Yerkürenin En Güzel Tarihi

André Brahic
Paul Tapponnier
Lester R. Brown
Jacques Girardon

Çeviren: Saadet Özen



TÜRKİYE İŞ BANKASI
Kültür Yayınları

4. basım

Yerkürenin En Güzel Tarihi

André Brahic,
Paul Tapponnier,
Lester R. Brown,
Jacques Girardon

Çeviren: Saadet Özen



Kültür Yayınları

Özgün Adı La plus belle histoire de la Terre
Copyright © Editions du Seuil, Octobre 2001
Akcalı Telif Hakları Ajansı kanalıyla alınmıştır.

Yayına Hazırlayan Mürşit Balabanlılar

Kapak Tasarımı Mehmet Ulusel / Ayşe Topçu
Düzelti Nihan Taştekin
Sayfa Düzeni Tipograf (0212) 249 01 01
Birinci Basım Temmuz 2002

OTM 10401501
Basımevi Mas Matbaacılık AŞ (0212) 285 11 96
İstanbul

TÜRKİYE İŞ BANKASI
Kültür Yayınları

yerkürenin en güzel tarihi

André Brahic, Paul Tapponnier
Lester Brown, Jacques Girardon

Çeviren
Saadet Özen

Tarih

İÇİNDEKİLER

Önsöz 7

PERDE 1
BİR GÖÇEBENİN DOĞUŞU
Sahne 1: Zamanın Kızı 15
Sahne 2: Mehtaplı Gecelerde 35
Sahne 3: Yerküre Semaları 51

PERDE 2
YAŞAYAN GEZEGEN
Sahne 1: Zorlu Yıllar 65
Sahne 2: Başkalaşımlar Zamanı 83
Sahne 3: Yaşanılan Gezegen 103

PERDE 3
İNSANLARIN YERKÜRESİ
Sahne 1: Yerleşme 129
Sahne 2: İnsanlık Gemisi Su Alıyor 139
Sahne 3: Uzlaşmaya Doğru 151

ÖNSÖZ

Zaman zaman kafasını kaldırıp, hiç değişmez sandığı gökyüzünü şaşkınlıkla seyreden insanoğlu ortaya çıkana kadar, kaç milyar yıl, ne baş döndürücü uzaklıklar, tesadüfler, deneyimler, hatalar geldi geçti! Gülerek otların arasında koşan bir çocuk uğruna ne yaman günler yaşandı, ne yıldızlar paramparça oldu, ne çok enerji harcandı...

İlk bakışta pek güven uyandırmayan bir yıldızın uydulaştırdığı küçük bir kozmik kalıntının üzerinde, sıradan bir gökadanın kenar mahallesinde yaşam denilen o olağanüstü, bir o kadar da narin şey belirdi, ve Yerküre'yi mucizevi bir âleme dönüştürdü.

Gerçekten de gezegenimizin bir eşi daha yok mu? Bize göre, evet, yok. Üstelik bu durum daha uzun zaman değişmeyecek; binlerce, milyonlarca yüzyıl boyunca. Belki de sonsuza kadar... Çünkü güneş sisteminde yapayalnızız. Bilim adamlarının artık bundan kuşkusu yok. Başka yerlerde, başka yıldızların çevresinde başka gezegenler var; ama bizden o kadar uzaktalar ki onlarla herhangi bir biçimde iletişim kurmayı düşünmek bile anlamsız. Işık hızıyla hareket eden –saniyede 300 bin km– bir mesajın en yakın yıldızlara ve var olabilecek akıllı varlıklara ulaşması milyonlarca yıl alır. Mesaj aynı yolu tersine teperek geri geldiğinde Yerküre'nin yerinde yeller esiyor olur. Batı dillerinde 'gezegen' anlamına gelen 'planet' sözcüğünün kökeni eski Yunancadır ve 'göçebe'

demektir. Yerküre'nin ortadan kalkmasının gerçek nedeniyse, olsa olsa Evren'in sürekli hareket etmesi olabilir. Her şey her şeyin etrafında döner. Her şey her şeyden uzaklaşır. Öte yandan şimdiye kadar tespit ettiğimiz uydulaşmış kütleler yaşama kucak açabilmekten uzaktırlar: Bizim güzel mavi gezegenimizin özel konumuna sahip olmadıkları gibi, Yerküre'nin kendine özgü, olağanüstü niteliklerinden de yoksundur onlar.

Yerküre'nin doğduğu ilk sahnede başroller elbette Güneş'le Ay'ın; ama Mars ve Venüs de ağır toplar arasındalar. Jüpiter, Satürn, Samanyolu ve birkaç gökada daha sahneye çıkıyorlar.

Anlatıcımız bir astrofizikçi: **André Brahic.** Kendisi 1984'te Neptün'ün halkalarını, bunun yanında Satürn'ün çevresinde dönen, daha önce bilinmeyen uyduları keşfetti. Paris VII Üniversitesi profesörlerinden olan Brahic, Saclay'deki CEA'da *Gamma-Gravitation* araştırma grubunu yönetiyor.

Brahic NASA'yla birlikte *Voyager* serüveninde yer aldı; ayrıca şu anda Satürn yolunda olan *Cassini-Huygens* sondasını yaratan ekibin de içindeydi. Sonuç: Brahic ömrünü Fransa, Birleşik Devletler ve gökyüzü arasında mekik dokuyarak geçiriyor. Katkıda bulunduğu çalışmaları, sorumluluklarını ve unvanlarını saysak sayfalara sığmaz; kendisiyse en çok, ilk kez Amerikalı olmayan birine verilen Carl Sagan Ödülü'nü aldığı için övünüyor; halkın ulaşmasına izin verilmediği sürece, bilimin yalnızca iktidarı elde tutmaya yarayan bir araç olacağını düşünüyor. Sürekli davetler alan, işi hep başından aşkın olan Brahic, konuşması kadar hızlı bir yaşam sürüyor, baş döndürücü bir tempoyla düşünceden düşünceye atlıyor. İnsan, André Brahic'le sohbet ettikten sonra aklında bir sürü hayal ve soruyla, dünyaya başka bir gözle bakmaya başlıyor. Ondan daha çok bilgi almak istiyorsunuz, ama o, Alice'in tavşanı gibi zamanın peşine düşmüş, çoktan ortadan kaybolmuş oluyor. Her yere geç kaldığı için özür dilerken, insanın milyarlarca yılla uğraşırken on-on beş dakikaya gerektiği gibi değer vermesinin zor olduğunu söylüyor gülerek.

Uzun lafın kısası, Yerküre yıldız tozlarından doğdu. Bundan sonra söylenecek bir şey kalmadığını, Yerküre'nin artık Güneş'in etrafında şaşmaz bir saat, kendi etrafında da topaç gibi dönüp duracağını düşünebilir insan. Sonsuza kadar Venüs gibi kavrulmak, Mars gibi buz tutmak da var. Oysa kazın ayağı öyle değil: Serüven daha yeni başlıyor. Yerküre'nin yanan yüreği onu kayaların eriyerek yüzeye yükseldiği, sonra soğuyup ağırlaşarak yeniden harlı ateşin içine gömüldüğü bir termik makine haline getirdi. Gezegenimiz pek çok kardeşinin tersine aktiftir, canlıdır ve durmadan değişir.

Böylece depremlerle sarsılıp duran, yanardağlarla dolu Yerküre, Perde İki'de okyanuslar oluşturup yok etmeye başlıyor. Yarattığı kıtalar birbirinden uzaklaşıyor, ya da çarpışarak dağları yaratıyorlar. Hepsinden önemlisi, yavaş yavaş bildiğimiz görüntüsüne kavuşmaya başlıyor Yerküre; yaşama beşiklik eden o büyülü, paha biçilmez hazine, o eşsiz besin sayesinde: Gezegenimizde bol bol bulunan sıvı haldeki suyla...

Dünyamızı şekillendiren bu dev boyutlu, korkutucu olayları bize **Paul Tapponnier** anlatacak. İlk başta var olan okyanusta yeşeren yaşamın Yerküre'yi nasıl yabaniliğinden sıyırdığını, kendine uyarladığını gösterecek; hatta nasıl ehlileştirdiğini... yani hemen hemen... Çünkü zaman zaman bir yanardağın patlaması ya da bir göktaşının Yerküre'ye çarpması gibi bir doğal afet yüzünden, binlerce tür bir anda ortadan kalkabiliyor.

Paris Küresel Fizik Enstitüsü Tektonik Bölümü'nün başındaki jeofizikçi Paul Tapponnier, dünyada kıta hareketleri üzerine çalışan bir numaralı uzman. Haute-Savoie'da, Annecy'de doğmuş olan bilim adamı, gezegenin her karışını sevmesine, çocukluğunda gördüğü dağların güzelliğinin neden olduğunu belirtiyor. Siz onun Çin'de Himalayalar üstüne çalıştığını sanırken, o çoktan Lübnan'a gidip yeni bir fay keşfetmiş, milyonlarca yıldır bölgede meydana gelmiş depremlerin tarihini kitaptan okur gibi okumaya başlamış oluyor. Birkaç gün Paris'te kalıyor; sonra Antiller'e ve yanardağlara ulaşmak üzere gene yola koyuluyor. Gördükleri karşısın-

da coşkuya ve hayranlığa kapılıyor; masalsı gezegenimizi anlatacak kelime bulamıyor. Nasıl yaşam Yerküre'ye damgasını vurduysa, jeolojik olaylar da insanlık tarihinde öyle belirleyici roller oynadı; ama insanlar bunun her zaman farkında olmadılar.

Çünkü, işte insan sahneye çıkmıştı. Arka ayaklarının üstünde dikileli çok olmamıştı, ama kendinden önceki hiçbir türün yapamadığı kadar altüst etmişti bile dünyayı. Kendi kısacık ömrünün dışındaki süreleri kavrayamaması gözünü kör etmişti. Perde Üç'ün yıldızı olan Lester **R. Brown,** birbirinden fersah fersah farklı ölçeklerin iç içe geçmesi hakkında çok güzel bir fıkra anlatıyor: Boston'daki Doğa Tarihi Müzesi'ni ziyaret eden bir adam, hayran hayran koca bir dinozor iskeletini seyrediyormuş. Bekçinin birine hayvanın yaşını sormuş; öteki de gayet kendinden emin bir tavırla şöyle karşılık vermiş: "70 milyon 8." Ziyaretçi kuşkuyla, nasıl bu kadar kesin konuşabildiğini sormuş bekçiye. "Çok basit," demiş adam. "8 yıl önce burada çalışmaya başladığımda dinozor 70 milyon yaşındaydı!"

Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı'nda uzman olarak görev yapan tarımbilimci Lester R. Brown, 1974'te Worldwatch Institute'u kurdu. Kuruluş, o zamandan beri *Dünyanın Durumu* hakkında her yıl bir rapor yayınlıyor. Gezegenin "check-up"ı sayılabilecek bu yayın yaklaşık otuz dile çevriliyor. Lester R. Brown kendini çevrebilimci olarak tanımlıyor, ama sözcüğün bilimsel anlamında. Her tür dogmadan uzak kalmaya özen gösteriyor. Gezegen açısından herhangi bir şeyin iyi ya da kötü sayılamayacağını söylüyor. Çevreden bahsederken aslında kendimizi, kendi hayatımızı, türümüzün geleceğini ortaya koyuyoruz. Dünyanın pek çok yerinde erozyon, toprakları alıp götürüyor ve tarımı tehdit ediyor. Atmosferin ısınması en hassas bölgelerde felaketlere yol açabilir. Ama hepsinden önemlisi yakında su sıkıntısının baş gösterecek olması. Sorun, daha şimdiden önüne geçilemeyecek bir boyutta. Yeraltı sularının yeryüzüne çıkarılma hızı, kaynakların kendini yenileme hızından daha yüksek. Ha-

yatın kaynağı olan su kirlenerek ya da buharlaşıp uçarak, çok kısa süre içinde altından daha değerli bir madde haline gelecek; bu da göründüğü kadarıyla pek çok çatışmaya, insanların kitleler halinde göç etmelerine yol açacak.

Henüz vakit geç değil, diye belirtiyor Lester R. Brown. Durumun iyice kötüleşmesini engelleyebilir, bir uyum noktası yakalayabiliriz. Bunun için gereken olanaklara sahibiz; üstelik daha geri, ya da sözde doğal bir yaşam tarzına dönmemiz gerekmiyor. Politik, özellikle de ekonomik seçimler var önümüzde.

Uçsuz bucaksız evrende kaybolmuş bir gemideyiz. Ne kurtarma sandalımız var, ne gidecek başka bir yerimiz. Muhteşem bir cennet bizimkisi; ama bir o kadar da narin. Üçüncü Perde'nin son perde olmasını istemiyorsak, Yerküre'ye elimizden geldiği kadar özen göstermek de bize düşüyor.

Jacques Girardon

PERDE I

BİR GÖÇEBENİN DOĞUŞU

SAHNE 1

ZAMANIN KIZI

... Aradan 10 milyar yıl geçtikten sonra, bir bulut kendi içine doğru çöktü ve parçacıklardan oluşan bir halkayla çevrilmiş bir yıldız doğdu; parçacıklar çarpışa çarpışa sonunda birbirlerine yapışıp dokuz gezegeni oluşturdular. Bunlardan biri...

HER ŞEY GÖRELİDİR!

— JACQUES GIRARDON: *Bu hikâye başlamadan önce şu bizim küçük Evren neye benziyordu?*

— ANDRÉ BRAHIC: Hiçbir şeye. Evren diye bir şey yoktu.

— *Ne güzel bir başlangıç!*

— Uzay kavramı, bir gökcisminin yakınlarında olup bitenleri tarif etmeye yarayan, kullanışlı bir araçtır. Ama bir araya gelerek güneş sistemini oluşturacak olan malzeme, ilk başta dağınık durumdaydı. Yani, ona tekabül eden bir boşluk yoktu. Evren'in bir parçasından söz etmek, mutlak bir zaman ve mutlak bir boşluk olduğunu ifade etmek demektir. Ne var ki, bu anlamsızdır. Hepimiz uzayın ve zamanın ne olduğunu bildiğimizi sanırız; onları tanımlamaya kalkana kadar! Bu konuya karşı içimizde gerçekten merak uyanınca, zorluklar da başlar.

— *Gözümüzü kol saatlerimizden de, çalar saatlerimizden de ayırmazken... zamanın var olmadığına bizi nasıl ikna edeceksiniz?*

— Zamanı yalnızca belli bir yer için tanımlayabiliyoruz. İnsan Yerküre'de, örneğin kolayca başkalarına randevu verebilir, çünkü saatleri eşzamanlı kılmak kolaydır. Evren'deyse bilginin astronomik mesafeleri aşarken harcadığı süre yüzünden, bu mümkün değildir. Saatimi, birkaç milyon ışıkyılı uzaklıkta yaşayan bir uzaylınınkiyle eşzamanlı hale getirmeye çalışsam, bilgi ona ulaşana kadar, benim için birkaç milyon yıl geçmiş olur.

— *Zaman esnek olabilir mi?*

— Evrimin baştan savma yapıverdiği küçük beyinlerimizin bunu kavraması biraz zor, ama fizik bilimi bize, zaman ve uzayın, tıpkı zaman ve hız gibi birbirine bağlı olduğunu gösteriyor. Langevin'in ünlü gezgininin öyküsü de buna iyi bir örnektir. Bir ikiz kardeş düşünelim; varsayalım 25 yaşına geldiklerinde, içlerinden biri uzayda son derece hızlı, uzun bir yolculuğa çıksın, öteki de Dünya'da kalsın. İki yıllık yolculuktan sonra uzay adamı geri gelir. Yaşı 27'dir. Ne var ki, kardeşi 75 yaşındadır. Birinin zamanı yalnızca iki yıl, ötekininkiyse elli yıl sürmüştür! Büyük Fransız fizikçisi Paul Langevin tarafından ortaya konulan bu olay, doğrudan genel göreliliğe örnektir; genel görelilik, uzay ve zamanın, 'uzay-zaman' denilen tek bir evrenin iki etkeninden başka bir şey olmadığını gösterir bize. (!)

— *Bir gün bu kuram deneyle ispatlanabilecek mi?*

— Deney, mütevazı Yerküre ölçeğinde de olsa, yapıldı bile. Son derece hassas iki atom saati taşıyan iki uçak, ters yönlerde Dünya'nın çevresini dolaştılar. Biri doğuya gitti, biri batıya. Geri geldiklerinde, iki saatin arasında saniyenin çok küçük bir bölümü kadar bir fark vardı, bu da kurama noktası noktasına uygundur. Yani iki saat, farklı zamanları ölçmüştür. Ama biyolojik zaman konusunda durum nedir? Bu konuda hiçbir bilgimiz yok.

— *Evet ama, Güneş'in çevresinde ister dönsün ister dönmesin, Dünya'nın yaşı gene de 4,5 milyar yıl!*

— Evet. Fakat dünyanın içinde devindiği uzay ve süresini hissettiğimiz biyolojik zaman hakkında gezegenimizin ölçülebilir, rahatlatıcı referanslarında karar kılmadan önce

çevremize bakınıp, Yerküre'nin oluşumu için gereken hammaddelerin kaynaklarının nerelerde bulunduğunu keşfetmemiz gerekir. Yaklaşık on yıldır, Evren hakkında bütün bildiklerimiz kelimenin tam anlamıyla altüst oldu. Burada söyleyeceklerimizin %80'ini, kırk yıl önce duyan yoktu. Yalnızca 10 yıl önce hikâyenin %20'sinden habersizdik. Kısacası, alçakgönüllülüğümüzü koruyalım: Elli yıl sonra bu konuda yayınlanacak bir kitapta, en çok bugün bilinmeyen konulardan bahsedilip bahsedilmeyeceğini kim bilebilir?

FELEĞİ ŞAŞMIŞ GÖKYÜZÜ

— *Güzel. Tamam, zaman görelidir. Peki ya uzay? Uzay gayet somuttur. Hatta ayaklarımızı Yerküre'ye basmamızı sağlayan da o!*

— Aslında, daha önce de söylediğim gibi, uzay yoktur. Uzay dediğimiz şey, ihtiyaç duyduğumuz işaret noktalarının bütünüdür: yukarı, aşağı, sol, sağ, yer, ağaçlar, dağlar... Bu çok kullanışlı kavramlar sayesinde küçük gezegenimizde yaşamımızı sürdürebiliyoruz; ama gezegenin dışında onların da geçerlilikleri kalmaz. Uzay gemisinin güvertesinde yukarısı ya da aşağısı ne demek olabilir? Boşlukta sağ ya da sol nedir?

— *Gene de astronomlar gökyüzüne baktıklarında, Kuzeyyıldızı'nı belli bir noktaya oturtabiliyorlar.*

— Elbette. Yıldızın uzaklığını ve yönünü, milimi milimine ölçebiliyorlar. Yaklaşık 15 milyar yıl önce genişlemeye başlamış olan Evren'inkinin yanında, bizim ömrümüz alabildiğine kısadır. İnsan soyu, topu topu 2 milyoncuk yıl önce ortaya çıktı. Arkhimedes'le Aristoteles bugün kalkıp gelseler, takımyıldızlarını tanımakta hiç zorlanmazlardı; Büyük Ayı'dan Koltuk Takımyıldızı'na kadar hepsini... Hiç yabancılık çekmezlerdi. 10 bin yılda ancak çok küçük değişiklikler meydana gelebilir. Buna karşılık 10 milyon yılda, gökyüzü tanınmayacak hale gelmişti; bu durumda 4,5 milyar yılda haydi haydi değişir! Var olmayan bir boşlukta var olmayan bir nokta-

yı tanımlamanın birtakım zorluklara neden olduğunu göreceksiniz.

— *Peki, o zaman tarih nasıl başladı?*

— Çok uzun süren bir gebelik dönemiyle. Önce gerekli atomlar üretildi ki, Yerküre doğabilsin. Bu on milyar yıl kadar sürdü. Biz zamanın çocuklarıyız!

— *Bu, bizimkinden daha yaşlı başka gezegenler olamayacağı anlamına mı geliyor?*

— Kesinlikle hayır. Ama doğum çok erken gerçekleşirse, bebeğin de bin türlü eksiği olur. Evren'in tarihinin en başında şekillenmiş olan bir "Yerküre" ağır atomlar bakımından böylesine zengin olamazdı.

— *"En başında" derken neyi kastediyorsunuz?*

— Zamanda mümkün olduğu kadar geriye gidildiğinde, genelde bilinen adıyla "Big Bang"e ulaşılır. Bu "Büyük Patlama" belki bütün tarihin başlangıcı değildir ama, şu an için ötesinde hiçbir şey göremediğimiz bir ufuk çizgisidir. "Daha önce" neler olup bittiğini tahmin etmemizi sağlayacak hiçbir bilgi yok elimizde.

"BIG BANG" VE GÜVERCİNLER

— *Ufuk çizgisinin ötesine geçemiyoruz ama, bari "Big Bang"in kendisini görebiliyor muyuz?*

— Hemen hemen. Ya da daha doğrusu, patlamadan izler görüyoruz. O çok şaşırtıcı bir andı, yoğunluk o kadar yüksekti ki, maddenin kendisi bile var olamıyordu. Işımadan başka bir şey yoktu.

— *Işıma nedir?*

— Birbirini tamamlayan iki biçimde, hem bir dalga, hem de ışığın taneciği olarak kendini gösteren bilgi taşıyıcısıdır, yani fotondur.

— *Peki yaklaşık 15 milyar yıl önce bu ışımanın son derece yoğun olduğunu nereden biliyoruz?*

— Bütün nesneler dört bir yana doğru birbirinden uzak-

laştığına göre, büyük bir rahatlıkla, bunların geçmişte birbirlerine son derece yakın olduklarını, bu nedenle de yoğunluk ve sıcaklığın dünyadaki laboratuvarlarımızda ulaşamayacağımız değerlere ulaştığını düşünebiliriz.

— *Bu yalnızca bir tahmin mi?*

— Yalnızca bir tahmin değil. Gözlemlerimize göre Evren genişliyor; bu durumda ışımanın yoğunluğu ve sıcaklığı da azalıyor olmalı. 1940'ların sonunda, Georges Gamow'la birkaç meslektaşı, bu koşullarda ilk anlardaki o ilkel ve yoğun ışımadan bugüne bir fosil ışımanın kalmış olması gerektiğini düşündüler. Evet, tam da böyle bir şey gözlemlendi: Soluk, bir anlamda soğuk bir ışık.

— *Yani fosil ışıma mı?*

— Evet, "Big Bang" sırasında doğmuş olan fotonlar.

— *Bu ışığın var olduğunu nereden biliyoruz?*

— Bell Telephone Company'de elektrik mühendisi olarak çalışan Penzias ve Wilson, günlerden bir gün, külah biçiminde, son derece başarılı yeni bir anten geliştirdiler; çok da gurur duyuyorlardı eserlerinden. Kısa süre içinde, antenin parazit yaptığını fark ettiler. Bunun sorumlusunu bulmaya çalıştılar: Yakınlardaki bir radyo istasyonu olabilir miydi? Ya da bir askeri üs? Ne biriydi sorumlu, ne öteki. Derken antenin dibine güvercinlerin yuva yaptığını gördüler. Kuş pisliklerini özenle temizlediler. Suçlu onlar da değildi. Bunun üzerine elektrikle ilgili bir dergide antenlerde parazitlenmenin önlenmesiyle ilgili kısa bir makale yayınladılar ve fosil ışımaya değindiler. Bu onlara Nobel Ödülü'nü kazandırdı: Sonuç olarak, fosil ışımayı yakalamışlardı. Ana fikir: Güvercinlerin arkasından sıkı bir temizlik yapmak, insanın ufkunu açabilir.

MADDE IŞIĞA KARŞI

— *Bu durumda şundan eminiz: Önce ışık vardı.*

— Evet, üstelik o kadar yoğun ve sıcaktı ki, maddeyi ânında yok ediyordu.

— *Işık maddeyi nasıl yok edebilir?*

— El fenerinin ışığıyla kimseyi yaralayamayız elbette. Ama güneşte yanıp can acısı çekmiş herkes, ışıkla maddenin karşılıklı olarak birbirlerini etkilediklerini anlayabilir. İlk başta, olağanüstü yoğunlaşmış bir ışık vardı. Bunu kafanızda canlandırabilmek için, lazeri düşünün... Derken, bu ışık gitgide daha fazla alana yayıldıkça enerjisini kaybetti, soğudu. İşte ancak o zaman adım adım maddenin doğumu başladı. Bir milyon yıl içinde sıcaklık, 3000 derecelik kader eşiğinin altına düştü. Bunun üzerine madde, Evren'in yazgısını eline aldı. Kuarklar birbirlerine yapışıp protonu, sonra da çevresinde dönüp duran elektronu oluşturdular; bu da bir hidrojen çekirdeği demekti. Dört protonla dört elektron, bir helyum çekirdeği kurdular (!!)... En basit elementler olarak hidrojenle helyum, ardından da biraz lityum, biraz berilyum, biraz da bor ortaya çıktı. Dev Evren Yapbozu'nun parçaları bir araya gelmeye başlamıştı.

— *Her şey çok çabuk olup bitti!*

— Evet. Ama aslına bakacak olursak, 10 milyon yıllık bir sürenin sonunda, hâlâ hidrojenle helyumun ötesine geçilememişti. Yerküre diye bir gezegeni kuracak malzeme yoktu! Evrim o noktada durmuş olsa, gezegenleri ve hayatı oluşturan temel elementlerin hiçbiri ortaya çıkamayacaktı. Daha ağır atomların üretilmesi için, kesinlikle başka türlü bir gelişmeye ihtiyaç vardı. Yıldızlar, daha doğrusu içlerinden en yoğun olanları da, "simyacı" rolüne soyundular.

