Imagination*. Duke University Press.
- Masco, Joseph P. (2012). "The End of Ends", *Anthropological Quarterly* 85, s. 1109-1126.
- May, James (2009). *James May at the Edge of Space* (belgesel film, yön. Paul King), BBC.
- Mazower, Mark (2012). *Governing the World: The History of an Idea*. Allen Lane.
- McClellan, Justin et al. (2010). *Geoengineering Cost Analysis* (AR 10-182). Aurora Flight Sciences.
- McCormick, M. Patrick, Thomason, Larry W. ve Trepte, Charles R. (1995). "Atmospheric Effects of the Mt Pinatubo Eruption", *Nature* 373, s. 399-404.
- McCray, W. Patrick (2013). *The Visioneers: How a Group of Elite Scientists Pursued Space Colonies, Nanotechnologies, and a Limitless Future*. Princeton University Press.
- McKibben, Bill (2003). *The End of Nature: Humanity, Climate Change and the Natural World* (gözden geçirilmiş baskı), Bloomsbury.
- McLaren, Duncan (2012). "A Comparative Global Assessment of Potential Negative Emissions Technologies", *Process Safety and Environmental Protection* 90, s. 489-500.
- McMenamin, Mark –bkz. Vernadsky, Vladimir.
- McNeill, J. R. ve Unger, Corinna R. (2010). *Environmental Histories of the Cold War*. Cambridge University Press.
- Medwin, Thomas (1826). *Journal of the Conversations of Lord Byron: Noted During a Residence with His Lordship at Pisa, in the Years 1821 and 1822*. Henry Colburn.
- Mellor, Felicity (2007). "Asteroid Research and the Legitimization of War in Space", *Social Studies of Science* 37, s. 499-531.
- Mercado, Lina M. et al. (2009). "Impact of Changes in Diffuse Radiation on the Global Land Carbon Sink", *Nature* 458, s. 1014-1018.
- Merricks, Linda (1996). *The World Made New: Frederick Soddy, Science, Politics, and Environment*. Oxford University Press.
- Meyer, William B. (2000). *Americans and their Weather*. Oxford University Press.
- Mitchell, Timothy (2011). *Carbon Democracy: Political Power in the Age of Oil*. Verso.

- Morrison, David et al. "Dealing with the Impact Hazard", *Asteroids III* eds William J. Bottke Jr. et al, University of Arizona Press.
- Morrow, David R. (2014). "Ethical Aspects of the Mitigation Obstruction Argument Against Climate Engineering Research", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 372 doi: 10.1098/rsta.2014.0062.
- Morton, Oliver (2002). *Mapping Mars: Science, Imagination and the Birth of a World*. Fourth Estate.
- Morton, Oliver (2003). "The Tarps of Kilimanjaro", *New York Times* (17 Kasım).
- Morton, Oliver (2007). *Eating the Sun: How Plants Power the Planet*. Harper Collins.
- Morton, Oliver (2010). "Globe And Sphere, Cycles and Flows: How to See The World", *Seeing Further: The Story of Science and the Total Society*, ed. Bill Bryson, Harper Press.
- Morton, Oliver (2012). "The Dream that Failed", *Economist* (11 Mart 2012).
- Mossop, S. C. (1964). "Volcanic Dust Collected at an Altitude of 20 km", *Nature* 203, s. 824-827.
- National Academy of Sciences, National Academy of Engineering and Institute of Medicine (1992). *Policy Implications of Greenhouse Warming Mitigation, Adaptation and the Science Base*. National Academies Press.
- National Research Council (2015a). *Climate Intervention: Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration*. National Academies Press.
- National Research Council (2015b). *Climate Intervention: Reflecting Sunlight to Cool the Earth*. National Academies Press.
- New York Times (1985). "Miscasting the Dinosaur's Horoscope" (2 Eylül).
- New York Times (2003). "The Shrinking Snows of Kilimanjaro" (26 Kasım).
- Newhall, Christopher G. ve Punongbayan, Raymundo S. (1996). *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo* – <http://pubs.usgs.gov/pinatubo>.
- Niven, Larry ve Pournelle, Jerry (1977). *Lucifer's Hammer*. Ballantine Books.
- Nye, David E. (1994). *American Technological Sublime*. MIT Press.
- Oman, Luke et al. (2005). "Climatic Response to High-latitude Volcanic Eruptions", *Journal of Geophysical Research* 110 doi: 10.1029/2004JD005487.
- Oppenheimer, Clive (2011). *Eruptions that Shook the World*. Cambridge University Press.
- Oreskes, Naomi ve Conway, Erik M. (2012). *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming*. Bloomsbury.