— *Nasıl yaptılar bu işi?*

— Yıldızlar, çekim kuvvetlerinin – ya da ağırlığın, nasıl isterseniz, etkisiyle yıldızlar arası dev bulutların içe çökmesinden doğan gaz yumaklarıdır. Bulut büzülürken sıcaklık, basınç ve yoğunluk gitgide artar. Protonların birbirleriyle kaynaşarak yeni çekirdekler oluşturdukları noktaya ulaşılırsa, termonükleer tepkimeler ateşlenir. Gaz yumağı bir yıldız haline gelmiştir; merkezinde sıcaklık 10 milyon dereceyi aşabilir. Yıldız hidrojenini yakar, sonra yakıt olarak geriye kalan "külleri" kullanır, böylece helyum ve karbon gibi, gitgide daha ağır atomlar üretir.

— *Bu yıldızlar kurşunu altına mı dönüştürürler?*

— Ne yazık ki daha ağır olduğu için kurşun altından sonra gelir; bu nedenle daha çok söylediğinizin tersi oluyor. Ama zaten bütün yıldızlar o kadar yaratıcı değildir; yetenekleri kütlelerine bağlıdır; en beceriklileri bile demir üretmekten öteye geçemezler. Daha ağır elementler yapmak için yıldızın enerji harcaması gerekir. Bunun anlamı da, üretebileceği bütün demiri ürettikten sonra, yıldızın bir sonraki tepkimeye geçecek gücünün kalmadığıdır. Merkezde nükleer ateş yoktur artık!

BİZİM BENCİL YILDIZ

— *Ya Güneş'imiz? Şu anda yeni bir gezegen için malzeme üretiyor mu?*

— Gerçekte iki tür yıldız vardır: Benciller ve cömertler. Güneş'in de aralarında bulunduğu benciller, karbondan sonra üretimi durdururlar; pek harcama yapmazlar, uzun yıllar – milyarlarca yıl boyunca, pintice yaşarlar. Giderek soğuyan küçük bir yıldız kalıntısı halinde yaşamlarını noktalarken, ürettikleri maddeler merkezlerinde kalır. Cömert yıldızlarsa son derece lüks bir yaşam sürerler, çok parlaktırlar ve çok enerji harcarlar. Art arda karbon, azot, oksijen, alüminyum, silisyum, kükürt ve klor... son olarak da demir yaparlar. Ama bu çok uzun sürmez, on – yirmi milyon yıllık bir ömrün sonunda, kaynayan tencere gibi fokurdayacaklarına, gözlerimize muhteşem bir havai fişek ziyafeti çektikten sonra patlarlar.

— *Bu nasıl olur?*

— Aslında, bir televizyon patladığı zaman ne oluyorsa o olur. İçe çöküşün ardından bir sıçrama, bir patlama gerçekleşir. Yıldızda da benzer bir olay yaşanır. Süpernova denilen şeydir bu. Üretilen elementler süpersonik hızla kozmosa fırlatılır. Bu dolu dolu yaşamdan geriye, yalnızca bir kara delik ya da bir nötron yıldızı halindeki, son derece yoğun çekirdek bölüm kalır.

— *Patlama gerçekten o kadar göz alıcı mıdır?*

— Göz alıcı demek az bile! Birkaç gün boyunca süpernova, bir galakside yer alan binlerce milyar yıldız kadar parlar. Sonraki yüzyıllarda dev bir şok dalgası uzayı süpürür ve yüksek enerjili parçacıklardan oluşan olağanüstü bulutlar ortalığa saçılır. Neyse ki son zamanlarda yakınımızda süpernova gözükmedi; en yakın komşularımız da şimdilik patlayamayacak kadar cılız yıldızlar!

YARATICI PATLAMA

— *Yıldız demirden fazlasını üretemiyorsa, gezegenimizde bulunan altın, platin, kurşun, hatta uranyum gibi daha ağır elementler nasıl oluşuyor?*

— Her şey patlama ânında olup biter. Patlamayla birlikte yayılan nötronlar, eksik atomların üretilmesini sağlar. Süpernovalar bütün galaksiye tohumlar saçmakla, onu zenginleştirmekle kalmaz, aynı zamanda üretimi de tamamlarlar. Bütün bunların oldukça kısa sürede olup bittiği göz önüne alındığında, en ağır atomların neden genellikle nadir ve pahalı olduğu kolayca anlaşılır.

— *Yıldızlar bu ağır atomları çok mu çabuk ürettiler?*

— Gezegenimizin bileşenleri hazırlanana kadar pek çok yıldız kuşağı gelip geçti. 4,5 milyar yıl önce, güneş sistemi doğarken hidrojenle helyumdan daha ağır olan atomlar, kullanılabilir malzeme içinde ancak %1'lik bir yer tutuyorlardı.

— *Bilmediğimiz atomlar üretebilecek, bu söylediklerinizden daha da ağır yıldızlar olabilir mi?*

— Hayır. Bir top fazla şişerse kararsızlaşır, çok çabuk parçalanır. Bir yıldızın varlık alanının sınırları çok bellidir. İlk baştaki kütlesi yeterli değilse, bir gökcismi asla bir yıldıza dönüşmez. Kütlesi, Güneş'in kütlesinin onda birinden küçük olan bir cismin merkezinde termonükleer tepkimeler ateşlenmez. Tam tersine, Güneş'in kütlesinin yüz katına sahip bir nesne de kararsızdır. Bu yelpazenin içinde, Güneş gibi en

zayıf yıldızların çevresine yerleşip kendi halimizde yaşayıp gidebiliriz; oysa gördüğümüz gibi, gelecekteki yaşamın bütün bileşenlerini de, ateşli bir yaşamın ardından kütlesi en yoğun olanlar doğururlar.

— *Güneş ve gezegenleri aynı anda mı doğdular?*

— Hemen hemen.

— *Peki, gelecekte bir yıldızın ya da bir gezegenin doğması neye bağlıdır?*

— Kütleye. Çok az miktarda madde, bir toz taneciği oluşturur; biraz daha fazlası bir çakıl taşı; daha da fazlası bir kaya; sonra bir göktaşı; ardından Yerküre gelir; derken Jüpiter; bir kahverengi cüce; Güneş; bir yıldız kümesi; bir gökada; bir gökada kümesi... Atomlar Evren'de hareket ederken bir madde "küreciği" kendi ortamından uzaklaştığında, geleceğini şekillendiren şey, kütlesidir.

VE GÜNEŞ OLDU...

— *Bizim öykümüzde ilk baştaki kütle, kürecik nasıl bir şeydi?*

— Bir gaz ve toz bulutu. Yaklaşık yirmi yıldır, astronomlar eski bir rüyayı gerçekleştiriyorlar: Hemen hemen yıldızların doğuşuna tanıklık ediyorlar. Özellikle kızılötesi astronominin gelişmesi, bir yıldıza gebe olan, gözle görülebilir ışıkta matlaşan gaz ve toz küreciklerinin içini incelememizi sağlıyor. Şu anda, büyük bir hızla doğan yıldızlar var gözlemlediğimiz.

— *Uzay tozu nelerden oluşuyor?*

— Mikronun onda biri, bazen de bir mikron boyundaki taneciklerden. Kolayca hidrojenle, oksijenle bağ yapan bir sürü karbon atomu var... Bildiğiniz gibi uzayda pek çok molekül bulunur; hatta bunlardan bazıları Yerküre'de kararlı hale gelemez; örneğin bir oksijen atomuyla bir hidrojen atomundan oluşan OH kökü gibi. Etil alkol ve su bile var uzayda!

— *Bu serseri atomlar nereden geliyor?*

— Yıldızların patlaması sonucunda uzaya fırlatılmışlar-

dır. Zaman zaman, bazı noktalarda birbirleriyle bağ yapıyorlar. Böylece orada biraz karbon, şurada biraz oksijen, biraz azot ortaya çıkıyor... Bu moleküller de bazen birleşip tozları oluşturuyorlar.

— *Yani, hidrojenden ve yıldız tozundan oluşan bir kürecik yalnız kalıverdi ve Güneş haline geldi.*

— Bütün güneş sistemi haline geldi!

— *Arada ne fark var?*

— Bu nokta önemli: Güneş'le aynı zamanda doğduk, ama Güneş'ten doğmadık. Yerküre, kimilerinin iki yüzyıl boyunca sandığı gibi Güneş'ten kopup soğumuş bir parça değildir.

— *Bundan nasıl emin olabiliriz?*

— Döteryum sayesinde; bu bir hidrojen izotopudur; yani, atom çekirdeğinde bir protonun yanında bir de nötronu olan bir hidrojen türüdür. Ama döteryum, yüksek sıcaklığa hiç dayanamaz. Bu nedenle soğuk, yıldızlararası ortamda bulunur; normalde 100 bin hidrojen atomuna karşılık 1 döteryum atomuna rastlanır. Buna karşılık, Güneş gibi yakıcı bir ortamda, 5 milyon hidrojen atomuna karşılık bir döteryum atomu vardır. Bana inanmıyorsanız biraz musluk suyu alın, oksijenle hidrojeni birbirinden ayırın (biraz enerjiye ihtiyacınız olacak!) ve atomları sayın. 100 bin hidrojen atomuna karşılık 1 döteryum atomu bulacaksınız. Sonuç: Yerküre, kesinlikle soğuk bir ortamdan doğmuştur.

— *Yerküre, Güneş'le aynı bulutsunun içinde doğdu mu, doğmadı mı?*

— İkisi de aynı kozadan geliyor. Ama gezegenler, küreciğin sıcaklığının daha az olduğu, dış kısmından doğdular.

— *Neden dış kısım daha soğuktu?*

— Çok basit; Güneş'i doğuracak olan iç kısmın çökmesiyle çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bizim durumumuzda, bir gezegen merkezdeki ateşe ne kadar yakınsa, o kadar çok enerji alır.

BİN ZAMANLI VALS

— *Neden tek bir yıldız değil de, bir Güneş ve dokuz gezegen?*

— Bu, astronomların uzun süredir merak ettiği bir konu. Güneş'in çevresini saran gezegenlerden ibaret güneş sistemi bir "hilkat garibesi" mi, yoksa bir yıldızın oluşmasından geriye kalan olağan bir artık mı... Şimdilik bu soruya kesin bir cevap verilemiyor, ama pek çok yıldızın çevresinde gezegenler var gibi görünüyor. İlkel bulutsu, kendi çevresinde dönerken bir merkezkaç kuvveti doğuruyor olmalı...

— *Bulutsu neden kendi çevresinde dönüyordu?*

— Bu doğrudan doğruya Newton'un çekim yasalarının bir sonucudur! Cisimler birbirini çektiği andan itibaren üç olasılık vardır: Başlangıçtaki atılıma bağlı bir yayılma, genel olarak Evren bu durumdadır; bir çöküntü, bundan az önce söz ettik; ya da dengede durmanın bir biçimi olan dönme hareketi. Evren'deki bütün cisimler dönerler. Gezegenler kendi çevrelerinde ve yıldızların çevresinde dönerler; yıldızlar kendi çevrelerinde dönerler; yıldız kümeleri gökadaların merkezlerinin çevresinde dönerler; gökadalar başka gökadaların çevresinde dönerler; gökada kümemiz daha başka şeylerin çevresinde döner... Evren'de her şey döner.

— *Aynı yönde mi?*

— Mutlaka öyle olmak zorunda değil. Bu, ilk baştaki koşullara bağlıdır. Belirli bir anda bir yerlerde biriken madde, dönme hareketinin yönünü belirleyecek bir pozisyonda ve hızdadır. Güneş sisteminde bütün gezegenler, Güneş'in kendi çevresindeki dönüş yönünde dönerler; bütün hepsi aynı bulutsunun dönmesinden doğmuşlarsa bu da son derece doğaldır.

— *Gezegene Batı dillerinde verilen* "Planet" *adı, hepsinin aynı planda, yani düzlemde yer almasından mı geliyor?*

— Kesinlikle hayır. *Planet* terimi Yunanca'dan gelir, anlamı *göçebe*'dir. Eskiler bu gökcisimlerinin yıldızlara bağlı olarak hareket ettiğini fark etmişlerdi. Yerküre'nin de başlı

başına bir gezegen olduğunun, evrenin merkezi olmadığının, Güneş'in çevresinde döndüğünün anlaşılması yaklaşık 2000 yıl aldı.

— *Yani, bulutsu dönerken kendi içine çöküyordu.*

— Evet. Merkezde bir ilk-güneş parlamaya başladı. Ama akışkansılık olayları, bulutsunun bileşenlerinin birbirleriyle çarpışması ve merkezkaç kuvveti bulutsunun geri kalanının büzülmesini frenliyor, bir gaz ve toz diskinin oluşumuna zemin hazırlıyordu.

— *Neden bir disk?*

— Çarpışmalar ve neden oldukları enerji kayıpları yüzünden. En şiddetli çarpışmalar dönme ekseninin yönünde meydana gelir ve sistemi yavaş yavaş yassılaştırır. Bir bilgisayar simülasyonuyla, bunun deneyi kolayca yapılabilir. Bu doğal bir olaydır: Madde, merkezdeki bir cismin çevresinde disk biçiminde toplaşma eğilimi gösterir.

— *Füzelerin fırlatılmasında da aynı ilke mi geçerli? Füze fırlatma rampaları –Baykonur, Canaveral Burnu, Kuru– bu nedenle mi elden geldiği kadar ekvatora yakın yerlere kuruldu?*

— Kesinlikle hayır. O durumda fırlatma etkisinden yararlanılır, ama uzay yolculuğu acenteleriyle vergi mükellefleri için ne mutlu ki, çarpışma söz konusu değildir. Ama aradaki benzerlik, durumu anlamamıza yardımcı olabilir. Füze fırlatan herkes, bir uyduyu kutuplardan geçen bir yörüngeye yollamak için hatırı sayılır miktarda enerjiye ihtiyaç olduğunu bilir. Bir şeyin ekvator düzleminden kopması için o kadar çok enerji gerekir ki, bütün gezegenlerin aynı düzlemde, Güneş'in ekvatoral düzleminde bulunması, güneş sisteminin temelinin bir disk olduğuna ilişkin son derece güçlü bir işarettir; hatta bir kanıttır, bile diyebilirim. Güneş, şimdi çevresinde olan gezegenleri, gökada içinde yol alırken yakalamış olsa, bütün gezegenler farklı düzlemlerde hareket ederlerdi.

YUVARLAKLAR, YASSILAR VE EĞRİLER

— *Disk dediğiniz şey, Satürn'ün çevresindekiler gibi bir halkalar sistemi mi?*

— Öyle de denebilir. Evren'de üç tür nesneye rastlanır: Yuvarlaklar, yassılar ve eğriler. Bir yıldız bir küredir; Herkül kümesi gibi bir yıldız kümesi kusursuz bir yuvarlaktır, çünkü yıldızlar birbirlerinden çok uzak olduklarından, çarpışmazlar. Buna karşılık Satürn'ün halkaları, bir gezegenin çevresindeki uydular, Andromeda ya da bizim Samanyolu gibi bir gökada, birbirinden son derece farklı ölçeklerde yassı sistemler oluştururlar. Bir karadelik, yanından geçen bir maddeyi yuttuğunda, çevresinde yassı bir disk oluşur. Bütün bu yassı nesneler, bileşenlerinin birbiriyle çarpışmasıyla ortaya çıkmışlardır. Son olarak tuhaf biçimli gökcisimlerinin temelinde de genellikle bir çarpışma yatar; bazı göktaşlarında ya da gökadalarda olduğu gibi. İki nesnenin büyük bir hızla çarpışarak iç içe girmesinden geriye eğri bir şey kalır. Bunu anlamak için kaza yapmış iki arabaya bakmak yeter.

— *Sonuç olarak, asıl doğal olmayan diskin olmayışı. Örneğin Yerküre'nin çevresinde.*

— Ne Yerküre'nin, ne Venüs'ün, ne de Mars'ın çevresinde halka var, nedeni de yalnızca başlangıçta yeterince madde olmayışı.

— *Peki ama, o zaman gezegenler ve Yerküre nasıl oluştu?*

— Öncelikle gezegen üretmenin iki yolu vardır: Ya iri bir nesne büzülür, biraz bir yıldızın kendi içine çökmesine benzer bu; ya da dağınık parçalar bir araya gelir. Yerküre'nin oluşumunda ağırlık açıkça ikinci yöntemdedir. İşin özünde, ilkel diskin bir parçasının kendi içine çöküp büzülerek doğrudan bir gezegen haline gelmesi için oynak, kararsız olması gerekir; Güneş'in varlığıysa bunu engeller.

KÜÇÜK BİR GEZEGEN DOĞUYOR

— *Özetleyecek olursak: Yıldızlararası bir maddeden oluşan bir bulutsu kendi içine çöktü; böylece çevresinde bir gaz diski bulunan, katılaşmakta olan müstakbel bir yıldız ortaya çıktı. Bu noktadan sonra, Yerküremiz nasıl doğdu?*

— Güneş, katılaşmasını tamamladıktan sonra, kesinlikle eskisinden daha az ışık vermeye başladı...

— *Neden?*

— Çok basit, çünkü bir yıldızın, çekim gücüne bağlı olarak çökmesi sırasında, termonükleer tepkimelerdekine göre çok daha fazla miktarda, ama çok daha kısa ömürlü bir enerji açığa çıkar. İlk başta çok sıcak olan gaz ve toz diski de böylece soğumaya başladı. Boyu birkaç milimetreyi bulan küçük taneler ortaya çıktı. Bileşimleri de doğal olarak sıcaklığa, yani Güneş'e olan uzaklıklarına göre değişiyordu.

— *Gezegenler, bu tohumların yığışmasıyla mı oluştu yoksa...*

— Doğrudan doğruya değil. Böylesi, Evren'in yaşından daha fazla bir zaman alırdı. Yerküre ortaya çıkana dek pek çok süreç yaşandı. Yer yer küçük istikrarsızlıklar, ya da birkaç yüz metrelik burgaçlanmalar görüldü.

— *Bu somut olarak nasıl kendini gösteriyordu?*

— İstikrarsızlığın meydana geldiği her yerde taneler yığışarak, 500 metre ila 1 kilometre boyutunda küçük nesneler meydana getirdiler. Atalarımız olan bu cisimlere, gezegenimsiler denir.

— *Soğumuş toz ve gazlardan oluşan bu pıhtıya benzer şeylerden Yerküre'ye nasıl gelindi?*

— Gezegenimsiler dönerken çarpışıyorlardı. Şok şiddetli olduğunda, parçalanıyorlardı. Böyle buluşmaları boşanma olarak adlandıralım. Ama şok daha yumuşak olduğunda, birbirlerine yapışıyorlardı. Buna da evlilik diyelim. Birbirini kovalayan evliliklerle boşanmaların sonunda, yüz metrelik gezegenimsilerden, 1000 kilometreye kadar varabilen geze-

gen embriyolarına ulaşılmış oldu. Daha sonra embriyoların çarpışmasıyla da Yerküre gibi gezegenler oluştu.

— *Bütün bunlar çok uzun zaman aldı mı?*

— Astronomik ölçekte, hayır. 100 bin ila 200 bin yıla kalmadan bir gaz diski olmaktan çıkıp bildiğimiz gezegenlere ulaştık; bu süre, sistemimizin yaşı olan 4,5 milyar yılın yanında çok kısa kalır. Yerküre'nin Güneş'le aynı yaşta olduğu söylenebilir.

— *Gezegenlerin üretilebilmesi için çarpışmalar gerekiyordu; ama şiddetli olmayan türden.*

— Evet. Cisimlerin sürekli çarpışmasının bütün güneş sistemini karman çorman edeceğini düşünebilir insan. Oysa bunun tam tersi oldu. Milyonlarca çarpışmanın sonunda, hepsi aynı düzlem üzerinde, hemen hemen dairesel yörüngelerde dönen bir gezegenler sistemi ortaya çıktı. İlk baştaki kaotik sistem, çarpışmalar sayesinde son derece büyük bir düzene kavuştu.

— *Kısacası en sevdiğimiz gezegenler çarpışa çarpışa doğdular.*

— Güneş'e yakın olan dört küçük gezegen için –Merkür, Venüs, Dünya ve Mars– bu senaryo biçilmiş kaftandır. Ama, uzaktaki gezegenler, katı toprağı olmayan o gaz devleri konusunda hâlâ soru işaretleri var. Çekirdekleri dediğimiz şekilde ortaya çıkmış olabilir; daha sonra da Güneş'ten uzakta bulunan bulutsunun hidrojeniyle helyumunu tutmuş olmaları mümkündür. Güneş'e daha yakın olsalar, yüksek sıcaklık, bu gayet uçucu gazları yakalamalarını engellerdi. Ama bazı araştırmacılar yıldızlar senaryosunu yeniden ele alarak, dev gezegenlerin, doğrudan ilk bulutsunun çöken bir parçasından doğduğunu öne süren görüşü incelemeye başladılar.

— *Koca Jüpiter güdük kalmış bir yıldız olabilir mi?*

— Yo, hayır! Öyle olamayacak kadar küçük! Bunun için aşağı yukarı yüz kat daha büyük olması gerekirdi! Güneş'in çevresinde dönen gezegenlerin, uyduların, göktaşlarının ve bütün cisimlerin toplam kütlesi, Güneş'in kütlesinin binde

ikisini oluşturur. Oysa yıldız üretmek için, en azından Güneş'in kütlesinin onda birine ihtiyaç olduğunu görmüştük.

— *Ya Yerküremiz? Onun kütlesi ne kadar?*

— Güneş'in kütlesinin milyonda biri.

UZAYDA KARMAŞA

— *Eh, pek büyük sayılmaz. Bu durumda, disk olduğu gibi gezegenlere mi dönüştü?*

— Hayır. Ardında pek çok kalıntı bıraktı. Güneş sistemi, ev inşa edildikten sonra işçiler tarafından temizlenmemiş bir şantiyeye benzer. Gezegenleri oluşturan tuğlalara benzeyen parçalar hâlâ ortalıkta sürünüyor. İlk bulutsunun neye benzediğini anlamak için onları araştırmak istememizin nedeni de bu.

— *Nerede bu tuğlalar?*

— Her yerde. Onbinlerce göktaşı ve milyarlarca kuyrukluyıldız, doğrudan gezegenimsilerin soyundan gelirler. Güneş'ten uzakta oluşan kuyrukluyıldızlarda pek çok uçucu öğe vardır; bunlar soğuk ortamlara özgü gezegenimsiler olarak kabul edilebilirler. Güneş'e daha yakın olan göktaşlarında zor ergiyen öğeler daha fazladır; dolayısıyla bunlar da sıcak ortama özgü gezegenimsilerdir. Bu cisimler hâlâ zaman zaman birbirleriyle çarpışır, gezegenlerin ve uyduların üzerine yağarlar.

— *Bu cisimler hâlâ Yerküre'ye de yağıyorlar mı?*

— Evet, ama Güneş sisteminin ilk anlarındakinden çok daha düşük bir tempoda.

— *Çarpışmalardan doğan ilk Yerküre, okyanusları, kıtaları, mavi gökyüzü ve bulutlarıyla bugün bizim tanıdığımız gezegene benzemiyordu herhalde.*

— Doğru; o sırada Yerküre'yi görsek kendimizi cehennemde sanırdık! Sıcaklığı binlerce dereceyi bulan yüzeyi, lavlarla kaplıydı. Derken son derece önemli bir gelişme oldu: Büyük olasılıkla, gezegenimizin tarihindeki en önemli olay-

lardan olan ayrışma başladı. Çekirdeğin, mantonun ve yerkabuğunun oluşumunun kökeninde bu yatar; yanardağların, okyanusların, karaların, bildiğimiz manzaraların ve atmosferin oluşmasını sağlayan da budur.

GEZEGEN SOSU

— *Genç Yerküre, oldukça soğuk bir bölgede doğmuş olmasına karşın çok mu sıcaktı?*

— Bu ikisinin birbiriyle hiç ilgisi yok. Güneş'in sıcaklığıyla, kendi enerji kaynaklarına sahip olan Yerküre'nin sıcaklığını karıştırmamalıyız. Gezegenin ilk başta sıcak olmasının temelinde pek çok olay yatar: çarpışmalar, katılaşma, radyoaktivite ve gelgitler. Yerküre oluşurken, yoğun bir bombardımana uğramış, böylece büyük miktarda enerji açığa çıkmıştır. Gezegene saniyede 11 kilometre hızla çarpan bir cismin, kendi ağırlığınca TNT'nin patlamasına denk bir enerjiyi serbest bıraktığını unutmayalım. Ayrıca ilk başta, Yerküre kendi ağırlığının altında büzüldü. Güneş'te gördüğümüz gibi, bu durumda önemli oranda sıcaklık açığa çıkar. Kayaların doğal radyoaktivitesi de buna eklendi; son olarak gelgitler de ufak bir rol oynadılar.

— *Bu açıdan bakıldığında Yerküre'nin de Ay gibi ölü bir gezegene dönüşmesi tehlikesi var mı?*

— Uzun vadede, evet. Ay gibi bir cisim hemen hemen tamamen soğumuş durumdadır; oysa Yerküre, içindeki sıcaklığı dışarıya aktaran canlı bir gezegen olarak kaldı.

— *Bu kadar büyük bir önem taşıyan ayrışma olayını nasıl tarif edebiliriz?*

— Kaynaşıp duran Yerküre'de, demir ve nikel gibi en ağır elementler, merkeze doğru çökerek çok yoğun bir çekirdek meydana getiriyorlardı. Oksijen, silisyum, alüminyum, kalsiyum, potasyum ya da kükürt gibi hafif elementlerse tam tersine yüzeye yükseliyor, mantonun üzerinde yüzen, ince bir kabuk oluşturuyorlardı. Tıpkı yağlı bir sos gibi: Ye-

terince beklersek, daha ağır olan sirke yavaş yavaş dibe çöker, yağ ise yüzeyde salınır.

— *Yerküre'nin belli başlı bileşenleri nelerdir?*

— En başta, gezegenin %35'ini oluşturan demir gelir. Ardından %30'la oksijen, %15'le silisyum, %13'le magnezyum, %2,4'le nikel. Bundan sonra da her biri %2'den daha az yer tutan kükürt, kalsiyum ve alüminyum sayılabilir. Geri kalanların hepsini toplasanız %1'i bile bulmaz.

— *Toprağı kaza kaza çekirdeğe inmeyi başardığımız gün, yeni bir Demir Çağı başlayacak!*

— Buna pek kesin gözüyle bakmamak gerek. Büyük olasılıkla Yerküre'nin merkezine ulaşamadan güneş sisteminin dışına çıkmış olacağız! Bu konuda Jules Verne mantıklı değildi: Bir yanardağ ağzından bile çok daha yüksek olan cehennemi sıcaklığı ve inanılmaz basıncı yüzünden Yerküre'nin merkezi, Evren'in en ulaşılmaz yerlerindendir. Bütün aletler daha iki adım ilerleyemeden eriyip ezilir. Madenciler yer altında, 1000 metrenin ötesinde koşulların son derece zorlaştığını bilirler; en derin açmaların derinliği 20 kilometreyi bulmaz. Oysa Yerküre'nin merkezi, yüzeyden 6378 kilometre derindedir.

— *Yerküre, gerçekten de katı bir cisim!*

— İster katı olsun, ister olmasın, hiçbir gökcisminin içine girilemez. Güneş gibi gazlı cisimlerin içinde, bir fotonun bile hareket etmesi zordur! Fotonun merkezden çıkıp dışarıya ulaşması 8 milyon yıldan fazla sürer; oysa ardından Güneş atmosferiyle Yerküre arasındaki yolu yalnızca 8 dakikada alır.

HİDROJEN BİZİ TERK EDİYOR

— *Yerküre'nin atmosferi doğuştan mı?*

— Hayır. Atmosferi kendi üretmiş olmalı. Gazların kabuktaki kayalardan çıkması ve yanardağ etkinlikleri, atmosferin belli başlı bileşenlerini sağladı. Bizim atmosferimiz, ikincil de-

nilen türdendir. Buna karşılık, dev gezegenler birincil denen türden atmosferlere sahiptirler; onlar hidrojen ve helyumdan oluşan atmosferleriyle doğmuşlardır. Bileşimleri Güneş'inkine ve korumayı başardıkları ilk bulutsunun gazına benzer.

— *Bunun nedeni büyük olmaları mı?*

— Hayır, tam tersi: Büyük olmalarının nedeni ilkel hidrojenle helyumu tutmuş olmalarıdır. Güneş'ten uzakta, soğukta, ilk bulutsunun gazı ilk anlarda varlığını sürdürmüştür. Genç Güneş'in yakınlarında hava çok sıcaktı ve en hafif elementler daha gezegenlerin oluşmasından önce buharlaşıp gittiler. Yerküre, Venüs, Mars ve Merkür hidrojenden ve helyumdan yoksun bir ortamda oluşmuşlardı, yani malzemenin %99'unun buharlaşmasından sonra geriye kalanla. İç taraftaki gezegenlerin çok cılız olmasının nedeni budur. Çevrelerinde halka yoktur, tam bir uydu sistemleri yoktur, hidrojenleri yoktur, helyumları yoktur. Bu gezegenler döküntüdür; ama üzerinde yaşadığımız döküntüyü biz çok seviyoruz.

— *Yerküre'de hidrojen yok mu?*

— Çok az. Hidrojen, serbest haldeyken firar eder. Hidrojenle çalışan güdümlü aletler bu ilkeden yola çıkılarak yapılmıştır. Buna karşılık hidrojen, bir molekülün içinde başka atomlara bağlıysa korunabilir; örneğin su H_2O ya da metan CH_4. Sürekli olarak birtakım atomlar, bir daha dönmemek üzere Yerküre atmosferini terk ediyorlar.

— *Ne kadar hüzün verici! Çocuklar rengârenk balonlarını gökyüzüne bıraktıklarında, balonlar gözenekli olduğundan içlerindeki gaz yavaş yavaş uçtuğunda, helyumu uzaya mı yollamış oluyorlar?*

— Öyle bir kural yok. Atomlar yolda başka atomlarla karşılıklı etkileşime girebilir. Ama atmosferin her tabakasında, ayrıca atmosferle okyanusların arasında pek çok kimyasal tepkime gerçekleşir; okyanuslarda, örneğin yanardağ patlamaları sırasında yeni moleküller ortaya çıkar. Yerküre'nin atmosferi, sürekli malzeme kaybeden ve sürekli yeni malzemeye kavuşan canlı bir cisimdir. Kısacası şimdilik bir sorun yok.

— *Yerküre'nin atmosferi tekrar değişebilir mi?*

— Elbette! İşte bu nedenle gözümüzü dört açmalı ve bile bile ateşle oynamamalıyız. Mars'ın atmosferinin zaman içinde büyük değişikliklere uğradığını biliyoruz. İlk başta çok sıcak olan gezegenin elementleri ayrışırken gaz çıkışı çok yoğundu; sonradan da bir türlü bitmedi. Yerküre yanardağ etkinliği sayesinde sürekli olarak atmosfer üretiyor.

— *Ama yanardağların tertemiz kır havası püskürttüğünü de söyleyemeyiz!*

— Elbette öyle bir şey yok. Yerküre'nin atmosferi ilk başta azot, karbondioksit, metan ve amonyaktan oluşuyordu... Karbondioksiti oksijene dönüştüren bitkilerdir; ve ne mutlu bize ki, hâlâ aynı işi yapıyorlar.

— *Toprağı olan bütün gezegenler bir atmosfer ürettiler mi?*

— Yerküre'yle aynı büyüklükte olan Venüs üretti, evet. Merkür ve Ay, en ufak bir atmosferi bile tutamayacak kadar küçükler. Dünya'dan daha küçük olan Mars kendi atmosferinin büyük bölümünü yavaş yavaş kaybetti. Atmosfer zaman içinde, ağır ağır buharlaştı.

— *Gene de Mars'ın çevresinde biraz atmosfer kaldı mı?*

— Elbette. Yerküre'nin atmosferinin yoğunluğu Venüs'ünkinden yüz kez daha az, Mars'ınkinden yüz kat daha fazladır. Ama Mars gene de atmosferinin birazını tutabilmiştir. Zaten *Viking* sondaj araçları, Mars'a paraşütle iniyorlar!

— *Demek Yerküre, fırından yeni çıkmış ekmek gibi sıcacıktı. Bu hale gelmesi ne kadar zaman almıştı?*

— Astronomik ölçülerde kısa sürdü: İlk bulutsunun büzülmeye başladığı anla Yerküre'nin yığışmaya başladığı an arasında yüz milyon yıl bile geçmemişti. Yerküre'nin serüveni başlayabilirdi.

SAHNE 2

MEHTAPLI GECELERDE

Bir uydudan öte, bir dost geliyor şimdi: Güzellikleri ve gizemleriyle Ay. İki gezegen karşılıklı olarak birbirlerini etkiliyorlar; o kadar ki bundan böyle birinden bahsederken ötekini unutmamız mümkün olmayacak.

TEK YETİŞKİNLİ BİR AİLE

— *Orta büyüklükte bir yıldızın çevresinde dönen, oldukça küçük bir gezegen. Çok sıradan bir durum. Yerküre'nin gelecekte ne kadar şaşırtıcı bir ömür süreceğini gösteren hiçbir işaret yok muydu?*

— ANDRÉ BRAHIC: Durum o kadar da sıradan sayılmaz. Yıldızların %80'i çiftler halinde yaşar. Evren'de olağan olan, çift, yani birbirinin etrafında dönüp duran yıldızlardır. Bekâr bir yıldız olan Güneş bir istisnadır. Ne var ki, günün birinde yaşamın ortaya çıkabilmesi için böyle olması gerekiyordu. İkili sistemde iki yıldızın kütleleri tam olarak birbirine eşit değildir. Bu nedenle biri daha fazla ışık verir, dolayısıyla onun yakınlarında sıcaklık daha yüksektir.

— *Bunun ne sakıncası var? Gezegenle yıldızın arasında gerektiği kadar mesafe bulunması sorunu çözmez mi?*

— Sorun da bu ya. Uygun uzaklığı yakalamak zor. Dairesel bir yörünge ancak yıldızlardan birinin çok yakınından, ötekinin etki edemeyeceği bir yerden; ya da iki yıldızın hemen

hemen birbirinden ayırt edilemediği, ikisine de çok uzak bir noktadan geçebilir. Birinci durumda, sıcaklık, yaşamın ortaya çıkmasına izin vermeyecek kadar yüksek olur; ikinci durumdaysa fazlasıyla düşük. Ara mesafelerde ise, yörüngeler 8 şekli çizer; böylece ortaya çıkabilecek gezegenler de sırayla her iki yıldıza da yaklaşırlar. Sıcaklıkta çok büyük inişler ve çıkışlar görülür; yaşam ise buna gelmez; o daha sabit koşulları yeğler.

— *Ve Yerküre'nin Güneş'in çevresinde çizdiği yörünge bu koşulları sağlıyordu. Yörünge, 4 milyar yılda hiç değişmedi mi peki?*

— Hayır. Yerküre'nin yörüngesi, bütün öbür gezegenlerinki gibi baştan beri hiç değişmedi. Güneş'e kayda değer ölçüde ne yaklaştı, ne de ondan uzaklaştı.

— *Kendi çevresindeki dönüşünde de mi hiç değişiklik olmadı?*

— Oldu. Yerküre, hayata ilk adım attığında deli gibi dönüyordu. Günler yalnızca on saat sürüyordu.

— *İnsanın başı döner. Güneş karabatak kuşu gibi, bir çırpıda batıyordu herhalde!*

— Bu ilk dönüş hızı, gezegenimsilerin birbirleriyle çarpışmalarının bir sonucuydu. 200 milyon yıl önce; ki astronomik boyutta çok eski bir tarih sayılmaz bu; 1 yıl hâlâ 400 gün, her gün yaklaşık 22 saatti. Günümüzde yılların süresi, her yüzyılda 0,002 saniye uzuyor. Bu da her sabah, bir öncekine göre hep biraz daha geç kalktığımızı gösteriyor.

— *Yavaşlamanın nedeni ne?*

— Bu konuda başrol, Ay'ın ve yarattığı gelgitlerindir.

— *Yeri gelmişken; Ay ne zaman ortaya çıktı? Yerküre'nin tarihinden bahsederken, sık sık dördün değiştiren o güzel gecekuşunu anmadan geçmek olmaz.*

— Elbette! Ay olmasa Yerküre "yerküre olmazdı", belki biz de var olmazdık: Ay büyük olasılıkla yaşamın tarihinin temel unsurlarından biridir. Ay, Yerküre'yle aynı anda oluştu; *Apollo*'nun sayesinde bunu öğrenmiş olduk.

— *İki gezegen aynı yaştaysa, neden birinde bu kadar çok göktaşı krateri bulunuyor?*

— Öncelikle, Yerküre ve Ay'ın aynı tempoda göktaşı bombardımanına uğradıklarını kabul edersek, ikisinde de eşit sayıda çarpışma krateri olmalıydı; ama atmosferi olmayan Ay jeolojik açıdan milyarlarca yıldır pasiftir. Ay toprağı bütün çarpışmaları, hiçbir izi silmeksizin kaydetmiştir; tıpkı Yerküre'nin başına gelen erozyonu, yanardağ hareketlerini ve daha başka jeolojik dönüşümleri hiç durmadan kaydettiği gibi. Paul Tapponnier bize bunu anlatacak.

AY BİLMECESİ

— *Ay nasıl oluştu?*

— Doğruyu söylemek gerekirse, bunu tam olarak bilemiyoruz. 200 yıldan beri üç karşıt kuram mevcut. Zaman zaman içlerinden biri öne çıkıyor; günümüzde Ay'ın Yerküre'nin oldukça yakınında oluştuğunu, bir çarpışma sonucu ona yakalandığını düşünenler var; gene de kesin bir karara varabilmiş değiliz.

— *Bununla birlikte, Ay, üzerine adım attığımız, Yerküre'ye taşından getirdiğimiz tek gök cismi!*

— Evet. Bu da astrofizikçilerin karşısına büyük bir soru işareti çıkarıyor. Ay, üzerinde en fazla bilgiye sahip olduğumuz gökcismi... aynı zamanda da kökeni konusunda en bilgisiz olduğumuz! Bu durumda, alçakgönüllü olmakta yarar var: Yıldızlar, gökadalar, hatta güneş sistemi hakkındaki pek çok iddia, elimizde biraz daha veri birikince belki de çöpe atılacak.

— *Bugün, Ay hakkında kesin olarak ne biliyoruz?*

— Kesin yaşını biliyoruz: 4,45 milyar yıl; Yerküre'nin yaşının 4,50 milyar yıl olduğunu da bir kenara yazalım. Ay'daki kayalıklarda bulunan oksijen türevlerinin –bilim adamlarının deyimiyle izotopların– miktarının ölçülmesi, onun doğduğu yerin Güneş'e ne kadar mesafede olduğu konusunda bir fikir verdi. Sonuç: Bu yer, Yerküre'den fazla uzakta olamaz. Olsa olsa, bir tarafta Yerküre'yle Venüs'ün, öbür tarafta

Yerküre'yle Mars'ın tam ortasından geçen çizgilerin belirlediği bir kuşakta ortaya çıkmıştır. Yani, merkezinde Yerküre'nin olduğu, yaklaşık 50 milyon kilometre genişliğindeki bir bölgede.

— *Bu durumda, bazı kuramlarda öne sürüldüğü gibi gökyüzünün derinliklerinden gelip Yerküre'ye yakalanmış bir göçebe değil midir Ay?*

— Kesinlikle hayır. Geçip gitmekte olan bir nesneyi yakalamak çok güçtür: Sonsuzluğun içinden gelmektedir, tam Yerküre'nin üzerinden geçerken yörüngesinden sapar, ardından sonsuzluğa doğru yoluna devam eder... Astronomide –astronomi sözcüğünün altını çiziyorum–, iki cisim, ancak üçüncü bir cismin araya girmesiyle çift haline gelir ya da birbirinden ayrılır.

— *O halde, çok uzaktan gelmediğine göre, Ay, Yerküre'den kopmuş bir parça olabilir mi?*

— 19. yüzyılda Darwin'in astronom olan oğlu, Ay'ın Yerküre'den doğduğu fikrini ortaya attı. Buna göre gezegenimiz, fazla hızlı döndüğü için parçalanmış. Böyle bir senaryoyu göz önünde canlandırmak çok zor! Sapanla oynayan bütün çocuklar, taşın dönüş ekseninde ileriye fırladığını bilirler. Ama Ay, Yerküre'nin ekvatoral düzleminde değildir.

— *Yerküre'nin ikiz kardeşi olabilir mi?*

— Ay da güneş sisteminde, Yerküre'ye oldukça yakın bir yerde doğdu; ama Yerküre'nin kardeşi değildir; yapısı onunkinden farklıdır. İkisinin kardeş olabilmesi için Ay'ın bir çekirdeğinin olması gerekirdi, oysa Ay'da hemen hiç demir yoktur. Bileşimi Yerküre'nin mantosununkine benzer. Kimileri, Mars büyüklüğündeki üçüncü bir cismin gelip Yerküre'ye çarparak, yüzeyinden bir parça kopardığı fikrini ortaya attılar. Ay'da neden demir bulunmadığı da böylece açıklığa kavuşmuş olurdu.

— *Neden bu cismin tamı tamına Mars kadar olması gerekiyor?*

— Mars'tan daha küçük bir cismin enerjisi böyle bir işe yetmez, daha büyük bir cisim ise Yerküre'yi yok ederdi... Bu

kuram şimdilik gayet nazari ve Ay'ımızın kökeni konusunu sonuca bağlayana kadar, daha pek çok gözlem yapmamız gerekecek.

— *Ay'a yeterince bakmadığımızı iddia etmeyeceksiniz herhalde!*

— 4000 yıldan beri binlerce insanın Yerküre'yi ve gezegenleri incelediği doğru. Oysa daha yüz yıl öncesine kadar, kıtaların yer değiştirdiği bilinmiyordu, gezegenler de gökyüzündeki ışıklı noktalardan başka bir şey değildi, Antarktika'da insan yaşamıyordu, okyanus dipleri, en yüksek dağ dorukları ve çöllerin derinlikleri hiç araştırılmamıştı. 20. yüzyılda büyük adımlar atıldı, ama gene de Yerküre'yi tanımak için daha kırk fırın ekmek yememiz gerek.

— *Yeniden Ay'a gitmemiz de gerekecek mi?*

— Elbette! Ama başka bir biçimde; yolculuğu bilim adamları yapacak bu kez. İlk atılan adımlar gayet sportmenceydi. *Apollo 17*'nin yolcularından olan jeolog Harrison Schmitt'in dışında Ay'a yolculuk yapan bütün astronotlar, pek çok bilim adamının beceremeyeceği bedensel çalışmalar yapmışlardı. Mümkün olduğu kadar çok yararlı bilgi edinebilmek için, Ay yolculuklarını biraz daha konforlu bir hale getirmek gerekecek.

KARALARDAKİ GELGİTLER

— *Gene de Ay'ı, düne göre daha iyi tanıyoruz.*

— Kuşkusuz öyle. XIX. yüzyıldan bu yana, uydumuz hakkındaki bilgilerimiz oldukça arttı: Bugün artık, neyin yanlış olduğunu biliyoruz... Ama ne yazık ki, henüz gerçekliğin tamamına ulaşmış değiliz.

— *Gene de kesin olarak bildiğimiz bazı şeyler var. Örneğin, Ay'ın ve Yerküre'nin karşılıklı olarak birbirlerini etkiledikleri...*

— Evet, gelgit etkisinden dolayı, Yerküre'nin kendi ekseni çevresindeki dönüşü sürekli olarak yavaşlıyor, Ay da

amansızca bizden uzaklaşıyor. Yerküre tek başına olsaydı, boşlukta sürtünme olmadığından, dönüş hızı hiç değişmezdi. Ama Güneş'le Ay'ın gelgit etkisi Yerküre'yi hep frenlemiştir.

— *Gelgitler, Ay'ın okyanuslar üzerindeki çekim gücü nedeniyle oluşuyor, doğru, değil mi?*

— Hayır. Gelgit etkisi denizlerle sınırlı değildir! Kıyı şekillerindeki çeşitlilik nedeniyle, gelgitler kıyılarda daha rahat izlenebiliyor. Ama Yerküre'de karaların dışında da, içinde de her nokta Ay tarafından çekilir. Daha genel olarak, birbirinin yakınındaki bütün gökcisimleri, karşılıklı olarak birbirlerini deformasyona uğratırlar. Çekim gücü uzaklığa göre değiştiğinden, ve Yerküre'nin üzerindeki noktalar Ay'a farklı uzaklıkta olduğundan, her noktanın üzerinde Ay'ın çekim gücü de farklıdır. Böylece Yerküre deforme olur.

— *Dünya'yı yavaşlatabildiklerine göre, son derece büyük güçler olmalı bunlar!*

— Söz konusu güçler hakkında bir fikir verebilmek için şunu söyleyebiliriz: Birbirlerine bir santimetre mesafeyle yumuşak otlara uzanmış iki kişi, Yerküre'ninkinden yüz bin kez daha zayıf, ama Ay'ınkine aşağı yukarı eşit bir güçle birbirlerini çekerler. Aralarında başka türden çekimler de olabilir elbette, ama bunun yerçekimiyle bir ilgisi yok. Neyse; kısacası Güneş, Yerküre... bütün cisimler birbirini çeker ve karşılıklı olarak birbirini deforme eder.

— *Birbirlerinin biçiminde kayda değer değişiklikler yaratıyorlar mı?*

— Evet. Yerküre'yle Ay'ı ele alalım. Elimizde noktalar değil, üç boyutlu şekiller var. Ay'ın Yerküre'ye yakın olan yüzüne daima Ay'ın merkezine göre daha fazla çekim gücü etki edecektir. Ay'ın merkezine de Ay'ın Yerküre'ye uzak olan yüzünden daha fazla çekim gücü etki eder. Sonuç olarak Ay'ın iki yüzü birbirinden uzaklaşır ve önce küre biçiminde olan Ay, rugby topu şeklini alır. Ay kendi çevresinde döndüğü için, biçimi de hiç durmadan bozulur.

AY YERKÜRE'NİN BİÇİMİNİ BOZUYOR

— *Aynı olayın Yerküre için de geçerli olduğunu tahmin ediyorum...*

— Çok doğru. Yerküre'nin biçimi de Ay'ınki gibi uzar.

— *Neden Ay rugby topu biçimini alıyor; neden yalnızca en fazla çekime maruz kalan bölümde bir şişkinlik meydana gelmiyor?*

— Ay'ın merkezi, Yerküre'ye yakın olan yüzden daha az, öteki yüzden daha fazla çekilir Yerküre tarafından. Böylece kendi dönüş hızlarına göre, Yerküre'nin biçimi de Ay'ın biçimi de bozularak, büyük ekseni komşu gökcismine dönük bir rugby topuna dönüşür. Sanki bir yüreğin üstündeymişiz gibi; her on iki saatte bir onlarca santimetre havaya kaldırılırız.

— *Bu durumda Ay'ın hizasına geldiklerinde sular yükseliyor, çünkü deniz gökyüzüne doğru çekiliyor, öyle mi?*

— Daha da ötesi. Daha akışkan olan okyanus suyu daha kolay biçim değiştirir; ama okyanusların yanında, Yerküre'nin her yerinin biçimi düzenli olarak değişir. Yer sanıldığı gibi, güneş sistemindeki öbür cisimlerden daha katı değildir. Toprak, enleme bağlı olarak değişen seviyelerde yükselip alçalır. Her şey aynı anda hareket ettiğinden, biz bunun farkına varmayız.

— *Fransa'da toprak ne kadar yükselir?*

— Ortalama 30 santimetre. Elbette, okyanuslardaki kadar çarpıcı bir yükseliş değildir bu: Su, açık denizde 50 santimetre, buna karşılık sığ sularda metrelerce; hatta bazı koylarda 10 metreden fazla yükselir.

— *Ya Güneş? Güneş de gelgitlere neden olmaz mı?*

— Elbette olur. Ay'la karşılaştırıldığında yaklaşık 400 kat daha uzaktır bize, ama kütlesi dev gibidir: Yerküre'ninkinin 200 milyon katı! Güneş'in yarattığı gelgitler de belirgindir; ama şiddetleri Ay gelgitlerinin yarısı kadardır.

— *Gelgitler farklı büyüklükte olabiliyor. Bunun kaynağı ne?*

— Güneş'le Ay'ın birbiriyle bağlantılı rolleri. Okyanusta

su seviyesi, dolunayda ve yeniayda, yani Ay, Yerküre ve Güneş bir hizaya geldiğinde en yüksek seviyeye ulaşır. Hepsinin etkisi birbirine eklenir. Oysa yarımayda, Ay, Yerküre ve Güneş bir dik açı meydana getirirler; etkileri birbirine denktir; bu durumda su seviyesinin yükselmesi en alt düzeyde kalır.

— *Gelgitler sırasında Yerküre'nin biçimi, ne derinliğe kadar değişir?*

— Her yeri değişir! Nitekim jeofizikçiler de, gelgitlerin depremler, faylar, çatlaklar, volkan hareketleri, vb. üzerinde etkili olup olamayacağını düşündüler. Yanıt olumsuzdu: Gelgitlerin gücü buna yetmez.

— *Gezegenin oval biçimli olması da önemli sonuçlar doğuruyor mu?*

— Evet. Yerküre gibi bir cismin biçimini değiştirmek, büyük enerji ister. Sonuç olarak dönüş hızı da bu nedenle düşmüştü.

— *Gelgit etkisi de, yavaşlama da durmadığına göre, günün birinde Yerküre'nin artık dönmeyeceğini düşünebilir miyiz?*

— Kesinlikle hayır. Yerküre'nin biçiminin bozulması, anlık bir olay değildir. Yerküre, tam oval bir biçim aldığında yeniden dönmüş; rugby topunun ekseni de Ay'dan hafifçe sapmış olur. Bu sapma ölçülmüştür de; yaklaşık 3 derece olduğu görülmüştür.

— *Peki, Yerküre'yi yavaşlatan da bu sapma mı?*

— Bir anlamda evet. Yerküre'nin kendi etrafında dönüşü iyice yavaşlayıp Ay'ın Yerküre'nin etrafında dönüş hızına eşitlenince belli bir uyum doğacak; yavaşlama duracak.

YERYÜZÜNÜN GİZLİ YÜZÜ

— *Başka bir deyişle, günle ay, eşitlenecek...*

— Evet. O günden sonra, Yerküre Ay'a hep aynı yüzünü gösterecek. Yerküre'nin bir yarısı Ay'ı hep görecek, öteki yüzü ise hiç görmeyecek. Bakarsınız şairleri bir tarafa, bürokratları da öbür tarafa yerleştiririz, ne dersiniz?

— *Astronomları şairlerin tarafına mı koyacaksınız, bürokratların tarafına mı...*

— Şairlerin tarafı daha keyifli olur; ama mehtapsız gecelerin gökyüzünü gözlemlemeye daha elverişli olduğunu da kabul etmeliyim.

— *Ay'ın hep aynı yüzünü görmemizin nedeni bu mu?*

— Kesinlikle! Kendinden daha büyük ve ağır bir gezegenin çekim gücünün etkisi altında olan Ay, Yerküre'den daha çabuk senkronize oldu; dönüşü öyle yavaşladı ki, sonunda kendi etrafında da, Yerküre'nin etrafında da aynı sürede, yirmi sekiz günde dönmeye başladı. Ay'ın gizli yüzünü asla doğrudan görmeyiz. Yerküre'nin senkronize olmasıysa, daha birkaç milyar yıl alacak!