- Oreskes, Naomi ve Conway, Erik M. (2014). *The Collapse of Western Civilization: A View from the Future*. Columbia University Press.
- Ornstein, Leonard, Aleinov, Igor ve Rind, David (2009). "Irrigated Afforestation of the Sahara and Australian Outback to End Global Warming", *Climate Change* 97, s. 409-437.
- Osborn, Fairfield (1948). *Our Plundered Planet*. Little, Brown.
- Parker, Andy (2014). "Governing Solar Geoengineering Research as it Leaves the Laboratory", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 372 doi: 10.1098/rsta.2014.0173.
- Parker, Andy ve Keith, David (2015). "What's the Right Temperature for the Earth", *Washington Post* (29 Ocak).
- Parson, Edward A. (2003). *Protecting the Ozone Layer: Science and Strategy*. Cambridge University Press.
- Parson, Edward A. (2014). "Climate Engineering in Global Climate Governance: Implications for Participation and Linkage", *Transnational Environmental Law*, 3, s. 89-110.
- Peterson, Thomas C. Connolley, William M. ve Fleck, John (2008). "The Myth of the 1970s Global Cooling Scientific Consensus", *Bulletin of the American Meteorological Society* 89, s. 1325-1337.
- Pfeffer, Richard (1956). *Dynamics of Climate: The Proceedings of a Conference on the Application of Numerical Integration Techniques to the Problem of the General Circulation Held October 26—28, 1955*. Pergamon Press.
- Pielke, Roger Jr (2010). *The Climate Fix: What Scientists And Politicians Won't Tell You About Global Warming*. Basic Books.
- Pierce, Jeffrey R. et al. (2010). "Efficient Formation of Stratospheric Aerosol for Climate Engineering by Emission of Condensable Vapor from Aircraft", *Geophysical Research Letters* doi: 10.1029/2010GL043975.
- Pierrehumbert, Raymond T. (2009). "An Open Letter to Steve Levitt", <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2009/10/an-open-letter-to-steve-levitt/>.
- Pierrehumbert, Raymond T. (2015). "Climate Engineering is Barking Mad", *Slate* (10 Şubat).
- Pocock, Chris (2005). *50 Years of the U-2: The Complete Illustrated History of the "Dragon Lady"*, Schiller Publishing.
- Pollack, James B. et al. (1976). "Volcanic Explosions and Climatic Change: A Theoretical Assessment", *Journal of Geophysical Research* 81, s. 1071-1083.
- Pollack, James B. ve Sagan, Carl (1993). "Planetary Engineering" in *Resources of Year Earth Space*, ed. John S. Lewis et al, University of Arizona Press.