— *O zaman günler ne kadar sürecek?*

— Gelecekteki aylar kadar; yani şimdiki günlerin yaklaşık 50 katı. Çünkü, o arada Ay'la Yerküre'nin arasındaki mesafe üç katına çıkacak, bu nedenle ayların süresi de uzamış olacak. Günler ve geceler de bitmek bilmeyecek.

— *Öteki uydularla gezegenlerin de başından aynı serüvenler mi geçecek?*

— Evet, elbette. Ama her çiftin hikâyesi ayrı. Mars'ın Phobos'uyla Neptün'ün Triton'u gezegenlerine yaklaşmaktalar; ve on milyarlarca yıl sonra, yani yakın bir tarihte, ezilip gidecekler.

— *Bu sırada Ay da bizden uzaklaşıyor!*

— Bunu tam olarak kavrayabilmek için, Yerküre'nin ve bütün öteki gökcisimlerinin etrafında üç kuşağın var olduğunu bilmek gerekir; bütün uydular bu kuşakların arasında hareket ederler. Bunlardan birincisine Roche sınırı denir; adını da 1850 yılında Montpellier'de bu ilginç olayı tarif eden Fransız matematikçiden alır. Bu şeritte gelgit etkisi o kadar belirgindir ki, Roche sınırını aşan her cisim, çekim kuvveti nedeniyle parçalanır. Yerküre'nin Roche sınırı kendisinden yaklaşık 18 bin kilometre ötededir. Bugün 380 bin kilometre uzaklıkta olan Ay bize fazla yaklaşsa paramparça olur; parçalar da birbirleriyle çarpışarak sonunda güzel bir halka meydana getirirler.

— *Sanırım bu sınır her gezegene farklı bir uzaklıkta yer alıyor; her zaman 18 bin kilometrede olmuyor.*

— Kesinlikle. Kabaca söylemek gerekirse, Roche sınırının uzaklığı, cismin yarıçapının iki buçuk ila üç katıdır; dolayısıyla gezegenin ve uyduların özgül ağırlığına göre değişir. İşte bu nedenle dev gezegenlerin hemen yakınında uydulara değil, halkalara rastlanır.

— *İyi ama, yapay uydular, uçaklar, hatta biz ve çevremizdeki bütün nesneler, Yerküre'ye Roche sınırından daha yakınız...*

— Roche sınırı ancak büyük boyutlu cisimler için geçerlidir. Yoksa nesnenin farklı noktaları, hatta en uzak noktaları arasındaki mesafe, çekim kuvvetinde kayda değer bir fark yaratmaya yetmez. Bir uçak ya da yapay uydu, Dünya'yla karşılaştırıldığında küçücük kalır. Bana gelince; hiç de kafam bir yana ayaklarım bir yana gidiyormuş gibi hissetmiyorum! Roche etkisi ancak en az 100-200 kilometre boyutundaki cisimlerde hissedilir.

— *İkinci kuşak hangisi?*

— Eşzaman yörüngesi; uydu anteni kullananlar bunu iyi bilir. O uzaklıkta, bir cismin gezegenin çevresinde dönüş süresiyle, gezegenin kendi etrafında dönüş süresi birbirine eşittir. Yaklaşık dört yüz yıl önce Kepler'in bize öğrettiği gibi, bir cismin gezegenin çevresinde dolanma süresini belirleyen, o cismin gezegene olan uzaklığıdır. Bir nesnenin Yerküre'nin çevresini 24 saatte dönmesi için, ona 36 bin kilometre uzaklıkta olması gerekir. Bu yörüngede uydular gezegenin tepesinde hep aynı noktada, sabit kalırlar.

— *Uzay istasyonlarının oturtulduğu şu meşhur yörünge..*

— Evet. İletişim uyduları, televizyon uyduları, vb. oraya yerleştirilir. Ama Merkür gibi 88 günde, Venüs gibi 250 günde dönen yavaş gezegenlerin eşzaman yörüngesi çok daha uzakta, gezegenin Roche sınırının çok ötesinde yer alacaktır. Buna karşılık kendi çevresinde dönüşünü 10 günde tamamlayan Jüpiter ya da Satürn'ünki Roche sınırının altında, halkaların ortasındadır.

GÖKSEL DEMİR YUMRUK

— *Ay, Yerküre'nin eşzaman yörüngesinde yer almıyor.*

— Yer aldığını göreceksiniz. Üçüncü kuşak da etki kuşağı; bir uydunun var olabileceği kuşak. Daha uzakta, uydu kaçıp gider. Ay, Yerküre'nin, ama aynı zamanda Güneş'in çekimi altındadır. Ay, Yerküre'den gereğinden fazla uzak olsa Güneş'in çekimine kapılıp giderdi. Bizim uydumuz olmaktan çıkıp başlı başına bir gezegen haline gelirdi.

— *Ama şimdiki uzaklıktan bile, Güneş'in Ay'ın üzerindeki çekim etkisi, Yerküre'ninkinden çok daha fazla. Nasıl oluyor da Ay, Güneş'in etrafında değil de Yerküre'nin etrafında dönüyor?*

— Bu soru, kuşaklar boyunca öğrencilerin kafasını kurcaladı. Evet, Güneş'in Ay üzerindeki çekim etkisi, Yerküre'ninkinden daha yüksek. Ama bütün kuvvetleri göz önüne almak gerek. Güneş Ay'ı çekerken aynı zamanda Yerküre'yi de çeker. Önemli olan ve Yerküre-Ay çekim gücüyle karşılaştırılması gereken, Güneş'in Ay üzerindeki çekim kuvvetiyle Güneş'in Yerküre üzerindeki çekim kuvveti arasındaki farktır.

— *Yerküre'nin etki kuşağının sınırı kendinden ne kadar uzaktadır?*

— Yaklaşık 1 milyon 700 bin kilometre. Bu da, bu uzaklığın ötesinde Yerküre'nin uyduya sahip olamayacağı anlamına gelir.

AY GİDİYOR

— *Yani Ay, bu kuşağın içinde kalıyor. Onu kaybetme tehlikesi yok.*

— Esas olarak, hayır. Bu öykünün başından beri hep gördüğümüz gibi, her şey değişir. Ay, yüz yılda birkaç metrelik bir tempoyla Yerküre'den uzaklaşmaya devam edecek; ta ki ayla gün eşitlenene kadar. Kesin hesaplar yapıldığında, bu

olayın tam Ay'ın etki kuşağından çıkmasından önce gerçekleşeceği görülüyor. Sonuç olarak bizim ihtiyar çiftin arasının gitgide açıldığı, ama Ay'ın Yerküre'ye sadık kalacağı, asla gidip açık açık Güneş'in çevresinde dönmeyeceği söylenebilir.

— *Daha önce uyduların uçup gittiği oldu mu?*

— Varsa bile gittikleri için bu konuda bilgisi olan yok. Ancak Venüs ya da Merkür, büyük olasılıkla terk edilmenin acısını tattılar. Güneş'le dip dibe olan bu iki gezegenin çevresindeki etki kuşağı Yerküre'ninkinden daha dardır; ayrıca bize göre çok daha yakın oldukları Güneş'in gelgit etkisi nedeniyle kendi çevrelerinde çok yavaş dönerler. Bu gezegenlerden birinin bir zamanlar bir uydusu olduysa bile, artık burada yoklar. Yerküre, doğru zamanda, doğru yerdeydi. Güneş'e daha yakın olsa büyük olasılıkla Ay'ı avucunda tutamazdı; daha uzak olsa Ay'ı tutardı, ama bu sefer de hava, yaşamın ortaya çıkmasına yetecek kadar sıcak olmazdı.

— *Yerküre-Ay ilişkisinde eşzaman yörüngesinin ne önem taşıdığını hâlâ söylemediniz.*

— O konuya geliyorum. Bir uydu Roche sınırını aşıp gezegene yaklaşırsa parçalanır. Etki sınırının ötesine geçince de kaçar. Yani, ancak iki sınırın ortasında var olabilir. Ama bu kuşağın içinde, eşzaman yörüngesinin ötesinde ya da berisinde olmasına göre gezegene yaklaşır ya da ondan uzaklaşır.

— *Neden?*

— Çok basit; eşzaman yörüngesiyle gezegenin arasındayken kendi çevresinde dönüşü gezegenin çevresinde dönüşünden daha hızlı; yörüngenin dışındayken de tam tersidir de ondan. Bu, üç yüzyıldan fazla bir zamandır bilinen Newton kanunlarının doğrudan bir sonucudur. 380 bin kilometre uzağımızda, 36 bin kilometrenin çok ötesinde yer alan Ay'ın durumu ikinci seçeneğe uygundur: Ay, uzaklaşıyor. Bunu ancak otuz yıl önce deneysel olarak kanıtlayabildik.

— *Nasıl?*

— Astronotlar Ay'a ayak bastıkları zaman oraya küçük bir ayna yerleştirdiler. Yerküre'den aynaya güçlü bir lazer ışığı gönderildi ve sonra ışığın gidiş-dönüş hızı ölçüldü. Deney

her tekrarlandığında süre artmış oluyor; bu da Ay'la aramızdaki uzaklığın arttığını gösteriyor.

— *Büyük bir uzaklaşma var mı?*

— Yılda birkaç santimetre. Bu, aşağı yukarı insanda tırnakların büyüme hızına eşittir. Gene de bir yüzyılda bu birkaç metre demektir. Uydumuz sonuç olarak hiçbir koşulda Yerküre'ye sabit bir uzaklıkta kalamaz. Güneş sistemindeki bütün uydular, gezegenlerine yaklaşır ya da uzaklaşırlar. Doğayı yöneten az sayıda fizik yasası vardır. Sonuç olarak Evren'deki bütün nesneler, sayıları pek fazla olmayan, ama kesinlikle çaresi de bulunmayan zorunluluklara boyun eğerler.

— *Zaman zaman, kaideyi bozmayan istisnalar görülmez mi?*

— Hayır. Dilbilgisi ya da toplum kurallarının birkaç istisnası olabilir; fizik kurallarındaysa böyle bir şey yoktur. Bu bakımdan, Evren'deki bütün nesneler son derece belirli sınırlar arasında var olurlar. Bir cismin kütlesi, onun gezegen, yıldız, gökada olup olmamasını belirleyerek, kaderini de çizer. Süper kocaman gezegenler ya da hafif gökadalar olamaz. Bir dağ ya da canlı bir varlık için bile sınırlar söz konusudur; yüksekliği 30 kilometrenin üzerinde dağ, boyu 50 metrenin üzerinde canlı olmaz.

DÜNYANIN EN YÜKSEK DAĞI

— *Neden?*

— Doğa, kolay hareket edebilsinler diye, ayaklarla desteklenen bedenler tasarlamıştır. Ayakların sağlamlığını sağlayan da kemiklerdir. Bir kemiğin dayanıklılığı, kesitinin büyüklüğüyle doğru orantılıdır. Bir canlı varlık şişmanlatıldığında kütlesi de hacmi de küp, kemiklerin dayanıklılığı ise kare oranında artar. Böylece bir an gelir, ister istemez ayaklar artık bedeni taşıyamaz olur ve yaratık yığılıp kalır. Böceklerin bacaklarının çok ince, fillerinkinin çok kalın olmasının

nedeni işte budur. Bacak bedenin iriliğine ulaştığında, boyda da sınıra varılmış demektir. Yeryüzünde asla 500 metrelik insanlar olmayacaktır; fizik kuralları buna izin vermez. Aynı kural dağlarda da geçerlidir: Yükseklikleri 30 kilometreyi aştığı anda kendi ağırlıklarının etkisiyle gezegenin içine gömülürler. Nitekim Güneş sisteminin en yüksek dağı olan ve Mars'ta bulunan Olympus Mons yanardağının yüksekliği 20 kilometreden biraz fazladır.

— *Bu durumda aşina olduğumuz, sağlam, sonsuz sandığımız hiçbir şey, dar fizik sınırlarının dışına çıkamıyor, öyle mi?*

— Bazı açılardan, evet. Yerküre'nin gece manzarasının demirbaşlarından olan Ay'ımız gitgide bizden uzaklaşıyor, öte yandan ayların süresi de uzuyor. Geçmişte Ay'ın Yerküre'nin etrafını dönmesi 20 gün bile sürmüyordu. Şimdi bu süre 28 gündür; gelecekte 35-40 güne yükselecek.

— *Ay, Ay'la ilişkili bir zaman birimi midir?*

— Elbette. Gün, Yerküre'nin kendi etrafında dönüş süresi. Ay ise, Ay'ın Yerküre'nin çevresinde dolanma süresi. Yıl da, Yerküre'nin Güneş'in etrafında dönüş süresi. Ama bu üç süreyi ortak bir ölçüye vuramayız: Bir aydaki gün sayısı tam değildir; bir yıldaki ay sayısı da öyle. İnsanların birtakım yaklaşık hesaplarla ortak bir takvimde anlaşabilmesi tam 4000 yıl sürdü: Ay ayı hâlâ 30 gün etmez, Ay şubatta, temmuzdakinden daha hızlı dönmez, Yerküre Güneş'in çevresinde dönerken, her 4 yılda bir, fazladan bir gün harcamaz...

— *Tekrar bizim Yerküre-Ay çiftine dönelim. Güneş'ten kaynaklanan gelgitler bu çiftin arasını bozmuyor mu?*

— Elbette bozuyor. Yerküre-Ay-Güneş sisteminde bütün dönüş süreleri birbirine eşitlenmeye eğilimlidir. Ama aslında bu imkânsız: Bir ay, bir yıla eşit olamaz...

— *Ne olacak öyleyse?*

— Güneş, Yerküre-Ay arasındaki eşzamanlılığı bozmaya yönelecek. Ama bu kâğıt üzerinde kalacak bir sorun; çünkü o zaman yaşamının son demlerini yaşayan Güneş kıpkırmızı bir dev haline gelmiş olacak; biz de ya onun tarafından yutulacak, ya da kebap olacağız.

— *Bu kötü geleceği unutup konumuza dönelim. Ay, Yerküre'de yaşamın ortaya çıkmasında ne gibi bir rol oynadı?*

— Yerküre'nin dönüş ekseni eğiktir; ayrıca, Jüpiter'in, Satürn'ün, ve güneş sistemindeki bütün cisimlerin rezonans etkisi yüzünden bozulabilir...

— *Size, rezonansın ne olduğunu sorsam şaşırmazsınız herhalde...*

— Hepimiz küçük yeğenimizi salıncakta sallamışızdır. Gelişigüzel iterseniz, salıncağı hızlandıracağınıza yavaşlatmış olursunuz; sonunda salıncak durur. Tersine, hep gerektiği anda iterseniz, çok yavaşça dokunsanız bile salıncak hızlanır. Böylece yeğen korkmuş gibi yapıp kıyameti koparır; biz de bunu çok eğlenceli bulduğumuzdan devam ederiz, salıncak da gitgide daha yükseğe çıkar. Rezonans işte budur: Zayıf, ama hep aynı yönde etkiyen bir hareket; bu sayede bir asker birliği üzerinde yürüdüğü asma köprüyü yıkabilir, ya da havalanmakta olan bir füze patlayabilir. Küçük, ama düzenli eylemler, büyük boyutlu, ama rasgele bir eylemden daha etkilidir her zaman. Güneş sisteminde, Jüpiter, Satürn, Ay, Dünya arasında pek çok rezonans meydana gelir.

— *Bunun önemi ne?*

— Kışla yaz arasındaki sıcaklık farklarını yaratan, Yerküre'nin dönüş eksenindeki eğimdir; eğim arttıkça sıcaklık farkları da artar. Mevsimler arasındaki değişiklikleri belirleyen de bu eğimdir; yoksa bazılarının hâlâ sandığı gibi Güneş'in uzaklığı değil. Nitekim Kuzey Yarıküre, kışın Güneş'e, yazın olduğundan biraz daha yakındır. Ayrıca Arjantin'de kışken, Fransa'da yaz yaşanır.

KOCA AY KÜÇÜLECEK

— *Yerküre'nin dönüş eksenindeki bu eğim, rezonansın etkisiyle değişebilir mi?*

— Hiç kuşkusuz evet. Üstelik önemli sonuçlar da doğu-

rur bu. Eksen 70 ila 80 derece kadar eğik olsaydı, yıl içindeki sıcaklıklarda çok büyük farklar görürdük. Kutuplarda da, ekvatorda da kar yağışı ve cehennem sıcakları birbirini izlerdi. Bu kadar geniş bir iklim yelpazesi, yaşamın gelişmesine elverişli olmazdı.

— *Ay'ın bu konuyla ne ilgisi olduğunu hâlâ anlamış değilim.*

— Ay, Yerküre'nin etrafında dönerken, tıpkı bir düzdöner ya da jiroskop gibi, onun ekseninin eğimini sabitlemiştir; elindeki sırıkla dengesini bulan, o olmazsa düşen bir ip cambazına benzer biraz. Bu açıdan Yerküre'nin yaşama elverişli hale gelmesini, ancak Ay sağlayabilirdi.

— *İlk zamanlarda şimdikinden çok daha iriydi herhalde?*

— Evet. Şimdi Ay'ın görünen çapıyla Güneş'inkinin bir olduğu dönemdeyiz. Bu sayede muhteşem Güneş tutulmaları seyredebiliyoruz. 200 milyon yıldan daha fazla bir süre önce, Ay gökyüzünde çok daha büyük gözüküyordu, Güneş'in kıyılarını ve tutulmalar sırasında gözlemlediğimiz o güzel koronayı tamamen maskeliyordu. Bundan 200 milyon yıl sonra Ay daha uzakta olacak, dolayısıyla gökte daha küçük gözükecek. Güneş'i asla tam olarak maskeleyemeyecek: Elveda Güneş tutulmaları! 5 milyar yıllık bir tarihte, doğru anda Yerküre'de bulunduğumuzu fark etmek hoş bir şey doğrusu.

— *Sanırım artık Ay'a başka bir gözle bakacağım. Hiç kuşku yok ki, yaşamın ortaya çıkışı bir ipe bağlıymış. Bir cambazın üzerinde yürüdüğü ipe.*

— Evet. Yerküre'nin elverişli bir kütleye sahip olması, ne çok büyük ne çok küçük bekâr bir yıldıza tam gereken uzaklıkta yer alması, çevresinde de sadık bir arkadaşının olması gerekti.

SAHNE 3

YERKÜRE SEMALARI

Ayağımız Yerküre'de, başımız yıldızlarda, pencereden bakar gibi, gezegenimizin manzarasını seyrediyoruz. Çevremizi daha iyi tanımamız için önemli bu; takımyıldızları fener sanmamak koşuluyla!

BATIDAN DOĞAN BİR UYDU

— *En eski zamanlardan beri, insanlar gökyüzünde dertlerine sihirli çareler aradılar. Gökyüzü yalnız Yerküre'den mi böyle gözüküyor, yoksa güneş sisteminin her yerinde aynı mı?*

— ANDRÉ BRAHIC: Yıldızlar o kadar uzaktalar ki, Yerküre'den de, Merkür ya da Neptün'den de bakılsa, görünüşleri hiç değişmiyor. Ama, uydular ve Güneş sayesinde her gezegenden gökyüzünün görünüşü farklıdır. Güneş Neptün'den bakıldığında bizdekinden yirmi kat küçük, Merkür'den bakıldığında iki kat büyük gözükür. Zaman içinde Ay'ın bizden uzaklaştığını, bu nedenle de görünen boyutlarının değiştiğini konuşmuştuk. Mars'ın iki uydusu vardır, ama ikisi de küçücüktür. Bunlardan biri olan Phobos, gezegene eşzaman ekseninden daha yakındır. Dolayısıyla, bu uydunun gezegenin etrafını dolanma süresi, gezegenin kendi çevresinde dönme süresinden daha kısadır. Sonuç: Phobos batıdan doğar, doğudan batar. Mars'ta birileri yaşadıysa, karşılarında ters tarafa dönüyor gibi gözüken bir cisim varken, nasıl bir mi-

toloji yaratmış olabileceklerini düşünün hele! Yörüngesi dışmerkezli olan Merkür'ün manzarasındaysa Güneş kimi zaman oldukça küçük gözükecek, gezegenden uzaklaşacak ve çok ağır hareket edecek, bazen de tam tersine büyüyüp gezegene yaklaşacak, gökyüzünü koşar adım aşacaktır.

— *Astrologların çok işine gelirdi bu!*

— Onlar için gökyüzü haritası, tıpkı eldeki çizgiler gibi uydurma bir araçtır. Onlar insanoğlunun akıldışı ihtiyaçlarını doyurmak için her şeyden yararlanmanın bir yolunu bulurlar. Astrologlar, Babillilerin gökyüzünü tepsi gibi sandıkları 4000 yıl öncesinde takılıp kalmışlardır. Fiziksel dünyanın bütün kuvvetleri, cisimlerin kütlelerine ve uzaklıklarına göre değişir; onlarsa, bu kavramlara tamamen yabancıdırlar. Zaten, Yerküre de Venüs gibi hep bulutlarla kaplı olsaydı, büyüye inananlar Romalı falcılar gibi kuşların uçuşuna, ya da hayvanların karaciğerlerine bakarak geleceği görmeye çalışmakla yetinmek zorunda kalırlardı. Gerçekte gökcisimlerinin üzerimizde etkili olduğunu gayet iyi biliyoruz; bu etki dört temel güçle aktarılır. Ay'la olan ilişkimizde gelgitlerin öneminden bahsetmiştik. Bunun yanında, Güneş'in de bir rolü vardır.

ŞEYTAN'IN GÜNEŞİ ALTINDA

— *Peki, o zaman o rolden konuşalım!*

— Güneş'in çok bilinen etkilerini bir kez daha hatırlayalım: Her gün bize ışık ve sıcaklık verir. O olmasa biz de hayatta olmazdık. Güneş fırtınaları kuzey ya da güney kızıllığını yaratır. Canı kapris yapmak istediğinde radyo yayınları bozulur. Güneş rüzgârı sürekli üzerimize doğru eser, ama neyse ki Yerküre'yi saran, astronomların manyetosfer dediği bir kalkan vardır bizi koruyan.

— *Bu rüzgâr nasıl bir şey?*

— Güneş hiç durmadan yüksek enerjili parçacıklar yağdırır üstümüze. Neyse ki Yerküre'nin çevresindeki manyetik

alan bu rüzgârı geri yollar ve bizi korur. Ama uçakta ya da kutup bölgelerinde koruyucu örtü daha zayıftır. Örneğin, Concorde'la çok yolculuk yapanlarda kanser riski artabilir. Kutupların üzerinde düzenli olarak uçan bir ekibin üyeleri, sigara içen biri kadar tehdit altındadır. Uzay adamları gibi, koruyucu kozanın dışına çıktığınız anda tehlike elle tutulur hale gelir; göz ardı edilmeyecek genetik bir risk de doğar: Çocuk sahibi olana kadar çok fazla uçağa binmemek daha iyi olur. Gezegenler arası bir yolculuk sırasında Güneş'te büyük bir patlama olursa, yolcuların üzerine yağan parçacıklar pek çok hücreye zarar verebilir, eğer önlem almamışlarsa hayatları bile tehlikeye girebilir.

— *Bu şimdiye dek hiç kimsenin başına gelmedi mi?*

— Hayır. Ay yolculukları, Güneş'in oldukça sakin olduğu bir zaman sürecinde yapıldı; bu süre içinde tek patlama, iki uçuş arasında meydana geldi. Yerküre-Ay arası gidiş-geliş yalnızca birkaç gün sürer ve program yapılırken en uygun zaman kollanabilir. Mars'a yolculuk çok daha ince bir iştir; çünkü iki-üç yıl süren yol boyunca bir fırtınanın kopması olasılığı yüksektir.

— *Her gezegen Yerküremiz gibi koruyucu bir manyetik alan üretir mi?*

— Ay'da böyle bir şey yoktur. Buna karşılık hemen bütün gezegenler bir manyetosfer üretmişlerdir, ama bu koruyucu tabakalar gezegenden gezegene büyük farklılık gösterir. Gezegenleri tanımak için manyetosferlerini karşılaştırmak da çok iyi bir yöntemdir.

— *Güneş'in başka numaraları da var mı?*

— İklimin evriminde önemli bir role sahiptir. Oldukça kısa süre önce Güneş'in aydınlatma gücünün azalıp çoğalmasıyla meteoroloji arasında bir bağ olduğu görüşü ortaya çıktı. Ama şu an için, söz konusu mekanizmaları anlayabilmekten uzağız.

— *Başka gökcisimleri de bizi etkiliyor mu?*

— Elbette, en güçlü gökcisimleri sürekli olarak Evren'in dört bir yanına yüksek enerjili parçacıklar saçarlar; Yerküre

de daima, astronomların deyimiyle kozmik ışınların bombardımanı altındadır. Parçacık hızlandırıcıların yapılmasından önce fizikçiler, maddenin iç yapısını araştırmak için bu kozmik ışınlardan yararlanırlardı. Günümüzde de tekrar böyle gözlemler yapmaya başladılar. Öte yandan, Yerküre'ye hiç durmadan göktaşı da yağar...

EVREN'İN KUVVETLERİ

— *Dört büyük kuvvetin işlevleri neler?*

— Beşinci, hatta altıncı bir gücün varlığını ortaya koymak için yapılan bütün denemeler başarısızlıkla sonuçlandı. Fiziksel dünyayı yöneten dört temel kuvvet vardır. Karşılıklı güçlü etkileşim ve karşılıklı zayıf etkileşim küçük ölçekte etkilidir; bunlar maddede molekül kohezyonu sağlarlar, ve yıldızların merkezindeki termonükleer tepkimeleri yönetirler; çok kısa mesafede etkiyen kuvvetlerdir. Elektrik akımlarını ve manyetik alanları çekip çeviren elektromanyetik kuvvetler yıldızlarda ve yıldızlar arası ortamda önemli role sahiptirler. Bu ilk üç kuvvetin etkinlik alanı, bizi kesinlikle etkileyemeyecek kadar dardır. Sonuç olarak, çekim kuvvetleri büyük ölçekli temel kuvvetlerdir. Gökcisimlerinin hareketlerini, gelgit olaylarını, Evren'in genişlemesini yönetirler... Ama Yerküre'nin insan üzerindeki çekim etkisi, herhangi bir gökcisminin kinden çok daha güçlüdür. Yerçekimi, bizi yeryüzünde tutar. Bize en yakın gökcismi olan Ay, gelgit olaylarını yaratır. Öteki gezegenlerin çekim etkisiyse o kadar zayıftır ki, ölçülmesi bile zordur.