- Pomeranz, Kenneth (2001). *The Great Divergence: China, Europe and the Making of the Modern World Economy*. Princeton University Press.
- Pongratz, Julia et al. (2012). "Crop Yields in a Geoengineered Climate", *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/NCLIMATE1373.
- Poole, Robert (2010). *Earthrise: How Man First Saw the Earth*. Yale University Press.
- President's Science Advisory Panel (1965). *Restoring the Quality of Our Environment*.
- Preston, Christopher J. (2012). *Engineering the Climate: The Ethics of Solar Radiation Management*. Lexington Books.
- Rau, Greg H. (2011). "CO₂ Mitigation via Capture and Chemical Conversion in Seawater", *Environmental Science and Technology* 45, s. 1088-1092.
- Rasool, S. Ichtiague ve Schneider, Stephen (1971). "Atmospheric Carbon Dioxide and Aerosols: Effects of Large Increases on Global Climate", *Science* 173, s. 138-141.
- Ran, Greg ve Caldeira, Ken (1999). "Enhanced Carbonate Dissolution: A Means of Sequestering Waste CO₂ as Ocean Bicarbonate", *Energy Conservation and Management* 40, s. 1803-1813.
- Rayner, Steve et al. (2013). "The Oxford Principles", *Climatic Change* 121, s. 499-512.
- Rayner, Steve ve Heyward, Clare (2013). "The Inevitability of Nature as a Rhetorical Resource", *Anthropology and Nature*, ed. Kirsten Hastrup, Routledge.
- Read, Peter (2008). "Biosphere Carbon Stock Management: Addressing the Threat of Abrupt Climate Change in the Next Few Decades: An Editorial Essay", *Climatic Change* 87, s. 305-320.
- Richerson, Peter J. Boyd, Robert ve Bettinger, Robert L. (2001). "Was Agriculture Impossible during the Pleistocene But Mandatory During The Holocene? A Climate Change Hypothesis", *American Antiquity* 66, s. 387-411.
- Ricke, Katharine L. Morgan, M. Granger ve Allen, Myles R. (2010). "Regional Response to Solar-Radiation Management", *Nature Geoscience* doi: 10.1038/NGEO0915.
- Ridgwell, Andy et al. (2009). "Tackling Regional Climate Change by Leaf Albedo Bio-Geoengineering", *Current Biology* 19, s. 146-150.
- Robinson, Kim Stanley (1993). *Red Mars*. Harper Voyager.
- Robinson, Kim Stanley (1994). *Green Mars*. Harper Voyager.
- Robinson, Kim Stanley (1996). *Blue Mars*. Harper Voyager.
- Robinson, Kim Stanley (2012). *2312. Orbit*.

- Robock, Alan (2000). "Volcanic Eruptions and Climate", *Reviews of Geophysics* 38, s. 191-219.
- Robock, Alan (2008). "20 Reasons Why Geoengineering May Be a Bad Idea", *Bulletin of the Atomic Scientists* 64, s. 14-18.
- Rosenfeld, Daniel (2008). "Cooling Earth's Temperature by Seeding Marine Stratocumulus Clouds for Increasing Cloud Cover by Closing Open Cells", AGU Fall Meeting poster U43A-0043.
- Rosenfeld, Daniel et al. (2008). "Flood or Drought: How Do Aerosols Affect Precipitation", *Science* 321, s. 1309-1313.
- Royal Society (2009). *Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty*.
- Ruddiman, William (2005). *Plows, Plagues and Petroleum: How Humans Took Control of Climate*. Princeton University Press.
- Ruddiman, William (2013). "The Anthropocene", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* doi: 10.1146/annurev-earth-050212-123944.
- Ruderman, Mal E. (1974). "Possible Consequences of Nearby Supernova Explosions for Atmospheric Ozone and Terrestrial Life", *Science* 184, s. 1079-1081.
- Sagan, Carl ve Ostro, Steven J. (1994). "Long-range Consequences of Interplanetary Collisions", *Issues in Science and Technology* 10, s. 67-72.
- Sagan, Carl ve Turco, Richard (1990). *A Path Where No Man Thought: Nuclear Winter and the End of the Arms Race*. Century.
- Sage, Rowan F. (1995). "Was Low Atmospheric CO₂ During the Pleistocene a Limiting Factor in the Growth of Agriculture?", *Global Change Biology* 1, s. 93-106.
- Salter, Stephen, Sortino, Graham ve Latham, John (2008). "Sea-Going Hardware for the Cloud Albedo Method of Reversing Global Warming", *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 366, s. 2989-3006.
- Sayre, Nathan E (2008). "The Genesis, History, and Limits of Carrying Capacity", *Annals of the Association of American Geographers* 98, s. 120-134.
- Schaffer, Simon (2010). "Charged Atmospheres: Promethean Science and the Royal Society", *Seeing Further: The Story of Science and the Royal Society*, ed. Bill Bryson, Harper Press.
- Schelling, Thomas C. (1997). "The Economic Diplomacy of Geoengineering", *Climatic Change* 33, s. 303-307.
- Schmidt, Mario (2008). "The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management – Part I: History", *Journal of Industrial Ecology* 12, s. 82-94.
- Schneider, Stephen H. (with Mesirow, Lynne E.) (1976). *The Genesis Strategy: Climate and Global Survival*. Plenum.