— *Bu durumda, gökcisimlerinin bizim üzerimizde hiçbir etkisi yok.*

— Var! Gökyüzü sürekli bulutlarla kaplı olsa, insanın tarihi çok başka olurdu. Gökyüzü yalnızca şairlere ve bilim adamlarına ilham vermekle kalmamış, bunun yanında her zaman için araştırmacılara, yeni sınırların peşine düşen insanlara yol göstermiştir. Aristoteles'in, Demokritos'un, Yunan akılcı düşünce okulunun doğmasının temelinde gökyüzünün

gözlemlenmesi yatar. Newton, kanunlarını Ay'ın sayesinde buldu...

— *Güneşsiz bir kubbenin altında yaşam olabilir miydi?*

— Elbette. Sık sık görüldüğü gibi, şöyle bir gökyüzüne sahip olmak mümkündür: Kapalı, ama gene de ışıklı. Güneş yerli yerinde durabilir, yararlı etkilerinden bizi mahrum bırakmayabilir, ama biz onu doğrudan göremeyebilirdik.

— *Doğru; Ay bu kadar yakın olmasa, belki de uzayda yolculuk yapmayı hayal bile edemezdik.*

— Ayrıca geçmişte insanların bir yerden bir yere, yıldızlar sayesinde gittiğini unutmayın. Göçebelere çöllerde, denizcilere okyanuslarda yol gösterenler onlardı. İnsanlık tarihinde gökyüzü gözlemlerinin çok temel bir rolü vardır; eski kabilelerden modern dünyaya dek, insanların felsefi inançlarına, dünyaya bakışlarına kaynaklık etmişlerdir. Günümüzde gezegenler üzerinde çalışmak, araştırmalar yapmak, Yerküre'yi daha iyi tanımak için yararlı bir yöntemdir.

— *Başka gezegenleri inceleyerek doğrudan Yerküre hakkında ne gibi bilgiler edinebiliriz?*

— Kısa süre önce yeni bir bilim dalı doğdu: Karşılaştırmalı gezegenbilim. Yerküre'yi ısıtmamız, soğutmamız ya da bileşimini değiştirip incelememiz mümkün olmadığı için onu daha sıcak, daha soğuk, daha küçük ya da daha büyük gezegenlerle karşılaştırıyoruz... İklim araştırmalarından yanardağ araştırmalarına, meteorolojiye kadar uzanan çok çeşitli uygulamalar var. Yerküre'deki yaşamımızı nelerin tehdit edebileceğini görebilsek, var olmamızı sağlayan hassas dengeleri kavrayabilsek, ozondaki deliğin ya da sera etkisinin iyi yönde mi, yoksa kötü yönde mi gelişeceğini bilebilsek çok iyi olurdu.

— *İyi ama, nasıl olur da başka gezegenler Yerküre'deki sera etkisi hakkında bize fikir verebilir?*

— Venüs'te iş zıvanadan çıkmış durumda. Yüzeydeki her şey, yüz atmosferlik bir basıncın etkisiyle paramparça olmuş; sıcaklık da 400 derecenin üstünde... Koskoca bir fırın! Mars'ta ise sera etkisi durdu; en düşük sıcaklıklar, eksi 143 derecenin altında... Yerküre, bu iki gezegenin arasında yer

alıyor. İki uç durumu incelemek, en önemli fiziksel parametrelerin rolünü anlamamıza çok yardımcı oluyor. Sera etkisi gereklidir; o olmasa Yerküre buz gibi olurdu. Ama fazla güçlenirse, yaşam ortadan kalkabilir. Şu anda var olan çok ince ayarın bozulmayacağını umuyoruz; bozulmaya yol açabilecek nedenleri bilebilsek çok iyi olur.

MARS'TA YAŞAM

— *Mars soğumadan önce, yaşama beşiklik etmiş olabilir mi?*

— Belki. Bunu anlayabilmek için jeologların oraya gidip toprakta fosil olup olmadığına bakması gerekir. Günümüzde Mars'ta ısı ve basınç yüzünden günler boyunca sıvı halde su bulunamayabiliyor; su ancak buz ya da buhar halinde var olabiliyor. Yüzeydeki kurumuş nehir yataklarının incelenmesi ve yaşlarının ölçülmesiyle, yaklaşık 3 milyar yıl önce, Yerküre'de yaşamın ortaya çıktığı sırada Mars'ta sıvı halde suyun bulunduğu anlaşıldı. Bu da gösteriyor ki, Mars'ın atmosferi o zamandan bu yana değişmiştir.

— *Bu durumda o zaman hava, yaşamın ortaya çıkabileceği kadar sıcak mıydı?*

— Evet. O sırada sıcaklık ve basınç, suyun sıvı halde akmasına izin veriyordu.

— *Bu dönem uzun sürdü mü?*

— Birtakım nehirlerin gayet belirgin, menderesli yataklar kazmasına yetecek kadar uzun.

— *Bütün bunların sona ermesinin nedeni, gezegenin gerektiği kadar iri olmayışı mı?*

— Neler olup bittiğini keşke bilebilsek; ama şu açık ki Mars'ın kütlesinin oldukça zayıf olması yüzünden atomlar sürekli buharlaşıyorlardı. Mars'ta bir zamanlar hayat olup olmadığını anlamak, olduysa neden ortadan kalktığını incelemek, kendi tarihimiz hakkında çok yararlı bilgiler edinmemizi sağlayabilir.

— *Çok kısa süre önce, kırmızı gezegenden gelen, üzerinde hayat izi taşıyan meteorların keşfedildiğini duyduk.*

— Oh, bu konuya çok dikkatli yaklaşmak gerek! Oldukça iri bir cisim son hız Mars'ın ya da Ay'ın yüzeyine çarptığında orada koca bir çukur açar; ayrıca o kadar büyük bir patlamaya yol açar ki, birtakım taşlar gezegenin çekim kuvvetinden kurtulup Güneş'in çevresinde dönmeye başlayabilirler. Bunlar daha sonra Güneş sistemindeki öteki cisimlerle karşılıklı çekim etkisine girerek birtakım yörüngelere oturabilirler; öyle ki günün birinde içlerinden biri Yerküre'ye de çarpabilir. Yani, birtakım taşlar doğrudan Mars'tan, Ay'dan ya da başka bir yerden gelmiş olabilirler. Bir çarpışmanın ardından Mars'tan geldiği kesin gibi olan yirmi – otuz kadar taş var; ama ilkel yaşam formları taşıdıklarını ilân etmek için henüz erken. Ancak gidip yerinde araştırma yaptığımız zaman bu soruya açık bir yanıt verebiliriz. Mars'ta yaşam gerçekten filizlendiyse, bu, daha önce tanımladığımız koşullar bir araya geldiği anda yaşamın gelişebileceği, ayrıca büyük olasılıkla Evren'de çok yaygın olduğu anlamına gelir. Tersine, Mars'ta hayat hiç olmadıysa, bir gezegende canlıların nasıl ortaya çıktığını anlamamızı sağlayabilecek önemli bir halkayı gözden kaçırıp kaçırmadığımıza bakabiliriz.

— *Yerküre'ye çok meteor yağıyor mu?*

— Her yıl, Yerküre'ye on binlerce ton malzeme yağar. Ama bunların büyük bir bölümü, atmosfere girerken parçalanıp gider. Müzeler, yüzyıllardır dünyanın dört bir yanından toplanmış binlerce meteorla doludur. Buna karşılık, gökten yağan tozlar çıplak gözle yerdeki tozlardan kesinlikle ayırt edilemezler; hatta sonunda kendilerini bir elektrikli süpürgenin torbasında bile bulabilirler. Bu tozlardan toplamak isteyen bilim adamları, kutup bölgelerindeki göllerin dibine bakmak zorundadırlar; orada buz tozları korur ve rüzgârla dağılmalarını önler.

— *Meteorlar ne işimize yarar?*

— Pek çoğu Yerküre'nin doğduğu zamanla yaşıttır; bu nedenle başlangıçtaki koşulları yeniden kurmamıza ve geç-

mişimizi daha iyi anlamamıza çok yardımcı olurlar. Hatta endüstri tarihimize bile etkileri olmuştur; demir madeninin topraktan çıkarılarak işlenmesinden çok önce, insanoğlu ürettiği ilk demir eşyalarda, örneğin bazı prenslerin silâhlarında hammadde olarak demir içeren meteorları kullanmıştır.

UZAYLI GÖKTAŞLARI

— *Geçmişte, Ay'ın yüzeyindeki kocaman çukurları açanlar kadar iri göktaşlarının bize de çarptığı oldu mu?*

— Elbette. İlk bir milyar yıl boyunca, Güneş sistemindeki meteor bombardımanı bugünkünden çok daha yoğundu. O zamandan bu yana bu daha ağır bir tempoda sürüyor. Yerküre, Ay ya da güneş sistemindeki herhangi bir cisim kadar bombardımana uğradı. Ama jeolojik etkinlikler ve atmosferin aşındırması, yara izlerini çabucak siliyor. Yeryüzünde yaklaşık beş yüz büyük krater tespit edilmiştir ve her yıl yenileri keşfedilmektedir.

— *Neden büyük meteorlar Roche sınırını aşarken paramparça olmuyorlar?*

— Bunun için en az 200 ila 300 kilometre çapında olmaları gerek. 1000 kilogramlık bir cismin Yerküre'ye yaklaştığını varsayalım. Yerküre'ye uzaklığı 18 bin kilometrenin altına düştüğünde parçalanır. Patlamaz; ağır ağır çatlar, bölünür. O kadar hızlı gelmektedir ki –her saniye kilometrelerce yol alır– parçaların adamakıllı birbirinden ayrılmasına bile fırsat kalmaz. Yeryüzündeki bazı çok aşınmış çarpma çukurlarının çapı 100 kilometreyi aşar! Arizona Çölü'nü arşınlayan turistlerin yakından tanıdığı Meteor Çukuru'nun çapı 1,2 kilometredir. Ne var ki çukuru yaratan cismin boyu, on-yirmi metre kadardı. Bir kraterin çapı, çarpma ânında açığa çıkan enerjiye bağlıdır.

— *Peki, enerji hıza mı bağlıdır?*

— Evet. Hız kabaca saniyede 5 ila 70 kilometre arasın-

da değişir ve enerji konusunda meteorun boyu kadar önemli bir rol oynar.

— *Büyük bir meteorun bize çarpması tehlikesi bugün hâlâ var mı?*

— Elbette. Ama şu an kaygılanmak için hiçbir sebep yok. Büyük bir meteorun bize çarpma olasılığını hesaplarken, milyon yıl ve milyon metrekare temelinde düşünmek gerekir. Bir gün, yeni bir dev göktaşı Yeryüzü'ne çarpacak, ama tarihi itibarıyla olay bizim açımızdan pek önem taşımayacak.

— *Neden?*

— Gelecekte insanoğlu kuşkusuz böylesi felaketlerin çaresini bulabilecek. Nitekim Sovyetler Birliği'nin çökmesiyle karşılarında düşman kalmayan Amerikan subayları, Yerküre'ye çarpabilecek gökcisimlerini erkenden tespit etmeyi önerdiler.

— *İyi ama, korkunç bir çarpışmadan kendimizi nasıl koruyacağız?*

— Yeryüzüne birkaç düzine dev teleskop yerleştirmeye dayanan son derece ciddi bir program var; teleskoplar gökyüzünü sürekli olarak, her yönde gözleyecek, bütün olası tehlikeleri kaydedecekler. Gerekli hesapları ve gözlemleri yapmak koşuluyla, otuz kırk yıl içinde, önümüzdeki binyıllar boyunca toprağımıza çarpacak bütün cisimlerin bir listesini çıkarmış olacağız. Yerküre'deki yaşamı sona erdirebilecek bir göktaşı tespit edilirse, harekete geçmemiz, yani gerektiği anda cismi yolundan saptırmamızı sağlayacak bir teknoloji geliştirmemiz için önümüzde zaman kalmış olacak. İnsanoğlu belki de dinozorların ölmesini, böylece meydanın boşalmasını sağlayan son derece şiddetli bir çarpışma sayesinde ortaya çıktı; gene de aynı hikâyenin tekrar yaşanmasını kesinlikle istemeyiz.

SAMANYOLLARININ ÇARPIŞMASI

— *Oysa yıldızlı bir gökten daha huzurlu bir şey yok gibi. Gökyüzünde bunca tehdidin gizlendiğine inanmak öyle zor ki...*

— Çünkü insanın ömrü, dünyanın ömrünün yanında kısacık kalıyor! Gülün ömrü nasıl bahçıvanın ölümüne tanık olmaya yetmezse, insan da öyle, çocukluğundan yetişkinliğine dek, gözünü açtığında hep aynı gökyüzünü görür. Aslında son derece şiddetli ve hareketli olduğu halde, evren değişmez gibi geliyor insana. Büyük yanardağ patlamaları sırasında havaya dev gaz bulutları fırlatılıyor, yıldızlar patlıyor, gökcisimleri, gökadalar birbiriyle çarpışıyor. Örneğin Samanyolu şu anda, Güney Yarıküre'den gayet güzel görülebilen Büyük Magellan Bulutu'nu yutmakta. İkisi birkaç yüz milyon yıl içinde karşı karşıya gelecekler, gökadamızdaki bütün yıldızlar da bundan etkilenecek.

— *Yani Samanyolu gelecekte daha mı dolgun gözükecek?*

— Daha da iyisi: 2 milyar yıl içinde, gökyüzünü iki Samanyolu birden süsleyecek!

— *İki Samanyolu mu?*

— Evet. Yakın komşularımızdan olan Andromeda da gökadamızla çarpışacak. Andromeda'nın bugün gördüğümüz ışığı, tam 2 milyon yıl önce, insan Yerküre'de yeni yeni boy gösterirken yola çıkmıştı.

— *O da mı! İyi ama, Evren sürekli genişlerken, bütün nesneler birbirinden uzaklaşırken nasıl olur da iki gökada çarpışabilir?*

— Genişleme, çok daha büyük bir ölçekte geçerli. Bu genel hareket, birtakım yerel hareketlerin meydana gelmesini engellemez. Evren'in genişlemekte olmasına rağmen, seçtiğim kadına yaklaşabilirim; tabii eğer o da isterse. Aynı şekilde Andromeda'yla Samanyolu'nun buluşması da, Evren ölçeğinde bakıldığında bölgesel bir harekettir.

— *Bu bir felakete yol açabilir mi?*

— Kesinlikle hayır. Gökadalarda pek çok boşluk vardır. Yıldızlar arasındaki uzaklık ışıkyılıyla ölçülebilir ancak. İki galaksi, yıldızları birbirine değmeksizin iç içe geçebilir; yalnızca gaz bulutları çarpışır.

UMUTSUZCA YERKÜRE'Yİ ARIYORUM...

— *Bu karmaşanın sonucunda yeni yıldızlar doğabilir mi?*

— Kesinlikle! Manzara değişecek: İki Samanyolu ortaya çıkınca, genç yıldızlardan oluşan harlı bir ateş gökyüzünü aydınlatacak!. Gökada çarpışmaları Evren'de çok yaygındır. Gökadalar hiç durmadan bozulur, bu da yeni dünyaların ortaya çıkmasına fırsat yaratır.

— *Bazı yıldızların belki gezegenleri de olur...*

— ... belki... içlerinde Yerküre'ye benzeyeni de çıkar mı acaba? Milyar kere milyar tane gökada, her gökadada binlerce milyar yıldız vardır. Bu kadar yıldız içinde, küçük dünyamıza benzeyen birtakım gezegenlerin olmaması şaşırtıcı olur. Bir yerlerde, bizimkine benzeyen sistemlerin var olduğu düşüncesi kafama yatıyor. Ama Evren'de çeşitlilik hâkim. Birbirinden son derece farklı, sonsuz dünyalar da olmalı. Bugün keşfettiğimiz gezegenlerin, güneş sistemimizdekilerle hiç ilgisi yok. Bir yıldızın yakınında şişko bir Jüpiter görünce, acaba bir yıldız çiftiyle mi karşı karşıyayız, diye düşünüyor insan; sanki ikisi de yıldız, ama biri nükleer ateşi yakabilmesi için gereken kritik kütleye ulaşamamış. Böyle bir durumda, ne olursa olsun, yıldıza hayatın ortaya çıkması için gereken uzaklıkta, bir Yerküre var olamaz. Benzerlerimizi arayacağımız yer orası değil.

— *Neden?*

— Bir "Yerküre"yle yıldızı arasındaki mesafe doğru olsa bile, yakındaki dev gezegen yüzünden çekim kuvvetlerinde öyle güçlü karışıklıklar yaşanırdı ki, Yerküre başka yere giderdi. Gözlerimizi başka bir yöne çevirmemiz daha iyi...

— *O zaman nereye bakalım?*

— Herkül yıldız kümesinde yaşayan biri yaşamaya elverişli bir gezegen aramaya kalksa, Samanyolu'nun dış tarafında bulunan Güneş'e bakmak aklına gelmez; gidip özellikle gökadanın daha zengin, daha parlak olan iç taraflarını araştırır. Araştırma heyeti eskaza güneş sistemine yaklaşsa, öncelikle birtakım ilginç nesneler tespit ederdi: Parlak Güneş,

hatta Jüpiter; Satürn, Neptün; bunların hepsi iridir, güzel halkaları vardır, uydularla çevrilmişlerdir, hidrojene, helyuma sahiptirler... Kısacası böylesi özellikleri olan bu gökcisimleri, yıldızın daha yakınında dönüp duran ufak kalıntılardan çok daha önce dikkat çekerdi; üstelik bu kalıntılar o kadar küçüktür ki ne hidrojen tutabilirler, ne halkaları, ne de tam bir uydu sistemleri vardır. Ne var ki hazine, bunlardan birinde, Güneş'ten sonraki üçüncü cisimdedir: İnce, konuksever bir atmosfer tabakası ve sıvı halde su...

PERDE 2

YAŞAYAN GEZEGEN

SAHNE 1

ZORLU YILLAR

İlk çağlarda, kesinlikle dünyada rahat huzur yoktu. Yerküre lav dereleri kusuyor, okyanuslar açıp kapatıyor, karalar üretiyordu. Bu cehennemin içinde doğmayı başaran yaşam, çoğunlukla heba olup gidiyor.

ALEV ALEV BİR OKYANUS

— *Demek Yerküre 4,5 milyar yıl önce dünyaya geldi. Ya deniz?*

— PAUL TAPPONNIER: Okyanus büyük olasılıkla çok çabuk ortaya çıktı.

— *Bunu nereden biliyoruz?*

— Kuyumcuların elmas niyetine kullandığı, yok edilmesi hemen hemen olanaksız kristaller olan zirkonlardan. Zirkonlar, soğan gibi kat kat tabakalardan oluşurlar; bu minerallerin ortasında da ilk kristalleştikleri zamana ait anılar bulunur. Tabakaları tarihlendirebiliyoruz da; çünkü içlerinde çok ağır parçalanan radyoaktif uranyum bulunur. Aralarında çok yaşlı olanlar var: Avustralya'da, 4,3 milyar yıllık örnekler ele geçirildi. Öte yandan, jeokimyasal özellikleri analiz edilirken bunların ilk ortaya çıktıktan sonra sulu bir ortama geçtikleri, ardından tekrar yerin derinliklerine daldıkları, son olarak da yeniden yüzeye çıktıkları anlaşıldı. Bu da demektir ki, gezegenin doğumunun üzerinden 300 milyon yıl

geçmeden bir okyanus ortaya çıkmıştı bile; okyanusun içinde yer alan, daha sonra da mantoya geçen zirkonlarda okyanusun imzası, yani oksijenin iki özel biçimi arasındaki bağ hâlâ duruyor.

— *Acaba ilk okyanus, gezegeni olduğu gibi kaplıyor muydu?*

— Bilmiyoruz. Büyük olasılıkla hemen tümünü kaplıyordu; büyük kıtalar bu öykünün içinde çok sonra doğacak.

— *Su nereden geliyordu?*

— Bu konuda da hiçbir şeyden emin değiliz. Suyun büyük bölümü açıkça dış kaynaklıydı. Gezegen gazını attıkça atmosferde önemli miktarda su buharı toplanıyordu. Öte yandan, o zamanlar stratosfere de pek çok kuyruklu yıldız ve buz topu yağıyordu.

— *Buzlu su...*

— Çok çabuk ısındı o su! Hem de daha okyanusa ulaşmadan; kaldı ki okyanus da büyük olasılıkla sıcaktı. Çok sıcak.

— *Bugünkü tropikal denizler gibi mi?*

— Onlardan çok daha sıcak! İlk başta var olan deniz, atmosfer basıncı bugünkünden daha yüksek olmasa her an kaynayabilecek durumdaydı kuşkusuz. Daha sonra yüz milyonlarca yıl içinde yavaş yavaş soğudu.

— *Altında ne vardı?*

— Oluşum halindeki yerkabuğu. Sıcak sütün üstündeki kaymak gibi. Demir ve nikel gibi en ağır elementler toprağın en derin yerine inip, eriyerek çekirdeği oluşturdular. Demir silikat ve magnezyum silikat, çekirdeğin çevresinde mantoyu oluşturdular; mantonun temel öğesine "olivin" adı verilmiştir. Olivin peridotlar ailesinden, yeşil, saydam, sevimli bir mücevherdir. Yarı değerli bir taş işte. Etna'da, Vezüv'de, Hawaii'de, ya da aktif yanardağların pek çoğunda hayranlık uyandıracak kadar güzel, küçük, yeşil kristal yumruları bulabilirsiniz. Bunlar, mantonun parçalarıdır.

DÜNYANIN EN BÜYÜK MÜCEVHERİ

— *Değerli Yerküremiz bir mücevher yani! Neden bugün hâlâ kendi parçalarını kusuyor? Yanardağlar neden patlıyor?*

— Manto çok sıcaktır: 2900 kilometre derinlikte 5000 dereceyi bulur. Eskiden sıcaklık daha da yüksekti. Ne var ki yeryüzü soğuktur; olsa olsa yirmi-otuz derece. Yani, aşağısıyla yukarısı arasında binlerce derecelik fark var. Böyle bir durumda, madde yer değiştirdikçe sıcaklığı da değişir. Başka bir deyişle, sıcak, yani hafif olan yükselir; soğuk ve daha ağır olan aşağı iner. Fırtınalı bir yaz günü, gökyüzünde yükselirken gördüğünüz kümülo-nimbus, sıcak ve nemli havadır aslında; çevresindeki soğuk havadan daha hafiftir; iyice yükseldiğinde mantar gibi açılacaktır. Bütün akışkanlarda bilinen bir olaydır bu; adına konveksiyon denir.

— *Güzelim olivinin bir sıvı olduğunu mu söylemek istiyorsunuz?*

— Hayır, su gibi değildir sonuçta. Toprağın derinliklerine dalındığında, yalnızca ergimiş demir ve nikelden oluşan çekirdeğin dış bölümünde gerçek sıvıya rastlanır. Yerküre'nin tam merkezinde, çekirdek katıdır; kavurucu sıcaklığa rağmen, korkunç basıncın etkisiyle demir kristalleşmiştir. Mantoysa ne sıvıdır, ne de katı; hamur gibidir. Ağır ağır akar; bu açıdan kızdırılmış demire benzer biraz; ve bu madde, konveksiyon hareketleri nedeniyle sürekli hareket halindedir.

— *Bu durumda sıcak madde yükselir, soğur, yeniden dibe çöker, yeniden ısınır, yeniden yükselir...*

— Evet. Bu bir termik makinedir. Az önce sözünü ettiğimiz zamanda, yani gezegenin doğmasından yaklaşık 200 milyon yıl sonra bu makine çok canlıydı; iç sıcaklıklar korkunçtu, konveksiyon mekanizmaları çok etkindi.

— *Yanardağ etkinliği de bugüne göre çok daha yoğun muydu?*

— Kesinlikle öyle. Bugün okyanus diplerinde gözlemle-

diğimiz türden olaylar oluyordu herhalde: İnanılmaz miktarlarda madde püskürten, denizaltı yanardağ zincirleri... Binlerce kilometreye yayılacak kadar lav fışkırtan çatlaklar, açık yarıklar vardı mutlaka. Ve böylece, aşağı yukarı bugünkü okyanusal kabuğa benzeyen bir kabuk oluşuyordu; ama bugünkünden çok daha yüksek bir hızla, çünkü konveksiyonun çok güçlü olması nedeniyle yanardağ etkinliği de son derece dinamikti.

— *Okyanusal kabuk nedir?*

— Deniz altındaki sıradağlar, büyük yanardağ zincirleri sürekli olarak birtakım maddeler kusarlar. Manto yükselirken eriyerek kara lavları, bazaltı doğurur. Bunlar dipte akar ve yeniden soğuyarak okyanus tabanını oluşturur. Bu da sert, ama kalınlığı topu topu 6 ila 10 kilometre olan ince bir kabuğun yalnızca üst bölümüdür.