- Schneider, Stephen H. (2009). *Science as a Contact Sport: Inside the Battle to Save Earth's Climate*. National Geographic.
- Schweickart, Russell L. (2004). "The Real Deflection Dilemma", 2004 *Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids*. AIAA.
- Scott, James C. (1998). *Seeing like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*. Yale University Press.
- Seitz, Russell (2011). "Bright Water: Hydrosols, Water Conservation and Climate Change", *Climatic Change* 105, s. 365-381.
- Sherlock, Robert Lionel (1922). *Man as a Geological Agent: An Account of His Action on Inanimate Nature*. H. F. and G. Witherby.
- Shindell, Drew T. et al. (2012a). "Precipitation Response to Regional Radiative Forcing", *Atmospheric Chemistry and Physics* 12, s. 6969-6982.
- Shindell, Drew T. et al. (2012b). "Simultaneously Mitigating Near- Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security", *Science* 335, s. 183-189.
- Simpson, Ian (2015 onwards). *Look-up!* – www.look-up.org.uk (23 Mayıs 2015'te erişildi).
- Singarayer, Joy et al. (2011). "Late Holocene Methane Rise Caused by Orbitally Controlled Increase in Tropical Sources", *Nature* 470, s. 82-85.
- Smil, Vaclav (2001). *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production*. MIT Press.
- Smil, Vaclav (2008). *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. MIT Press.
- Smith, P. D. (2007). *Doomsday Men: The Real Dr Strangelove and the Dream of the Superweapon*. Allen Lane.
- Socolow et al. (2011). "Direct Air Capture of CO₂ with Chemicals: A Technology Assessment for the APS Panel on Public Affairs", *American Physical Society*.
- Soddy, Frederick (1909). *The Interpretation of Radium and the Structure of the Atom*. John Murray.
- Soden, Brian J. et al. (2002). "Global Cooling After the Eruption of Mount Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor", *Science* 296, s. 726-730.
- Solomon, Susan (1999). "Stratospheric Ozone Depletion: A Review of Concepts and History", *Reviews of Geophysics* 37, s. 275-316.
- Solomon, Susan et al. (2009). "Irreversible Climate Change Due to Carbon Dioxide Emissions", *PNAS* 106, s. 1704-1709.
- Stone, Robert (dir) (2013). *Pandora's Promise* (belgesel film). Robert Stone Productions. –bkz. www.pandoraspromise.com.

- Streets, David G. et al. (2013). "Radiative Forcing Due to Major Aerosol Emitting Sectors in China and India", *Geophysical Research Letters* 40, s. 4409-4414.
- Strong, Aaron et al. (2009). "Ocean Fertilization: Time to Move On", *Nature* 461, s. 347-348.
- Sutton, Mark A. et al. (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press.
- Tansley, Arthur G. (1935). "The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms", *Ecology* 16, s. 284-307.
- Taylor, Nicholas (1973). "The Awful Sublimity of the Victorian City: Its Aesthetic and Architectural Origins", *The Victorian City: Images and Realities*, 2. cilt, ed. Harold James Dyos ve Michael Wolff, Taylor and Francis.
- Teller, Edward, Wood, Lowell ve Hyde, Ron (1997). "Global Warming and Ice Ages: 1. Prospects of Physics Based Modulation of Global Change", Lawrence Livermore National Laboratory preprint UCRL-JC-128715.
- Thomson, George (1955). *The Foreseeable Future*, Cambridge University Press.
- Thoreau, Henry David (1854). *Walden or Life in the Woods*. Ticknor and Fields.
- Thoreau, Henry David (1974). '@paradise (to be) Regained' in *The Writings of Henry David Thoreau: Reform Papers* ed Thomas F. Glick, Princeton University Press.
- Tilmes, Simone, Müller, Rolf ve Salawitch, Ross (2008). "The Sensitivity of Polar Ozone Depletion to Proposed Geoengineering Schemes", *Science* 320, s. 1201-1204.
- Toon, O. Brian et al. (1982). "Evolution of an Impact-Generated Dust Cloud and its Effects on the Atmosphere", *GSA Special Papers* 190, s. 187-200.
- Trenberth, Kevin ve Dai, Aiguo (2007). "Effects of Mount Pinatubo Volcanic Eruption on the Hydrological Cycle as an Analog of Geoengineering", *Geophysical Research Letters* 34 doi: 10.1029/2007GL030524.
- Trenberth, Kevin E., Fasullo, John T. ve Kiehl, Jeffrey (2009). "Earth's Global Energy Budget", *Bulletin of the American Meteorological Society* 90, s. 311-324.
- Trenberth, Kevin E. ve Fasullo, John T. (2011). "Tracking Earth's Energy: From El Nino to Global Warming", *Surveys in Geophysics, Special Issue*, doi: 10.1007/s10712-011-9150-2.
- Turco, Richard P. et al. (1990). "Climate and Smoke: An Appraisal of Nuclear Winter", *Science* 247, s. 167-168 -The TTAPS paper.
- Vernadsky, Vladimir (1989). *The Biosphere* (Mark McMenamin tarafından gözden geçirilmiş ve notlandırılmış, David Langmuir tarafından çevrilmiştir). Copernicus.

- Victor, David G. (2008). "On the Regulation of Geoengineering", *Oxford Review of Economic Policy* 24, s. 322-326.
- Victor, David G. (2011). *Global Warming Gridlock: Creating More Effective Strategies for Protecting the Planet*. Cambridge University Press.
- Vince, Gaia (2014). *Adventures in the Anthropocene*. Chatto & Windus.
- Von Neumann, John (1955). "Can We Survive Technology", *Fortune* (Haziran 1955).
- Vogt, William (1948). *Road to Survival*. William Sloane Associates.
- Vonnegut, Kurt (1963). *Cat's Cradle*. Gollancz.
- Vonnegut, Kurt (1977). "The Art of Fiction No. 64", *Paris Review*. Spring 1977.
- Wagner, Gernot ve Weitzman, Martin L. (2015). *Climate Shock: The Economic Consequences of a Hotter Planet*. Princeton University Press.
- Walker, J. Samuel (2006). *Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective*. (gözden geçirilmiş baskı), University of California Press.
- Weart, Spencer R. (1988). *The Rise of Nuclear Fear*. Harvard University Press.
- Weart, Spencer R. (2008). *The Discovery of Global Warming* (gözden geçirilmiş ve genişletilmiş baskı). Harvard University Press. Genişletilmiş online baskı için bkz. <http://www.aip.org/history/climate/index.htm>.
- Weinstein, Debra K. ve Keith, David W. (2015). "Solar Geoengineering Using Solid Aerosol in the Stratosphere", *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 15, s. 1179-1185.
- Weitzman, Martin L. (2012). "A Voting Architecture for the Governance of Free-Driver Externalities, with Application to Geoengineering", NBER Working Paper 18622.
- Wells, Herbert George (1898). *The War of the Worlds*. Heinemann.
- Wells, Herbert George (1914). *The World Set Free: A Story of Mankind*. Macmillan.
- Westbroek, Peter (1992). *Life as a Geological Force: Dynamics of the Earth*. W. W. Norton.
- Wigley, Tom (2006). "A Combined Mitigation/Geoengineering Approach to Climate Stabilization", *Science* 314, s. 452-454.
- Wilcox, Jennifer (2012). *Carbon Capture*. Springer.
- Williams, Rosalind (2013). *The Triumph of human Empire: Berne, Morris and Stevenson at the End of the World*. University of Chicago Press.
- Williamson, Phillip et al. (2012). "Ocean Fertilization for Geoengineering: A Review of Effectiveness, Environmental Impacts and Emerging Governance", *Process Safety and Environmental Protection* 90, s. 475-488.