TİBET'TE KATI YUMURTA

— *Durun biraz... Sıcaklık düştüğü halde, manto yükselirken nasıl eriyebilir?*

— Yüzeye doğru çıktıkça sıcaklık düşer, doğru; ama basınç da düşer. Maddenin katı haliyle sıvı hali arasındaki fiziksel sınır, iki faktöre bağlıdır. Tıpkı kaynama gibi. Tibet'e çıkacak olursanız, katı yumurta yapmakta zorluk çekersiniz: 5000 metrede basınç kesinlikle deniz seviyesinde olduğundan daha düşüktür, ve su 70 derece civarında kaynar!

— *Ya kıtalar? Onlar da daha kalın bir okyanusal kabuktan mı oluşuyorlar?*

— Kesinlikle hayır! Kıtalar, ilk okyanusal kabuğun yeniden mantonun içine gömülmesi, sonra da tekrar yüzeye çıkmasıyla oluşmuştur. Yani karalar ancak ikinci bir zaman dilimi içinde ortaya çıkmış olabilirler. Sırt çizgisinden uzaklaştıkça hem kabuk, hem de altında bulunan mantonun ilk yüz kilometresi katı bir levha oluşturuyordu: Okyanusal levha. O da soğudukça ağırlaşıyordu. Yeniden, kendisini yutmakta

olan akışkan mantoya dönebilir, onun içine gömülebilirdi. Ama o sırada kabuk değişmişti. Birkaç yüz milyon yıl boyunca hep suyla ilişkisi olmuştu; o zamanlar son derece asitli olan su ise pek çok şeyin yanında, kimyasal bileşimini de değiştirmişti. Dışarı püskürtülmüş olandan farklı bir madde derinliklere dalıyor, orada yeniden korkunç bir sıcaklık ve basınçla karşılaşıyordu. Böylece mantoyu değiştiren bir tür fabrika, çalışmaya koyuldu.

— *Şu sizin fabrika ne üretiyordu?*

— Magma, ve granodiyorit türünden beyaz lavlar; ayrıca bizim şu ünlü zirkonları da içinde barındıran granitler, riyolitler... Okyanusal kabuktaki bazaltlar suya batmış, yeniden mantonun içinde erimiş, sonunda yanardağlar tarafından yeniden püskürtülmüş, sonunda daha akışkansı lavlara dönüşerek kesinlikle daha hafif kayalar meydana getirmişlerdi; ardından kıtasal kabuğu oluşturmaya başladılar. Bu kabuk, ortalama 35 kilometreyi bulduğuna göre okyanusunkinden daha kalındı, ama gene de oynaktı.

— *Granitin hafif olduğunu mu söylemek istiyorsunuz?*

— Bazaltla karşılaştırıldığında, evet. Ve bu mekanizma, hafif elementlerden yana gitgide zenginleşen lavlar üretiyordu.

— *Yani, gitgide daha ağır elementler üreten yıldızların tam tersini yapıyordu.*

— Evet. Kıtalar, Yerküre'nin üzerinde biriken köpükten başka bir şey değildir.

— *Bütün bu olaylar günümüzde hâlâ sürüyor mu?*

— Elbette!

— *Demek oluyor ki, yerkabuğu, kısacası yumurta kabuğu, farklı yoğunluk ve kalınlıktaki iki ayrı malzemeden oluşuyor.*

— Bu, Yerküre'nin ayırt edici bir özelliğidir: Ortalama yükseklikleri birbirinden çok farklı iki büyük alan, iki düzlük. Karaların yüzeyi, aşağı yukarı deniz seviyesindedir; deniz dibi ovaları ise yaklaşık 5000 metre derinliktedir. Kıtasal ve okyanusal kabuk da işte bunlardır.

BAŞLANGIÇTA HADES'İN BAHÇESİ VARDI

— *Bu su evreninde karalar nasıl ortaya çıktı?*

— İlk başta tespih taneleri gibi adalar su yüzünde belirmiş olmalı; tıpkı bugün hâlâ gördüklerimiz gibi: Karayipler, Aleut Adaları, Mariana Adaları, vb.. Okyanus yüzeyini aşan çok büyük yanardağlar vardı. Bunlar şiddetli yağmurlar ve rüzgârlar yüzünden yoğun bir aşınmaya uğradılar. Böylece, adaların yüzeyinde yavaş yavaş çoğalan tabakalar yığıldı.

— *Dante'lik bir manzaraydı herhalde.*

— Sonuç olarak, denize özgü bir yanardağ cehennemi söz konusuydu; muhteşem enerjiler devreye girmişti. Son derece sıcak olan kürenin içinden doğan enerjilerdi bunlar; ama dışarıdan gelenler de vardı: Fokur fokur kaynayan bir okyanus, insanın hayaline sığmayacak akıntılarla çalkalanıyordu. Ayrıca atmosfer kavurucu ve yoğundu, sürekli burgaçlanıyordu. Atmosfer büyük oranda azottan oluşuyordu, ve bütün o yanardağların yüzünden, içinde bugünkünden çok daha fazla karbon gazı bulunuyordu. Yanardağlar gaz püskürttüğünde ortaya çıkan belli başlı ürünler karbon gazı ve sudur. Ama bunun yanında metan ve amonyak da vardı. Bu ortamda hiçbir şey sabit değildi. Büyük olasılıkla coğrafya korkunç bir hızla değişiyordu. Zaten 4 milyar yıl önce yaşanmış olan bu korkunç zamanlara, Yunan Cehennem Tanrısı Hades'ten esinlenilerek "Hades'in Çağı" adı verildi.

— *Demek ki Yeryüzü cennetini görmeye daha var. Olsun: Harika mavi gezegenimiz bu düşmanca dünyanın bağrından doğacak.*

— Sıvı haldeki suyun sayesinde! Bildiğimiz bütün gezegenlerden farklı olarak su, Yerküre'de varlığını korudu. André Brahic'in anlattığı gibi, Venüs suyunu yitirdi; Mars'ta hâlâ var, ama katı halde. Gezegenin boyutu da önemli: Mars çok küçük olduğundan ne atmosferini tutabildi, ne de içindeki sıcaklığı yeteri kadar koruyabildi. Şiddete doğan Yerküremiz ise, sonunda olağanüstü bir dengeye kavuştu; bir mo-

tor, durağan bir okyanus gibi tıkır tıkır çalışan bir mantosu vardır.... Bunun nedeni de Yerküre'nin doğru kütleye sahip olması, Güneş'e doğru uzaklıkta bulunmasıdır. Gezegenimizi bugünkü haline getiren, bir dizi şaşırtıcı tesadüftür. Güneş biraz daha fazla ışık verse sera etkisi çığrından çıkıp dünyamızı bir fırına dönüştürebilirdi. Yerküremiz biraz daha küçük, ya da Güneş'e azıcık daha uzak olsa, bir buz topu olup çıkabilirdi. Çok kısa zaman önce, geçmişte bunun da yaşandığını öğrendik.

— *Yerküre hiç durmadan soğuyor mu?*

— Ağır ağır, ama kararlı bir biçimde. Günümüzde bazalt yaklaşık 1100 derecelik bir sıcaklıkla yeryüzüne gelir. Ama eski zamanlarda, bugün artık görülmeyen tuhaf lavlara da rastlanıyordu. On milyonlarca yıldır artık üretilmeyen bu lavlar aslında erimiş olivinden başka bir şey değildi, adlarına da *komateit* denirdi. Olivin 1700 derecede erimeye başlar. Bu da gösteriyor ki, derinlerde sıcaklık, bugünküne göre kesinlikle daha yüksekti.

— *Hikâyemize dönelim. Okyanuslar oluştu, ada dizileri halinde kara embriyoları ortaya çıktı; peki kıtalar nasıl gelişti?*

— Bu noktada yaşamdan da bahsetmek gerekecek...

TUHAF YAŞAMLAR

— *Yaşamın daha o zamandan ortaya çıktığını söylemeyeceksiniz herhalde!*

— O kadar kesin konuşmayacağım. Elimizde hiçbir kesin bilgi yok. Bu hiperaktif gezegende, çeşitli gazlardan oluşan bu yumakta, o sıcaklık, o bitmeyen enerji sayesinde yaşamın üremesini sağlayacak kimyasal çorba, büyük olasılıkla daha ilk dakikalarda ortaya çıkmıştır. Nitekim, bugün anladığımız anlamda ne fotosenteze ne de soluk almaya ihtiyaç duyan ilkel canlıların var olduğunu biliyorsunuz. 4000 metre derinlikte, Pasifik Okyanusu'nun dibinde, okyanusor-

tası sırt ekseninde hâlâ çok tuhaf hayvanlar vardır. Bu deniz altı dünyası, son otuz yılın en heyecan verici keşiflerinden biridir. Sıcak su kaynakları tarafından beslenen, güneş ışığının ulaşamadığı kükürtlü sularda kükürt yiyen bakteriler yaşıyor. Kimi yumuşakçalar bu bakterilerle beslenirler. Bunlar, boyları onlarca santimetreyi bulan, göz alıcı renklerdeki kurtlardır. Bulundukları ortamdaki deniz kabuklularının, yengeç türlerinin, hatta kör, etobur balıkların en sevdiği yiyeceklerdir.

— *Bunlar günümüze daha yakın bir zamanda ortaya çıkmış, ekolojik bir sığınak bulup ortama uyum sağlamayı başarmış canlı formları olamaz mı?*

— Söylediğiniz, balıklar ve gelişmiş organizmalar için geçerli kuşkusuz. Son derece sıcak, sağlıksız, oksijensiz, uç ortamlarda yaşayan bakteriler konusunda her tür olasılıktan bahsedilebilir elbette; ama ilk baştan beri aynı yerde olmaları olasılığı da oldukça büyük; çünkü ilk okyanusun neye benzediğini, tam da şimdiki okyanusların dibinde bulunan yanardağ zincirlerine bakarak az da olsa anlayabiliriz. Yaşam fabrikasının burada işe başlayıp, sonradan biraz daha soğuk, biraz daha huzurlu yuvalara; ünlü mavi yosunun fotosentezi icat ettiği noktaya kayarak gelişmiş olması, imkânsız değildir.

— *Yaşama dair ilk izler ne zamana ait?*

— Bu konuda elimizde tek bir kesin bilgi var: 3,5 milyar yıl önce mavi yosunlar vardı. Ama acaba ne kadar zamandan beri?

İSKELET DAĞLARI

— *Bu da, birkaç yüz milyon yıl gibi kısa bir sürede Yerküre'nin ciddi boyutlarda soğuduğunu gösteriyor.*

— Gerçekten de, iç sıcaklık çoktan düşmüştü. Dış sıcaklık, yani hava sıcaklığı sera etkisine göre değişir; bu nedenle özellikle karbon gazı ve metan oranına bağlıdır. Bu gazlar güneş ışığını geçirir, ama Yerküre'den gelen kızılötesi

ışıkları tutarlar. Ne var ki, atmosferdeki CO_2 oranını düşüren en etkili süreç, yaşamdır.

— *Kalsiyum da karbon gazını büyük ölçüde sınırlamaz mı?*

— Evet, elbette sınırlar. Ama genç kalkerlerin çoğu, yani kalsiyum karbonattan oluşmuş kayalar biyolojik kökenlidir.

— *Etretat falezlerini yaratan canlılar mı?*

— Söz konusu falezler tamamen iskeletlerden oluşurlar. Bunlara *kokolit* denir; kristalleşmenin temelinde milyarlarca küçük hayvancığın iskeleti vardır. Aynı durum, Alpler'deki, Vercors'daki ünlü kalkerli falezler için de geçerlidir. Beyaz kalkerler, mercan resiflerinin artıklarıdır. Mercanlar kireçli bir iskelet üretip, bununla muhteşem şekiller meydana getirirler. Karbon gazıyla kalsiyumu karıştırmak, pek çok hayvanın kendine barınak inşa etmek için bulduğu kolay ve etkili bir yöntemdir. Bu, mikroskobik ölçekte planktonlara kadar gider; planktonların arasında da bir iskeleti olan ufacık organizmalara rastlanır.

— *Demek tarihin başlangıcında gezegen yaşam tarafından şekillendirildi. Genellikle Yerküre'nin yaşama ayak uydurduğu söylenir, ama büyük oranda yaşam Yerküre'yi kendine uydurmuş.*

— Kesinlikle evet. Zaten, yeni ve büyüleyici bir bilim dalı doğuyor: Jeolojik yaklaşımla biyolojik yaklaşımı birleştirmeye çalışan jeobiyoloji. Bilimlerimizin XXI. yüzyıldaki en önemli araştırma konusu bu olacak. Yerküre, yaşamın filizlenmesi için elverişli koşulları sağladı. Ve ardından yaşam, gezegende mucizeler yarattı. Artık dengeye oturmuş bir sistemdeyiz: Kütle ve Güneş'e uzaklık gibi astronomik koşullar, ayrıca ılımlı bir yanardağ etkinliği ve sıvı halde suyun varlığı gibi özel jeolojik koşullar yaşamın yeşermesine zemin yarattı; o da çevremizi yaşanabilir halde tutuyor.

— *Gene de yaşam, toprağın güçlerinin karşısında o kadar zayıf görünüyor ki!*

— Öyle zaten. 5000 metre yukarı çıkın, hemen hiçbir şey kalmaz, çünkü ciğerlerinize çektiğiniz gazların basıncı yeter-

sizdir. Okyanus diplerine inin, orada da fazla bir şey yoktur! Yaşam, varlık koşulları değişince derhal ortadan kalkabilen, pamuk ipliğine bağlı bir süreçtir. Koşulların biraz oynaması görülmemiş karışıklıklar doğurarak, bazı türlerin kitleler halinde dünya yüzünden silinmesine yol açar.

OKYANUSLAR PAS TUTTU

— *İlk mavi yosunların, sera etkisini azaltmalarının dışında bir etkileri oldu mu?*

— Evet. Okyanus, erimiş haldeki oksijenle doldu. Bunun üzerine son derece kararlı bir element olan, Evren'deki en önemli elementler arasında yer alan demirin başına olağanüstü bir olay geldi. Olivinin bir demir ve magnezyum silikatı olduğunu düşünürsek, mantoda büyük miktarda demir bulunur.

— *Yaşamı taşıyan iki araç: Bitkilerde klorofilin magnezyumu, hayvanlarda hemoglobinin demiri!*

— Tuhaf bir şey gerçekten de. Ama her şey bir yana, bizim hamurumuz da Evren'in geri kalanınınkiyle aynı. O dönemde okyanusta gene erimiş halde büyük miktarda demir de vardı. Ve mavi yosunların daha yeni ürettiği oksijen ansızın demirle bileşti, onu oksitledi, pas oluşturdu; derken pas dibe çöktü. Böylece birdenbire *banded iron formations,* kısaca *bif* denilen birikintiler meydana geldi. 3 milyar ila 2,5 milyar yıl arasında, demir oksit tabakalarıyla kuvars tabakalarının üst üste yığıldığı tuhaf maden yatakları ortaya çıktı; başka bir deyişle pas tabakalarıyla silis tabakaları. Avustralya'da, Güney Afrika'da, Moritanya'da bunlardan çok vardır...

— *Mavi yosunların ürettiği oksijen, okyanustaki demiri ayrıştırıyordu!*

— Aynı süreçle manganez de ayrışıyordu. Dünyadaki büyük demir ve manganez yatakları, Prekambriyen'in bir döneminde ortaya çıkmış olan bu oluşumların içinde yer alırlar; o zamanlar fotosentez de çoktan başlamıştı.

— *Prekambriyen nedir?*

— İlk jeolojik zaman. En karanlık, dolayısıyla en uzun dönem. Jeolojideki en önemli işaret noktalarını yaşam bırakti; çağları aşıp günümüze gelebilen iskeletleri keşfetti o.

— *Ve hayvan kabuklarını...*

— Aynı şey. İskeletler, organizmadaki mineralleri kristalleştiren hücrelerden oluşurlar. Bu mineraller arasında kalsiyum fosfat; ama daha başka pek çok şey; örneğin manyetit vardır. Somon balıklarının, kaplumbağaların, göçmen kuşların beyni bunlarla doludur; yönlerini bu sayede bulurlar. Bizim beynimizde de bundan biraz vardır; ama beynimiz yetkinleştikçe bunları kullanmaz olmuştur; çünkü bir noktadan sonra yararlanabileceği koca bir referans sistemine sahip olmuştur: Güneş, Ay, yıldızlar...

— *Kısacası iskeletin ortaya çıkması, Yerküre'nin tarihi açısından çok önemli bir olaydı.*

— Jeolojinin tarihi açısından da öyle! Çünkü bu noktadan sonra kabul edilebilir koşullarda yaşamın evrimine bakarak gezegenin evrimini de izleyebiliyoruz. Ondan öncesi sisler içinde. O günlere dair nasıl yorumlayacağımızı bilemediğimiz birtakım nesnelere, kireçtaşı yumrusunu andıran şeylere, güçbela bir şeylere benzetebildiğimiz birtakım oluşumlara rastlıyoruz.

— *Ya kıtalar?*

— Kıtasal platformların üstünde sık sık *bif*'lere rastlanır. Bu da daha 3 milyar önce, hatırı sayılır büyüklükte kıta parçalarının var olduğunu gösterir. Günümüzden 3,2 ila 2,5 milyar yıl önce, gezegenin iç işleyişinde de büyük değişiklikler meydana gelmişti. Aslında kıtaların pek çoğunun da bu dönemde ortaya çıktığı düşünülüyor.

— *Nasıl?*

— 2 milyar yıl önce, ilk baştaki yoğun konveksiyon yatışmış, daha az kaynamaya başlamış, yalınlaşmıştı. Yumurtanın üzerinde yer yer, Yunanca taş anlamına gelen *lithos*'tan dolayı *litosfer* denen sert kabuklar oluşmuştu. Bu parçalar öncekilerden daha büyük, daha kalın, daha sertti; kuşkusuz bugün gördüklerimize benziyorlardı.

— *Yani?*

— Günümüzde Yeryüzü'nde belli başlı on iki levha bilinir: Afrika, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Antarktika, Avustralya, Arabistan, Cocos, Avrasya, Hindistan, Nazca, Pasifik, Filipinler. Ama ilk başta, levhaların sayısı belki iki yüzdü! Küçük küçüktüler, kalınlıkları 10 kilometre kadardı... Bugünkü levhaların kalınlığını biliyoruz: kabaca 150 kilometre. Ve yeterince kalınlaşıp genişlemiş bir levhanın mantoya gömülmesi, küçük parçalara göre çok daha zordur...

KITALARIN ÇOCUKLUK GÜNLERİ

— *Peki ama, volkanik adalardan oluşan zincirlerden kıtalara nasıl gelindi?*

— Çok küçük adalar yok oluyor, yeniden çevrime giriyor, daha hafif yeni kayaların oluşmasına zemin hazırlıyorlardı. Ama bu oluşumlar büyüdükçe, mantoya gömülmeleri zorlaşıyordu. Çevrelerini volkanik zincirler sarıyor, ağır ağır yükseliyorlardı. Kıta çekirdekleri dışa doğru büyüyorlardı; biraz ağaçlardaki halkalar gibi; ve gitgide yayılıyorlardı. Ama aynı zamanda parçalanabiliyor, birbirleriyle çarpışabiliyor, kaynaşabiliyorlardı.

— *Bu oluşumlar tek bir yerde öbeklenmiş miydi, yoksa gezegenin yüzeyine mi yayılmışlardı?*

— Çeşitli yerlerde ilkel çekirdekler ortaya çıktı. Kıtalar genelde yaşlı bir merkezle, ona yapışmış daha genç alanlardan oluşurlar. Avustralya'nın batısında bulunan zirkonlar 4,2 milyar yıl yaşındadır, ama adanın doğusuna doğru daha genç olanlarına rastlanır. Kuzey Amerika kıtası için de aynı durum geçerlidir: En yaşlı bölüm kuzeybatıda, Mackenzie ile Yukon'un bulunduğu yerdedir. Asya'da, Baykal Gölü'nün kuzeyindeki Angara kalkanıdır. Avrupa'nın en yaşlı bölgesiyse, Fennoskandiya kalkanı, yani Finlandiya'yla İskandinavya'dır.

— *O andan itibaren, büyük levhalar tektoniğinin gayet yakından tanıdığımız işleyişine kavuştuğunu söylüyordunuz...*

— Evet. 2 milyar yıl öncesinden itibaren, büyük levhalar

tektoniğini yakından tanıdığımız kurallar çerçevesinde izleyebiliriz. Ama eskiden, içsel etkinliklerin üzerinde yükselen bu efsanede, zaman zaman jeolojik evrimle biyolojik evrimin sınırında yer alan, korkunç olaylar meydana gelirdi.

— *Örneğin?*

— Örneğin, Prekambriyen'de buzul çağları yaşandığını uzun zamandır biliyoruz. Buz, katı haldeyken her türden döküntüyü de kendisiyle sürükleyerek ilerleyebilen, kristalleşmiş bir maddedir. Buzullar dağlardan taşları söker, kendilerine yataklar açar, arkalarında kendilerine özgü izler ve birikintiler bırakırlar. Yerin aşınmasına yol açan muhteşem etkenlerdir bunlar. Birtakım izlerden 2,5 milyar yıl önce dev buzulların denize kadar indiği; daha sonra, 700 milyon yıl önce daha başka buzulların ortaya çıktığı anlaşılıyor...

–Buzullar nereden geliyordu?

— İlk başta kıta parçalarının o zamanlar kutupların yakınında bulunduğu düşünülüyordu. Günümüzdeyse Kuzey Kutbu'nun yakınındaki Grönland'da, ayrıca buzların oldukça kalın olduğu Antarktika'da benzer koşullara rastlanıyor.

— *"Oldukça" derken neyi kastediyorsunuz?*

— Antarktika'da yaklaşık 4000 metre yüksekliğinde bir ova var; oysa kıta hemen hemen dümdüz. Ova dediğimiz şey, düpedüz buz! Kanada ve İskandinavya'nın en fazla buzulla kaplı olduğu dönemde kalınlığı kilometreleri bulan buzul takkesi de Antarktika'dakinden hiç aşağı kalmıyordu. Bütün bunlar göz önüne alındığında, bu bölgelerin o zamanlar kutupta yer alması gerektiği düşünüldü. Derken son derece tuhaf bir şey keşfedildi: Buzul katmanlarının hemen üzerinde, resif kalkerleri bulunuyor. Başka bir deyişle, mercanlar. Üstelik onlarca metre kalınlıkta mercanlar!

TUHAF TUHAF PUSULALAR

— *Oysa mercanlar sıcak denizlerde yaşarlar...*

— Kesinlikle! Tropikler arası bölgede.

— *Kıtalar kutuptan tropiklere doğru sapmış olabilir mi?*

— Bildiğimiz hızla giderse, ki bu yılda 10 santimetreden fazla değildir; bir kıtanın o yolu alması yaklaşık 100 milyon yıl sürer. Birtakım çökeltilerin birikmesine fırsat verecek kadar uzun, anlamlı bir süre bu. Ne var ki, buzul tabakasıyla resif kalkerleri arasında hemen hiçbir şey yok.

— *Soğuğun gizemi insanı terletmeye başlıyor!*

— Bu gerçekten de büyük bir gizemdi. Tam o sırada, bir bu kadar tuhaf bir keşifte daha bulunuldu. Buzullanma izleriyle birlikte *bif*'ler bulundu; yani şu ünlü pas tabakalarından. Ama, daha önce sözünü ettiklerimizden daha gençler. Ne olmuştu Yerküre'de? Bütün bunlar anlaşılacak gibi değildi. Bunun üzerine paleomanyetizmacılar devreye girdiler.

— *Efendim?*

— Paleomanyetizma, kayaların eskiden Yerküre'nin neresinde olduğunu öğrenmemizi sağlar.

— *Sizin şu paleomanyetizmacılar nasıl yapıyorlar bunu?*

— Yerküre bir dinamodur. Manyetik alanı, çekirdeğinden doğar. Ayağımızın yaklaşık 3000 kilometre altında bulunan sıvı demirde çok hızlı akıntılar meydana gelir. Çekirdekteki konveksiyon, Yerküre'nin dönüşüne göre polarlanır. Bu iletken akışkan, böylece bir manyetik alan üretir; bu da daima, aşağı yukarı gezegenin dönüş eksenine denk gelir. Ama şaşırtıcı olan, bu manyetik alanın yönünün sık sık ters dönmesidir.

— *Güney Kutbu'nun Kuzey Kutbu'nun yerine geçtiğini mi söylemek istiyorsunuz?*

— Kutuplar oldukları yerde durur. Gezegen baş aşağı dönmez; yalnızca pusula güneyi göstermeye başlar! Düşünün bir: Yerküre bir mıknatıstır. Okulda hepimiz bir mıknatısın, demir talaşı dolu bir kâğıdın üzerine konulduğunda nasıl manyetik alan çizgileri çizdiğini görmüşüzdür. Kuzey Kutbu'nda, manyetik alan çizgileri ayağımızın dibine doğru dalar. Orada pusula kullanmaya kalkışsanız zorlanırsınız; iğne yeri gösterir. Aslında pusulalarımıza hep yatay düzlemde bakarız ve yalnızca kuzey yönünü görürüz. Ama biraz daha karmaşık

bir pusulanın iğnesi de az çok yere doğru eğilir. Eğim Kuzey Kutbu'nda 90 derece, yani dik, ekvatorda sıfırdır.

— *Fransa'da eğim nedir?*

— 60 dereceye yakın. Bu durumda bir kayanın içinde fosilleştirdiği manyetik alanın eğimini ölçebilirsek, ilk başta tam olarak nerede bulunduğunu da anlayabiliriz.

KARTOPU GEZEGEN

— *Bir manyetik alan nasıl fosilleşebilir?*

— Bir kaya çökelirken, içindeki bütün demir kristalleri, en küçüklerine varana dek, binlerce küçük pusula gibi aynı tarafa yönelirler. Lavlarda bu olay, soğumalarından sonra, sıcaklıkları yaklaşık 600 derecelik kritik Curie sıcaklığının altına düşerken meydana gelir.

— *Kaya oluştuktan, yani soğuduktan ya da katılaştıktan sonra, pusulacıkların yönü bir daha değişmez mi?*

— Hayır. Bu nedenle, hemen her zaman kayanın kaydettiği bu bilgiye ulaşmayı başarıyoruz. Kayanın hangi enlemde oluştuğunu anlamak için, bir parçasını alıp, içindeki küçük pusulaların nereyi gösterdiğine bakmak yeterlidir.

— *Öyleyse, yeni* bif'ler *çökelirken kıtalar neredeymiş?*

— Ekvatorda. Sonuç: Bir dönem ekvatorda kesinlikle buzul takkeleri vardı! Buna *snowball* kuramı denir. Kartopu Dünya. Gezegenimiz baştan aşağı buzlarla kaplanmıştı.

— *Bu kuram bütün gizemleri aydınlatmaya yetiyor mu?*

— Hemen hemen. Korkunç bir soğuk. Dünyayı saran okyanus, onlarca metre kalınlığındaki bir buz tabakasıyla kaplanmış. Böylece fotosentez ve CO_2'in emilmesi durmuş. Okyanustaki oksijen de yavaş yavaş azalmış. Ve deniz altındaki yanardağların püskürttüğü demir artık çökelmez olmuş.

— *Her şey durduysa, makine sonradan nasıl yeniden çalışabildi?*

— Buzları delip içlerindeki karbon gazını atmosfere yayan yanardağlar yer yer varlığını korumuştu. Milyonlarca yıl

sonra sera etkisi buzu eritecek kadar güçlü bir biçimde yeniden devreye girdi. Buzlar bir kere çözülmeye başladıktan sonra gerisi çorap söküğü gibi geldi. Plankton yeniden hızla üremeye başladı. Hayat, delice bir hızla yayıldı. Buz çökeltilerinin üzerinde büyük bir hızla biyojenik karbonatlar birikti. Okyanus yeniden oksijenle doldu. Okyanusta eriyen demir de eskisi gibi paslanıp *bif*'leri oluşturdu.

— *İnsanı büyüleyen bir senaryo bu!*

— Evet. Ve gerçeğe yakın. Aslında bugün bilim adamlarının tartıştıkları temel konu, okyanusun ekvator civarındaki ince bir şeridinin donmamış olup olamayacağı... Dört ya da beş tane *snowball* dönemi saptanmış durumda. En sonuncusu, Birinci Zaman'ın başlamasından kısa bir süre önce yaşandı. *Snowball*, iklimin yol açabileceği felaketlerin boyutları konusunda bize bir fikir veriyor.

— *Bu felaketler bugün gene yaşanabilir mi?*

— Bu konuda pek bir bilgimiz yok. Ama sonuç olarak, dünyanın yakın geçmişte, yaklaşık 100 bin yıl süren büyük buzul dönemlerinden geçtiği gözleniyor. Önce Kuzey Yarıküre'nin toprakları yavaş yavaş buzla kaplanıyor. 100 bin yıl içinde, soğumanın en üst düzeye çıktığı anda, buzlar ansızın erimeye başlıyorlar; yalnızca birkaç bin yıl alıyor bu. Denizlerin seviyesi her yüz yılda 2 metre yükseliyor. Düşünün bir: 100 yıl içinde Le Havre ve New York'un sular altında kalması gibi bir şey bu. Kısacası, Yerküre ikliminin bugünkü ritmi, kabaca 100 bin yıl buzul çağı, 10 bin yıl buzul arası dönem, sonra yeniden 100 bin yıl buzul çağı... Periyotlar daha ayrıntılı olarak incelendiğinde, 200 bin yıllık, 40 bin yılık ve 400 bin yıllık evrelere de rastlanıyor; bu evreleri yaratan gezegenimizin kendi çevresinde ve Güneş'in çevresinde dönüş biçimi. Yerküre'nin yörüngesi dairesel değil; eliptik; dışmerkezliği çok zayıf ama değişken, böylece Güneş'ten gelen sıcaklıktan metrekare başına düşen miktar da oynuyor.

— *Yerküre'nin kendi çevresinde dönmesi böyle bir şeye nasıl yol açabiliyor?*

— Bir topacın nasıl döndüğüne bakın: Kendi ekseni etra-

finda salınır. Yerküre de öyle. Ne var ki, eksenin eğimi, Güneş ışınlarının gezegene geliş açısını değiştirir. Açı ne kadar küçük olursa, belli bir miktar sıcaklık o kadar büyük bir yüzeye dağılır. Bu durumda metrekare başına daha az sıcaklık düşer ve gezegen soğur.

BUZULLAŞMAYI BEKLERKEN

— *Bu durumda, şu anda içinde bulunduğumuz dönemin ne kadar süreceğini kestirebilir miyiz?*

— Yörüngesel parametreler anlamında, evet. Yerküre daima buzul dönemleriyle buzul arası dönemler arasında kararsız bir dengededir. Bundan 20 bin yıl önce, maksimum buzul dönemindeydik. Grönland'ı, Baffin'i ve Kanada'nın kuzeyindeki adaları örten buzul takkesi o zamanlar Büyük Amerika Gölleri'ne kadar uzanıyordu. Buzullar Chicago bölgesini kaplıyor, Hudson üzerinden New York'a ulaşıyor, Alpler'i aşarak Rhône Vadisi'ne varıyorlardı. Ve bu dediğimizin üzerinde yalnızca 20 bin yıl geçti. Yani daha dün, dünya böyleydi! Okyanusların seviyesi, yağmur suyunun dev buzul takkelerinde depolanması yüzünden 120 metre düşmüştü. İngiltere'yle Fransa arasında Manş yoktu. Sonra hava yeniden, yaklaşık 7°-8° kadar ısındı, bu da buzların 2000 kilometreden fazla gerilemesine neden oldu. İnsanoğlunun uygarlığı da, 12 bin yıl önce başlamış olan ve hâlâ süren bir buzul arası dönemde gelişti. Günümüzden 9000 ila 6000 yıl önce, bugünkünden daha sıcak ve nemli bir dönem yaşandı.

— *Buzullaşma ne zaman yeniden başlayacak?*

— Normalden uzun olan buzul arası dönemimizin, otuz bin yıllık bir ömrü var. Ama başlayalı 12 bin yıl oluyor...

— *Yani, 18 bin yıl sonra bir soğuk hava dalgasının geleceğini bilip ona göre davranmak gerek! Bizim hava tahmin raporları topu topu beş günden sonrasını göremiyor!*

— Dikkatli olalım: Birtakım tahminlerde bulunurken, insanoğlunun atmosfere yaptıklarını hesaba katmıyoruz!

— *Yörüngedeki değişiklikler,* snowball *dönemlerini açıklamak için yeterli mi?*

— Sanmıyorum. Güneş'in aydınlatma gücündeki değişimlerin de *snowball*'larda rolü olabilir. Ama henüz pek çok konuda bilgisiz olduğumuzu da itiraf etmeliyiz. Yerküre'nin daimi iç işleyişini biliyoruz: Konveksiyon, yanardağ etkinliği, vb.. Kıtaların geliştiğini, yaşamın dünya okyanusunda ortaya çıktığını biliyoruz... Gitgide büyüyen levhaların hareketleri de gün geçtikçe yavaşlıyordu. Ağır ağır gerçekleşen değişimler, bazen hâlâ kafamızı kurcalayan birtakım korkunç olaylarla kesintiye uğruyordu. Ama daha on yıl önce, bu felaketlerin varlığının bile aklımızın ucundan geçmediğini unutmayın. Daha araştırmacılara düşen çok iş var.

SAHNE 2

BAŞKALAŞIMLAR ZAMANI

Yerküre hâlâ enerji dolu, ama artık daha yapıcı. Kıtalar üretmeye devam ediyor. Okyanuslar açıp kapatıyor, bir yandan da dağlar yaratıyor. Yerküre'nin artık gözünün alıştığı yaşam, bazen vahşice saldırılara göğüs germek zorunda kalıyor.

OK YAYDAN ÇIKTI!

— *4 milyar yıllık bir hayhuydan sonra, Yerküre şimdi başka bir zamana, Birinci Zaman'a giriyor (yaklaşık 600 milyon yıl önce başladı). Bu yeni çağın şafağında gezegen neye benziyordu?*

— PAUL TAPPONNIER: Fotosentez tam gaz gidiyordu. Atmosfer berraklaşmıştı: Gökyüzü mavileşmişti, görecek göz olsa, Güneş, Ay ve yıldızlar artık görülebilir durumdaydı. Denizin kırmızımsı rengi yerini oksijenin mavisine ve klorofilin yeşiline bırakmıştı...

— *Hayat...*

— Evet. Bundan 600 milyon yıl önce, olağanüstü bir yaşam patlaması meydana geldi. Çeşitli maden yataklarında bulunan iskeletlerden de anladığımız kadarıyla inanılmaz şekillerde bir sürü hayvancık ortaya çıktı, canlılar alabildiğine çoğaldı. Ve bu doludizgin yaratım dönemi, bilinen son *snowball* evresinin ardından yaşandı. Zorlu iklim karşısında, hayat

daha elverişli organizmalar keşfetmeye mecbur mu kaldı? Kimyasal koşullar derin bir değişikliğe uğrayarak yaşamın ortaya çıkmasını kolaylaştıran etkenler arasına mı katıldılar? Anlaşılan biyosfer, gerilim dönemlerinin ardından yenilenmek zorunda kalıyor.

— *Bu durumda Prekambriyen'i, bildiğimiz organik yaşamın doğumuna neden olan büyük bir felaketle kapatıyoruz.*

— Evet. Prekambriyen'de yaşamış olan hayvanlardan geriye iz kalmamıştı; çünkü iskeletleri yoktu. Ama bundan böyle, hayatın yeni formları bütün jeolojik zamanları tek tek saptamamızı sağlayacak; çünkü Yerküre'nin tarihinin kalanı, kanıtların zaman zaman yetersiz olmasına, bazı dönemlerin de karanlıkta kalmasına rağmen, izini sürebildiğimiz canlı türlerine bağlıdır sıkı sıkıya.

— *Yani Birinci Zaman'ın başlamasıyla, tünelin ucu biraz aydınlanmıştı. Yerküre'nin yüzü, nihayet bildiğimiz şeklini almış mıydı?*

— Evet. Manzara, iklim, çevre, bugünküne benziyordu.

— *İnsan ortaya çıkmış olsa, o dünyada yaşayabilir miydi?*

— Zorlanırdı.

— *Nasıl yani? Oksijen mi yetersizdi?*

— Oksijen yeterliydi, ama insan, beslenmesi için gereken biyosferin büyük bölümünden yoksun olurdu.

— *Ya yemeğini yanında getirse?*

— Yanında azığı varsa ölmezdi; ama birkaç yüz milyon yıl önce olsa, Yerküre'ye beş dakika bile dayanamazdı. Dünya, tam Dante'lik o karanlık, sisli, yakıcı dönemden sonra yaşam ve oksijen sayesinde ışığa kavuşmuştu. Ne var ki Yerküre, cehennemden çıkmasıyla birlikte hayallere zor sığacak türden buzul dönemlerinin içinde bulmuştu kendini.

KIYAMETİN BİNİ BİR PARA

— *Gencecik gezegenimiz, uçlarda dolaşmayı seviyordu anlaşılan.*

— Evet, kendini arıyor, yaşamını son derece güçlü bir sera etkisi altında sürdürmekle, eskisi gibi buzullarla kaplanmak arasında gidip geliyordu. Hayat, bütün bu koşullarla karşılıklı etkileşim içindeydi. Dünyanın ömrü, aklımızın alamayacağı kadar büyük felaketlerle geçiyordu. Ardından, yaşamın çok çabuk ürediği Kambriyen geldi. Hemen bütün hayvanların taslakları bu dönemde ortaya çıktı. Bunlardan bazıları kayboldu, bazıları büyük başarı kazandı, hepsi evrim geçirerek çeşitli değişikliklere uğradılar. Bu andan itibaren, hayatın tarihiyle jeolojinin tarihi iç içe yürüdü.

— *Kambriyen, Birinci Zaman'ın bir dönemi midir?*

— İlk dönemidir; ardından Ordovisiyen, Silüriyen, Devoniyen ve Karbonifer gelir.

— *Bu çağları belirleyen nedir?*

— Faunadaki ve floradaki önemli değişiklikler. Uzun süre her şeyi tam olarak anlayamadık. Yalnızca çok belirgin kesintilerin farkına varabiliyorduk: Eskiden olmayan hayvanlar ortaya çıkıyor, manzaralar değişiyordu. Türler ansızın ortadan kalkıyor, başkaları boy gösteriyordu; ve bu değişiklikler oldukça kısa sürede gerçekleşiyordu. Bugün bile, ne olup ne bittiğini tam olarak anlamış değiliz.

— *Birinci Zaman ne kadar sürdü?*

— 300 milyon yıl. 4000 milyon yıl süren Prekambriyen'le karşılaştıralım hele...

KITALAR VE TANGO

— *Bu dönemde Yerküre'ye ne oldu; sonuç olarak tarihinin neredeyse onda birini temsil ediyor bu süre...*

— Yerküre'nin tarihini o gün bu gündür levha tektoniği yönetmektedir.

— *Levha tektoniği ne demek?*

— Levha tektoniği, Yerküre'yi güneş sisteminde benzersiz kılan özelliklerden biridir. Yerküre'nin yüzüne bildiğimiz biçimini veren, ona güzelliğini, manzarasını, biyolojik or-

tamlarını kazandıran mekanizmadır; gezegenimizin yaşamı bu kesintisiz harekette ifadesini bulur.

— *Şu hep konuşulan, kıtaların sapması olayından mı söz ediyorsunuz?*

— Hem evet hem hayır. Geçtiğimiz yüzyılın başında pek çok bilim adamı, kıtaların çoğunun, bir yapbozun parçaları gibi birbirine bitişebileceğini fark etmişti. Bunun mantıksal sonucu: Kıtalar ilk başta bugünkü yerlerinde değildiler. Bir Alman jeofizikçisi olan Alfred Wegener bu kuramın gerçekliğini ortaya koydu. Afrika'nın batı kıyısını Güney Amerika'yla kırık kırığa oturtabilir, Arabistan'ı Afrika'ya yapıştırarak Kızıldeniz'i ve Aden Körfezi'ni kapatabiliriz; öte yandan elimizde birtakım jeolojik kanıtlar da var. Birbirinden 5000 kilometre uzaklıkta olan birtakım kayalar kolayca birbirine oturtulabiliyor. Bir okyanusun iki ucundaki çökeltiler uç uca getirildiğinde birbirine uyabiliyor; demek ki bunlar bir zamanlar aynı yerde oluşmuşlardır. Küçük hayvanlarda ve fosil bitkilerde de aynı durum söz konusu. Wegener bütün bunları çok iyi anlamıştı; tek eksik, bir açıklamaydı.

— *Wegener bir açıklama getirmiyor muydu?*

— Getiriyordu, ama yetersizdi. Wegener kıtaları, okyanusların üzerinde salınarak dolaşan kocaman gemilere benzetiyordu. Ne var ki durum hiç böyle değil. Örneğin Güney Amerika levhası, hem Güney Amerika kıtasını, hem de Atlantik Okyanusu'nun yarısını kapsar. Afrika levhası, Afrika kıtasıyla Güney Atlantik'in doğu yarısını ve Hint Okyanusu'nun bir bölümünü içine alır.

— *Levha ve kıta ayrı şeyler mi?*

— Kesinlikle. Kıtalar, birbirlerini hareket ettiren levhaların ortasına oturtulmuş çekirdeklerdir. Bu nedenle Hint Okyanusu'nun bir yarısı Hint levhasına dahil olabiliyor. Aynı şey, Avustralya'yı Antarktika'dan ayıran okyanus için de geçerlidir: Onun da yarısı Avustralya levhasına aittir.

— *Peki ama, kıtaların kenarları levhaların sınırlarına denk gelmediğine göre, birbirlerini nasıl tamamlayabiliyorlar?*

— İlk başta, tek bir kıtasal levhanın içinde bir çatlama ol-

du. O zaman sınır, tamı tamına kıtaların kenarlarına denk geliyordu. Ardından iki parça birbirinden uzaklaştı, çünkü aralarında bir okyanus doğuyordu. Okyanusortası sırtlardan, yani yanardağ sırasından fışkıran bazalt, bölüm çizgisinin iki yanında okyanusal levhayı oluşturuyordu. Lavlar kenarlarına yapıştıkça her iki kıta çekirdeği de büyüyor, yanlarındaki yarım okyanuslar da gitgide genişliyordu.

BALONUN YILDIZI OKYANUSLAR

— *Yani kıtaların birbirinden uzaklaşmasına, okyanusların oluşması mı neden oldu?*

— Oldu, hâlâ da oluyor. Okyanuslar açılıp kapanır, doğar ve ölürler; yani kıtalardan çok daha gençtirler. İlk dünya okyanusu uzun zaman önce ortadan kalktı: Şu anda bildiğimiz okyanusların hiçbirinin yaşı 250 milyon yılı bulmuyor. Oysa kıtalar, Yerküre'nin çok eski, cehennemi geçmişinin anısını içlerinde barındırıyorlar.

— *Okyanuslar ortadan kalktığında su nereye gider?*

— Bir okyanus kapandığında, bir başkası açılır. Durum bileşik kaplardaki gibi olduğundan, küresel seviye sabit kalır. Hiçbir okyanus ortadan kalkmaz. Adları değişir, farklı levhalara denk gelebilirler, ama aslında tek bir okyanus oluştururlar. Uzaydan bakıldığında mavi gezegen dev bir okyanus ve pek çok kıtayla kaplıdır.

— *Kıtasal ya da okyanusal levhalar, neyin üzerinde yüzerler?*

— Mantonun üzerinde. Mantoyu oluşturan 2900 kilometre kalınlığındaki, yakıcı, sert ama akışkansı madde, daha önce de gördüğümüz gibi konveksiyon hareketleriyle çalkalanır, yükseldikçe erimeye başlar. Yüzeyde litosfer denen, kalınlığı 100 kilometreyi geçmeyen ince bir kabuk vardır; litosfer, kıtaların altında biraz daha kalın, okyanusların altında biraz daha incedir. Kabuk sert ve dayanıklıdır, çünkü soğuktur. Büyük depremler de bu seviyede meydana gelir. Bu

sert ve soğuk kabuk hamurumsu, sıcak, hareketli bir şeyin üzerindedir; ve bir mozaik gibi parçalara bölünmüştür. İşte bu parçalar levhalardır, ve hiç durmadan kıpırdanırlar.

— *Levhalar gezegenin her yerini kaplar mı?*

— Evet. Bu nedenle, biri kıpırdadığında mutlaka ötekiler de yer değiştirir. Birbirinden uzaklaşabilirler, ama bu durumda başka bir yönde birbirlerine yaklaşmış olurlar. Mantoya dik etkiyen bir hareket meydana geldiğinde, genellikle aşağıya gömülüp yanındakinin altına giren bir levha var demektir; bu da hemen her zaman, mantoya yakın yoğunlukta, onunla eşit sıcaklıkta bir levhadır. Ama soğuk olduğundan, mantodan biraz daha ağırdır, böylece batan bir gemi gibi dibe doğru süzülür. Buna dalma-batma denir. Derinliklere dönüş.

— *İlk başta okyanusların açılmasını, her şeyin harekete geçmesini sağlayan yanardağ etkinliğiydi, öyle değil mi?*

— Dolaylı olarak, evet. Levhaların kıpırdanmasını sağlayan yanardağ etkinliği değildir. Sırt çizgisi yüzeyin 2500 metre altında, deniz dibindeki ovalara göre çok daha yüksektedir. Levhalar tıpkı buzullar gibi kayarak, usulca 5000 metre derine doğru ilerlerler.

— *Yeni oluşan bir levha, kendine yer açmak için ister istemez bir başka levhayı itmek zorunda kalır...*

— Başka bir levhayı iter ya da onun altına süzülür. Kısacası mutlaka bir şey olur. Konveksiyon çevrimlerindeki alçalıcı ve yükselici hareketler, yüzeyde levhaların ayrılmasına ya da yakınlaşmasına yol açar. Bir okyanusal levha meydana geldiğinde, aynı büyüklükteki bir parça mantoya gömülerek ortadan kalkar. Yerküre'nin yüzeyi ve hacmi sabit olduğuna göre, başka türlüsü mümkün değildir.

— *Hiç durmadan okyanuslar açan Yerküre, hâlâ kıta da üretiyor mu, yoksa kıtaların hepsi Prekambriyen'de mi oluştu...*

— Yerküremiz, levhaların birbirinden uzaklaştığı yerde okyanuslar, birbirine yaklaştığı noktada da kıtalar üretiyor. Baştan beri kıtaların gelişmesini sağlayan, dalma-batma ha-

reketinin yarattığı magma. Bir nehrin akışına set çeken bir parmaklık düşünün. Parmaklığın yukarısında yapraklar, dallar ve çeşitli dökünтüler birikecektir. Evet işte; batan okyanusal levha nehir, kıtanın kenarı da parmaklıktır. Okyanusal levhanın üzerine dağılmış olan bir yığın şey vardır: Yanardağlar, masadağlar, tortu yığınları... Bunların hepsi rendelenir; mantoya gömülmek yerine, kıtasal levhanın kenarına yığılır. Kıtanın büyümesini sağlayan, batmakta olan okyanusal levhanın yüzeyindeki dökünтülerdir.

— *Bu konuda şu anda elimizde somut örnek var mı?*

— Elbette. Örneğin Sumatra. 2000 kilometre uzunluğundaki büyük Endonezya adası, böyle bir yığılmaya bir örnektir. Hint-Avustralya levhası bu noktada, yılda 7 santimetrelik bir hızla Asya'nın altına gömülüyor. On milyonlarca yıldır bu okyanusal levhanın üzerine yığılan tortular, şimdi Asya kıtasal levhası tarafından tıraşlanıyor. Sumatra'nın 100 kilometre açığında, rendelenerek yığılmış tortulardan oluşan adalar vardır; bunlar, deniz dibinden geçen bir buldozerin önünde oluşabilecek türden bir birikintinin tepe noktalarıdır.

OKYANUSLAR BATAR, KITALAR YÜZER

— *Bütün okyanuslar sonunda yeniden mantonun içine mi gömülür?*

— Evet. Yaşlı okyanus yoktur. Japonya açıklarında Pasifik'in tabanının yaşı, üstelik en eskilerden olmasına karşın yalnızca 200 milyon yıldır. Oysa ağaçların halkaları gibi ağır ağır büyüyen kıtaların yaşı, milyarlarca yılı bulabilir.

— *Kıtalar batmaz mı?*

— Hayır. Mantodan çok daha hafif olduklarından, batmaları hemen hemen olanaksızdır.

— *Uf! Gene de insanın ayağını durmuş oturmuş bir zemine basması güzel.*

— Durmuş oturmuş mu? Ben olsam başka bir sıfat kul-

lanırdım. Kıtalar parçalanır, yer değiştirir, birbiriyle çarpışır, kaynaşır, dağlar yaratır, depremlerle sarsılırlar... Zaten Yerküre, manzarası bu şekilde değişen tek gezegendir.

— *Peki, kalıcı bir zemin diyelim... Bu durumda yerkabuğundaki bütün hareketleri ifade eden levha tektoniği orkestrayı yönetmeye Birinci Zaman'da başladı, öyle mi?*

— En doğrusu, Birinci Zaman hakkında, bir öncekine göre daha çok bilgiye sahip olduğumuzu söylemek. Ve bu dönemde, iyi tanıdığımız birtakım yapılar oluşmaya başladı.

— *Hangileri?*

— Büyük çarpışmalar yaşandı, bunun sonucunda da dağlar meydana geldi. Bundan 300 milyon yıl önce, Karbonifer döneminde iki büyük kıtasal levha şiddetle iç içe geçtiler. Şokun sonucu: dağlar. Massif Central, Cornouaille, Britanya çıkıntısı, Vosges, Karaorman; Kuzey Amerika'da Apalaş Dağları'yla batıya, Urallarla da doğuya doğru uzanan Hersiniyen zincirini oluşturur. Bu sıradağlar Laurasia'yla Gondvana'nın geçici olarak kaynaşarak, Pangea denilen süper-kıtayı oluşturmasını sağlamıştı.

— *Laurasia, Avrupa'yla Kuzey Amerika'dan oluşan büyük bir kıta mıydı?*

— Bir de Asya'dan. Gondvana ise, Güney'deki kıtaları kendinde topluyordu.

— *Birbirleriyle çarpışıp kaynaşmalarından önce, bu iki kıtasal blokun arasında ne vardı?*

— Bir okyanus. Şimdi kapanmış olan Iapetus Okyanusu.

— *Hersiniyen Sıradağları, Yerküre'nin tarihindeki en eski dağlar mı?*

— Kesinlikle hayır. Onlardan kısa süre önce, İskoçya'nın kuzeyiyle İskandinavya'da başka bir büyük dağ sırası oluşmuştu bile: Bugün 400 milyon yıl yaşında olan Kaledoniyen zinciri. O da gene kıtasal levhaların çarpışmasından doğmuştur: Taraflardan biri Kuzey Amerika'yla Grönland, öbürüyse Kuzey Avrupa'ydı. Ama Kaledoniyen Dağları erozyon yüzünden tıraşlanmış, düzleştirilmişti. Üzerlerinde yığışımlar, kumtaşları, molaslar birikti.