Winebrake, James J. et al. (2009). "Mitigating the Health Impacts of Pollution from Ongoing Shipping: An Assessment of Low- Sulfur Fuel Mandates", *Environmental Science and Technology* 43, s. 5592-5598.

Woolf, Dominic et al. (2010). "Sustainable Biochar to Mitigate Global Climate Change", *Nature Communications*. doi: 10.1038/ncomms1053.

Metinde adı geçen araştırmacıların çoğu, örneğin, Ken Caldeira, David Keith ve Alan Robock, bütün yayınlarının arşivlerini çevrimiçi olarak tutuyor. Başka bazı yararlı web siteleri şunlardır:

The Oxford Geoengineering Governance Program <http://www.geoengineering-governance-research.org/cgg-working-papers.php>.

Climate Engineering, hosted by the Kiel Earth Institute – [http:// www.climate-engineering.en/home-35.html](http://www.climate-engineering.en/home-35.html).

Geoengineering Our Climate: A Working Paper Series on the Ethics, Politics and Governance of Climate Engineering <http://geoengineeringourclimate.com/>.

The Berlin Climate Engineering Conference (CEC14) – <http://www.cec-conference.org/>.

The Forum for Climate Engineering Assessment – <http://dcgeoconsortium.org/>.

Geoengineering Monitor – <http://www.geoengineeringmonitor.org/about/>.

Sürekli bir bilgi akışı ve tartışma burada mevcuttur:

<https://groups.google.com/forum/#!forum/geoengineering>.

Kendi bloğum <http://heliophage.wordpress.com>.

Yeniden Yapılan Gezegen

Oliver Morton

Geçtiğimiz yüzyılda gezegenimizde meydana gelen değişimler çoğumuzun fark ettiğinden daha derin. Küresel ısınmanın riskleri oldukça ciddi ve potansiyel olarak çok büyük. Fakat diğer yandan, fosil yakıtlar olmaksızın kalkınmanın zorluğu da ürkütücü hatta muhtemelen aşılamaz. Dolayısıyla krize verilen tepkilerin ivedilikle yeniden düşünülmesi gereken bir zamanda, küçük ama giderek daha nüfuzlu hale gelen bir grup bilim insanı, halihazırda, iklim sistemine yönelik planlı insan müdahalesi önerilerini değerlendiriyor: güneşe karşı stratosferik bir örtü, fotosentetik planktonların yetiştirilmesi, bulutları tohumlayan insansız gemi filoları... Oliver Morton'a göre, bu jeomühendislik teknolojilerini görmezden gelmek ne kadar sorumsuzluka, iklim sorununa verilecek cevabı basit bir çözüm olarak görmek de bir o kadar hatalı bir yaklaşımdır.

Yeniden Yapılan Gezegen, işte tam da buradan hareketle, jeomühendisliğin tarihini, politikasını ve konuyla ilgili son teknolojileri inceliyor. Morton, bu tartışmalı stratejilerin vaatlerini ve tehlikelerini mümkün olan en geniş bağlamda değerlendiriyor.

İklim değişikliğinin sadece yirmi birinci yüzyılın temel siyasi sorunu olmadığını dikkatle altını çizen *Yeniden Yapılan Gezegen*, sorunu çözmedeki başarısızlığımızın nedenlerini de masaya yatırıyor ve çözüme dair umudu tekrar yeşertiyor. İnsanları doğadaki bir güç unsuru olarak görmenin yarattığı büyük korkuya işaret ederken, aslında bu gücü insan yararına kullanmaya çalışmanın ne anlama geldiğini ileri görüşlülükle okura açıklıyor.

Jeomühendislik üzerine hayati bir kitap.

—Andrew Revkin, *Dot Earth*, *New York Times*

Çok az bilim kitabı bu kadar önemli, güncel ve etkileyicidir. Tüm gerçekleri büyük bir açıklıkla ve uzun uzadıya ortaya koyan, bir sonuca varan ama kararı size bırakan bir kitap...

—Cory Doctorow, *Boing Boing*

KETE BE	YENİDEN YAPILAN GEZEĞEN OLIVER MORTON	 9 786256 495050
	KİTAP NO DİZİ ADI	
	957 KETE BE BİLİM	