— *Molas nedir?*

— Aşınmadan arta kalanlar. Bir dağın oluşmasıyla, yağmurun, rüzgârın, buzun ve sıcaklık farklarının üzerine çullanması bir olur; kısaca, erozyon dağı yavaş yavaş yiyip bitirmeye başlar. Artıklar akarsularca taşınıp dağ eteklerindeki büyük havuzlarda birikirler; dağların, sonunda kendi kalıntılarının altına gömüldükleri bile olur. Günümüzde molaslara Alpler'in kuzeyinde, Tuna Ovası'nda; güneyde de Po Ovası'nda rastlıyoruz. Bunun dışında bir de bütün o gölleriyle İsviçre molasları var... Söz konusu havuzlarda bulunan bataklıklar, tropikal ormanlar, Kuzey Avrupa'daki büyük kömür yataklarını oluşturdu. Bu da Karbonifer zamanında, bu bölgelerin sıcak enlemlerde bulunduğunu gösteriyor.

— *Acaba iklim mi değişti, yoksa kıtalar o zaman başka yerde miydi?*

— Kıtalar başka yerdeydi. Bugünkü Avrupa Yerküre'nin başka bir yerinde, epey güneyde yer alıyordu. Kömür, bambaşka bir gökyüzünün altında oluştu. Düşünün: Bataklıklarla dolu, kocaman ormanlarda ağaçlar ölüp üst üste yığılıyor, böylece akıl almaz miktarda bitkisel artık birikiyor...

KÖMÜRÜN TARİFİ

— *Bugün Amazon'daki ya da Kongo'daki ormanları kesmesek, onlar da günün birinde kömür yataklarına dönüşebilirler mi?*

— Elbette. Ama, ancak derinden gelen kömürün kalitesi yüksek olur. Yoksa, yüzeyin çok yakınında bulunan, ne var ki gelişmesini tamamlayamamış olan linyit elde edilebilir yalnızca.

— *İyi kömür nasıl oluşur?*

— İlkönce, bol miktarda organik maddeyle dolu bir ağaç mezarlığına ihtiyacımız var. Bundan sonra kömürün olgunlaşabilmesi için çok özel koşullar gerekir; kömür ısınmalıdır, ama fazla değil. Öte yandan oksitlenmemelidir de, bu neden-

le hava da almaması gerekir. Son olarak da toprağa çok hızlı gömülmemelidir.

— *Yoksa ne olur?*

— Yoksa kömür yerine doğalgaz oluşur. Birmanya'da bugün gözlenen de budur. Iravadi gibi büyük nehirlerin hiç durmadan Martaban Körfezi'ne taşıdığı ağaç kütükleri ve bitkisel artıklar çamur ve kumla karışarak deniz dibine çöker. Havuz hızla büyüdüğünden –yılda 3 santimetre–, bütün bu tortular çabucak dibe gömülerek, hemen yeni tortularla kaplanırlar; üzerlerine yığılan dev yükün altında iyice de batarlar. Yalnızca bir milyon yıl içinde, 15 kilometre dibe çökerler! Ve sıcaklık hızla arttığından, bitkisel artıklar gaz haline gelirler.

— *Tortuların dibe hızlı ya da yavaş gömülmesinin nedeni nedir?*

— Bir çöküntü havuzunda, yerkabuğu iki yana açılmıştır, dolayısıyla daha incedir. Tıpkı parmağınızla ortasına bastırdığınız yumuşak bir şeker gibi.

— *Fosil yakıtların oluşması belli bir dönemde sona ermedi mi? Bugün hâlâ fosil yakıt oluşuyor mu?*

— Evet, elbette. Bugün Martaban Körfezi, gerçek bir gaz fabrikasıdır. Koca bir mutfak. Ama gazdan yararlanabilmemiz için depolanmış olması gerekir; yoksa atmosfere karışır ve genel karbon çevrimine dahil olur. Büyük gaz yataklarına ancak gazı tutacak geçirimsiz kapüşonların, hazne görevi gören kayaların olduğu yerlerde rastlanır.

— *Yani kömürün hepsi Karbonifer'de oluşmadı mı?*

— Hayır. Karbonifer katmanı, adını jeolojinin Avrupa'da doğmuş olmasına borçludur; en çok kömür, buradaki 300 milyon yıl yaşındaki tabakalarda bulunur.

— *Ötekilerden daha üretken dönemler yaşanmadı mı?*

— Bu yerine göre değişir. Çin'de Jura dönemine, yani 195 ila 140 milyon öncesine tarihlenen, son derece önemli yataklara rastlanır. Dinozorlarla yaşıt dev ormanlar, olağanüstü kömür yataklarının oluşmasına zemin hazırladılar. Ağaç olmadan kömür olmaz. Birinci Zaman'dan önce hiç kömür oluşmamış olmasının nedeni de budur: O zamanlar he-

nüz kömürün ana kaynağı olan ormanlar yoktu. Kömür oldukça genç bir hidrokarbürdür; nerede oluştuysa orada kalır; petrol gibi doğduğu kayalıktan ayrılıp "satış" kayasına geçmez.

PETROLÜN TARİFİ

— *Yerküre petrolü nasıl üretti?*

— Bu da apayrı bir konu. Birtakım mikroorganizmalar kimyasal bir dönüşüme uğradılar. Kömür yatakları kıtalarda, petrol yatakları daha çok deniz ya da göl diplerindeki biyolojik tortularda oluşur.

— *Yani petrol hayvansal kökenli mi?*

— Kısmen, evet. Aralarında planktonların da bulunduğu, denizde yaşayan milyarlarca küçük organizma ölünce dibe çökerek kil parçacıklarıyla karışırlar. Böylece mineralli yuvaların içinde, hayvan ve bitki karışımı bir bulamaç meydana gelir. Tortul tabakalar üst üste yığılırlar. Kalınlık, dolayısıyla ağırlık arttıkça dibe gömülürler. Ve her zamanki mutfak gene karşımızda: Sıcaklık, basınç, organik maddenin ayrışması...

— *Ama petrol sıvıdır. Dışarıya sızmaz mı?*

— Petrol, kömür gibi damarlar halinde yoğunlaşmaz. Süngergörevi gören bir kayanın içine yaygın biçimde hapsolur.

— *Muhteşem bir basınçla topraktan fışkıran petrol neyin nesi peki?*

— Bir petrol yatağının ortaya çıkması için, tektonik hareketler sonucunda süngerin sıkışması, petrolün birtakım yarıklarda toplanmış olması gerekir. Petrol hafif olduğundan yükselir. Böylece gazı da içinde hapseden, geçirimsiz kayalarla örtülü kapanlarda birikebilir. Dünyanın en çok petrol üretilen bölgelerinden çoğunun, jeolojik katmanların yukarı kıvrıldığı sıradağların eteklerinde yer almasının nedeni de budur. Örneğin Teksas, Kayalık Dağları'nın eteklerindedir. Zagros Sıradağları'nın ardındaki İran ve İran Körfezi'nin öbür ta-

rafına, Arabistan'a uzanan Irak da bu konuda örnek gösterilebilir. Buralardaki oldukça yumuşak kıvrımların içinde biriken dev yataklar, göçebe çobanları zengin etmiştir.

— *Olur da deniz yükselirse, belki biz de o çok sevdiğimiz petrole dönüşürüz...*

— Kim bilir, belki de... Ama üstün hayvanlar, hesaba katılacak kadar büyük bir biyomas oluşturmaz.

— *Birinci Zaman boyunca, Yerküre bir gemi hızıyla ilerledi, hayat gelişti... Ve nihayet, Permiyen'in sonunda, yani günümüzden 230 milyon yıl öncesinde çağ atlayıp İkinci Zaman'a girdik. Neler oluyor?*

— Akıl almaz bir felaket: Suda yaşayan türlerin %90'ı ortadan kalktı.

— *Buna bir açıklama getirebiliyor muyuz?*

— 230 milyon yıl önce olup bitmiş bir olay hakkında kesin yargılarda bulunmak zor. Ama emin olduğumuz bir şey var; o da, bu dönemde olağanüstü yanardağ patlamalarının meydana geldiği.

— *Neye benziyordu bu patlamalar?*

— Bugün gördüğümüz hiçbir şeye benzemiyordu. Hiç tanık olmadığımız iki tür volkan hareketliliği vardır. Bunlar yüz milyonlarca kilometrekarelik dev alanların erimiş bazaltla kaplanmasına bile yol açabilirler; Çin'de ve Sibirya'da Permiyen sonundan bu tür kalıntılar vardır. Bir de yanardağ bacaları vardır; bunlar da içinde elmas barındıran kayaların, özellikle Güney Afrika'da, Kanada'da ve Sibirya'da bulunan kimberlitlerin oluşmasını sağlarlar.

FOKUR FOKUR BİR CEHENNEM

— *Bugün artık görülmeyen bu dev yanardağ hareketlerini doğuran neydi?*

— Bunun o zamanlar, Yerküre'nin dönem dönem sıcaklığını boşaltmasının başka bir biçimi olduğunu düşünüyoruz. Konveksiyon, kesintisiz bir devindirici güçtür. Ama çok da-

ha derinlerde, çekirdeğin sıvılaşıp aktığı noktayla mantonun arasındaki yüzeyde de birtakım olaylar meydana gelir. Zaman zaman manto, inanılmayacak kadar yakıcı ve esnek kabarcıklar üretir, bunlar, genel, sakin konveksiyon hareketine göre çok daha büyük bir hızla yüzeye yükselirler. Süs lambalarını düşünün; içlerinde iki sıvı vardır; bunlardan renkli olan hareketli kabarcıklar çıkartır... Böyle bir kabarcığın –buna sorguç adı verilir– litosferin dibine ulaşmasıyla, son derece sıcak bir maddeyle çoktan soğumuş bir madde birbirine değmiş olur. Bu da, akıl almayacak kadar büyük bir yanardağ patlaması yaratır; hareket çok derinden geldiği için de kıyamet kopar.

— *Peki bu, o kadar canlı türünün ölmesine neden olabilir mi?*

— Atmosfer küllerle ve sağlığa zararlı gazlarla kaplandı; gökyüzünde bir tür ışık geçirmez ekran oluştu. Günümüzde de çok büyük diye nitelediğimiz patlamaların iklim üzerinde gözle görülür etkileri olabiliyor. İzlanda'daki Laki 1783 yılında patladığında, aylar boyunca ateş, alev, kül, bazalt ve kükürtlü gazlar fışkırtmıştı; bu yüzden ülkedeki bütün hayvanlar öldü, kıtlık baş gösterdi. Daha sonra bulut Kuzey Yarımküre'ye dağıldı. O kadar az ışık geçiriyordu ki, o yıl yaz olmadı. Temmuz ayında Londra'da kar yağdı. Daha yakın zamanda, Pinatubo'nun patlaması da iklimde hissedilebilir bazı değişiklikler yarattı. Bu patlamalar, bütün bir yılın ortalama sıcaklığını yarım derece düşürebilirler. Ne var ki sözünü ettiğimiz olaylar, sorguçların yanında solda sıfır kalır.

— *Nasıl olur da Yerküre'nin kükürtlü aerosol'ler ve yakıcı küller püskürtmesi havanın soğumasına yol açabilir?*

— Bu durumu bir atom savaşının ardından görülebilecek bir nükleer kışa benzetenler oldu. Gökyüzü kararmıştır. Güneş olmadığından fotosentez büyük ölçüde yavaşlamış, hatta durmuştur. Planktonlar ve bitkiler biraz azalır, onlarla beslenen hayvanlar, ve hayvanlarla beslenen hayvanlar da öyle... Her şey durur. Yalnızca pek özelleşmemiş, basit türler

hayatta kalabilirler; çünkü Jean-Marie Felt'in çok iyi anlattığı gibi bunların uyum yetenekleri daha yüksektir.*

— *Birinci Zaman bir yanardağ ve buzul felaketiyle sona erdi demek...*

— ... üstelik en sertinden! Bu felaketin peşinden havanın soğuduğunu, denizlerin de önemli ölçüde gerilediğini biliyoruz.

— *İkinci Zaman ne kadar sürdü peki?*

— 180 milyon yıl. Birinci Zaman'ın yarısından biraz fazla. Jeolojik devirler gitgide kısalır, çünkü yaşam izleri sayesinde elimizdeki bilgiler artıyor, böylece daha ince ayrım noktaları tespit edebiliyoruz. İkinci Zaman üç evreden oluşur: Triyas, Jura ve Kretase.

— *Bu çağda neler oldu?*

— Dinozorlar gezegeni istila ettiler. Yaşam atağa kalktı. 30 milyon yıl sonra, Triyas sonunda ilk memelilerin izlerine rastlanır. Jura'da ilk kuşlar uçmaya başlar, Kretase'de ilk çiçekli bitkiler hayata gözlerini açar. Ve levhaların bitmek bilmeyen dansı sürüyordu. Okyanuslar açılıyor, okyanuslar kapanıyordu; kıtalar yakınlaşıyor ya da birbirinden uzaklaşıyordu. Bu devirde Yerküre'nin görünüşü, bugünküne oldukça yakındı.

MONT BLANC BİR PLAJKEN

— *İkinci Zaman'ın başında manzara nasıldı?*

— Permiyen'de, kıtaların çarpışması sonucunda meydana gelen süper-kıta Pangea çatlamaktaydı. Laurasia'yla Gondvana'yı birbirinden ayıran dev Tetis Körfezi kapanmaya başladı.

— *O zamanlar Fransa neredeydi?*

— Fransa bugün bildiğimiz biçimine sahip değildi; çizgileri belirginleşmemişti. Atlantik henüz ortaya çıkmamıştı. Günümüzde bölgemiz oldukça dikkat çekici doğal sınırlarla

* Bkz., *Bitkilerin En Güzel Tarihi*, Seuil, 1999.

çevrilidir: Manş, Atlantik kıyısı, Pireneler, Akdeniz kıyısı, Alpler, Ren çukuru... Bunların hiçbiri yoktu ortada. Triyas'ta Fransa, batıdan gelen tembel ırmakların alüvyonlarını bıraktığı geniş bir ovanın bir parçasıydı. Güneydoğuda Tetis bulunuyordu. Alpler'in yerindeyse, bir deniz kıyısı.

— *Buna ilişkin izler var mı elimizde?*

— Elbette. Bu dönemde, gayet yakından tanıdığımız birikintiler oluştu: Nehirlerin taşıdığı kumlar, lagünler ki diplerindeki çökeltiler hâlâ biraz tuzludur, bir okyanusun varlığını kanıtlayan kireçli kabukları olan hayvanlar... Bütün bunlar, kumlu bir kıyının bir lagüne, daha sonra sığ bir denize dönüştüğünü gösteriyor. Anlattığımız yer, Laurasia'nın güney kıyısıydı.

— *Alplerin yerinde kumsallar mı vardı?*

— Ve lagünler. Yanardağ patlamalarının ya da depremlerin görülmediği, oldukça sakin bir ortam mevcuttu.

— *Bu cennet hangi enlemler üzerinde yer alıyordu?*

— Bugünkünden daha güneyde; üstelik geniş ormanlarla kaplıydı. Kıtaların kağnı hızıyla hareket ettiğini biliyoruz. Bu nedenle karalarda şimdikinden farklı iklimlere özgü, fosilleşmiş fauna ve flora örnekleri bulmak mümkündür. Yüz milyon yıl önce, Karbonifer'de, Kuzey Avrupa olduğu gibi ekvator kuşağında yer alıyordu. Öte yandan burada sözünü ettiklerimiz, son derece ağır ilerleyen, herhangi bir felakete yol açmayan değişimlerdir.

— *Öyleyse ne oldu da bölge bu kadar değişti?*

— Tetis Okyanusu'nun var olduğu günlerde, Avrasya kıyısından bakıldığında uçsuz bucaksız bir deniz görülüyordu. Yalnızca deniz vardı, o kadar. Ne var ki bu huzur aldatıcıydı: Önemli bir olay meydana gelmekteydi; Tetis küçülüyordu. Okyanusal tabanı mantonun içine gömülüyordu. Ve aynı anda, Atlantik Okyanusu açılmaya başlamıştı.

— *Peki bütün bunlar olurken Yerküre hiç çalkalanmıyor muydu?*

— Bugün Japonya'da olandan daha fazla değil. Bu da demek oluyor ki, gene de oldukça büyük depremler yaşanıyor-

du. Ama en önemlisi, Avrupa'nın tehlikeli biçimde, Tetis'in güney kıyısını oluşturan kıtalara; özellikle Afrika'ya yaklaşmasıydı. Afrika'nın İtalya gibi bazı çıkıntıları Avrupa'nın kıyılarına dayandılar; çünkü Afrika'nın kıtasal kabuğu, yoğun okyanusal kabuk gibi mantoya gömülemiyordu.

— *Afrika'nın hareketi durdu mu?*

— Hayır. Böyle bir hareket o kadar kolay durmaz. İki blok birbirlerine yaklaşmaya devam etti. Afrika ve Avrasya, yer yer birbirlerinin üstüne binmeye başladılar. Kıtasal kabuk kalın ve hafif olduğundan, bu yığılma sonucunda engebeler yükseldi.

DAĞ VE KARAMELA ŞEKERİ

— *Kısacası dağları doğuran şey, kabuğun yükselmesi. Ben de yerkabuğunun kıvrılmasıyla oluştuklarını sanıyordum.*

— İkisi hemen hemen aynı şey. Sıradağların olduğu yerde, kabuk kısalmış demektir. İki karamela alın, ikisini bütün gücünüzle birbirine bastırın: Karamelalar kıvrılıp kalınlaşacaktır. 30 kilometre kalınlığındaki iki kıtasal blok çarpıştığında aşağı yukarı böyle bir şey meydana gelir.

— *Ama karamelaların alt kısmı da kalınlaşır.*

— Dağlar da öyle. Hatta çok daha fazla! Bizim gördüğümüz, yalnızca yüzeydeki kısımdır. Gerçekte dağlar da yalnızca onda birlik bölümleri su yüzünde olan buzdağları gibidirler. Arşimed prensibinden kaynaklanır bu. Kıtasal kabuk yoğunlaşır ve ağırlığına bağlı olarak mantoya gömülür; yüzeyi aşan kısım da batan kısımla orantılıdır.

— *Bu durumda bir dağ ne kadar yüksekse, altındaki kıtasal kabuk da o kadar kalın demektir, öyle mi?*

— Doğru. Orantı aşağı yukarı bire yedidir. 1000 metre yükseklikteki bir engebenin 7000 metrelik bir kökü vardır. 3000'i yediyle çarparsak, Alpler'in kökü, kabuk seviyesinden yaklaşık 21 bin metre derine iner; kabuk seviyesinin normalde 35 kilometre derinde olduğu düşünüldüğünde, kök top-

lam 56 kilometreye ulaşmış demektir. Zirvelerinin çoğu 8000 metreyi aşan Himalaya'nın kökü yer yer 70 kilometreyi bulur. Bütün bunların nedeni mantoyla, üzerinde yüzen kabuğun yoğunluklarının farklı olmasıdır.

— *Bizim bildiğimiz yaklaşık 9000 metre yükseklikteki dağlardan daha yüksek dağlar olabilir mi?*

— Hayır. Birincisi, doğa zirveleri yükseltirken gitgide daha fazla enerji harcadığı için. Bir an gelir, dağların tabanlarını genişletmek tepelerini yükseltmekten daha kolay olur. Öte yandan dağlar sonsuza kadar yükselemezler, çünkü ne kadar yükselirlerse erozyon onları o kadar yer bitirir. Zirvelerde yokuşlar çok diktir, ve buzullar gibi dağı yıpratan, ürkütücü etkenler vardır.

— *Bu durumda belli bir yükseklikten itibaren erozyon tektoniğe baskın geliyor, ve dağların aşınma hızı yükselme hızını aşıyor, öyle mi?*

— Evet ama, küçük bir karışıklık var. Erozyon zirveyi yok eder; ne var ki az önce her dağın bir kökü olduğunu gördük; ve bunun sonucunda izostatik denge gereği her şey biraz daha yükselir. Tepesini keserseniz dağ hafifler, böylece yeniden yükselir.

USLU ALPLER

— *Mont Blanc hâlâ yükseliyor mu?*

— Sıradağlarda hareket hep ön ülkeye kayma eğilimindedir. Alplerin en eski bölümü ortadakidir. Orada, örneğin Brinançon'la Montgenèvre Boğazı arasında yer alan küçük bir kayak istasyonu olan Chenaillet'de, ünlü lav yatakları vardır. Bunlar bir zamanlar deniz dibinden gelmiş olan bazaltlardır. Kısacası 2600 metre yükseklikteki bu yerde, ortadan kalkmış olan bir okyanusun izini görürüz. Alpler'in her yerinde bu kayalardan görülür. Ama bu iç bölge ölüdür; burada artık pek bir şey olmaz. En azından dağ kısalmaz. Buna karşılık, zirvenin, yani Mont Blanc'ın öbür tarafına geçip

Ön-Alpler'e ulaştığımızda yeniden hareketlilik başlar, çünkü Avrupa levhası tam bu noktada, dağ zincirinin önünde mantoya gömülmektedir.

— *Yani Alpler'in hikâyesi henüz bitmedi mi?*

— Kesinlikle hayır! Hâlâ oluşum halindeler; ama çok düşük bir tempoda: İtalya, yılda en fazla 5 milimetrelik bir hızla Fransa'ya yaklaşıyor.

— *Alpler'in olduğu bölgede büyük depremlerin az görülmesinin nedeni bu mu?*

— Evet, neden bu. Deformasyonun yılda 5 milimetrelik bir hızla gerçekleştiği düşünülürse, 10 metreye ulaşıp ansızın gevşemesi iki bin yıl alır. Jül Sezar'dan önce Alpler'de meydana gelmiş büyük bir deprem hatırlamıyoruz; Galyalılar gökyüzünün tepelerine ineceğinden korkuyorlardı, ama o başka! Sonuç olarak Alpler, uzun zaman önce ortaya çıkmış, biraz ağır kanlı sıradağlardır. Düşünebiliyor musunuz; Alpler'in oluşumu doruk noktasına Miyosen'de ulaşmıştır; Tersiyer'in bir evresidir Miyosen; günümüzden 20 ila 5 milyon yıl öncesindeki dönemdir; ilk antropoidler tam da o zaman sahneye çıkmıştır.

— *Birkaç milimetrelik yükselmeleri ölçebiliyor muyuz?*

— Evet, ama çok zor. Ayrıca, bunu izostatiğe bağlı yükselmeden de pek ayırt edemiyoruz: 10 bin yıl önce buz takkesinin erimesi kabuk üzerindeki ağırlığı azaltti...

— *Gezegenin ısınmasıyla dağların yükseldiğini mi söylüyorsunuz?*

— Elbette. İskandinav dağları kıtasal kabuğun kısalmasıyla oluşmadı; tam tersine, bu dağlar açılmakta olan bir okyanusun kıyısında yer alıyorlar. Kaledoniyenler güzel sıradağlardır; ne var ki o taraflarda 400 milyon yıldır yaprak kımıldamamıştır. Ama bundan 20 bin yıl önce, üzerleri büyük ölçüde buz takkesiyle kaplıydı. Baltık ve Kaledoniyenler, bu ağırlığın altında mantoya gömülmüşlerdi. Derken buzlar eridi ve bunun sonucunda yük hafifledi. Yer, inanılmaz bir hızla yükseldi: 12 bin yılda 2 kilometre! Antarktika kıtasının üzerindeki buzullar erirse, orası da yükselir... Prensip son de-

rece basit. Yük gemilerine bakın: Gemi boşaltılınca su kesimi çizgisi metrelerce yukarı çıkar... Alpler'de de günümüzde kesinlikle bu türden bir sıçrama vardır.

AKDENİZ'DE BULUŞALIM

— *Çarpışmalara dönelim yeniden. Madem iki kıta İkinci Zaman'da Alpler'in oluşmasını sağlayacak kadar büyük bir şiddetle çarpıştılar, neden bugün birbirlerine değmiyorlar?*

— Aslında iki levha birbirine değiyor: İtalya, Afrika levhasının bir çıkıntısıdır. Öte yandan, Alpler'in Akdeniz'deki uzantılarının durumu gerçekten de çok karışık. Akdeniz henüz tam olarak kapanmış değil; geride hâlâ Lion Körfezi, Tirren Denizi, Adriyatik Denizi, vb. var. Bütün bunların nedeni, hareketlerin çok yavaş olması ve kesintilere uğraması. Üstüne üstlük, ilerlemeye devam eden Afrika'yla Avrupa'nın arasında kara parçalarından oluşan bir mozaik var. Tetis'in parçaları ya da başka bir levhanın kırıntıları, örneğin kuzeyde Pireneleri yaratan İspanya, ya da Fransa'yla İspanya'nın bir parçası olan Korsika-Sardinya kütlesi. Zaten günümüzde Batı Avrupa'da en büyük depremler Fransa'yla Korsika arasında yaşanıyor.

— *Neden Akdeniz'de durum çok karışık?*

— Çünkü birbiriyle çarpışmış olan kütlelerin kenarları çok oyuncaklıydı, çarpışmanın etkisiyle de iyice arap saçına döndüler. Bugün Alpler kıvrımlar çizer. Torino'da kışın, hava açık olduğunda İtalyanlar şöyle derler: "*Si vede l'arco delle Alpi.*" Evet, gerçekten de Alp yayı tarafından kuşatılmış durumdasınızdır. Bunu her yönden görebiliriz: Kuzeyde, batıda, güneyde, ve hatta epey uzaklara kadar batıda. Bu yönde dağ zinciri Viyana'ya kadar hemen hemen düz bir çizgi halinde uzanır; ardından yeniden yaylanır: Romanya'nın büyük bölümü Karpat yayı tarafından çevrelenir.

— *Karpatlar Alpler'in bir parçası mıdır?*

— Ayrıca Apeninler, Fas'taki Rif Sıradağları ve Atlas

Dağları da öyle. Değişik gelişim seviyelerini içeren bir sistem söz konusudur. Aiolya Adaları'nın oluşturduğu yayın içinde, halen aktif durumda olan Vulcano'yla Stromboli yanardağları vardır. Hemen hemen kapanmış olan İyon Denizi'nin tabanı da okyanusal levhanın bir kalıntısıdır. Girit'in kuzeyinde, 200 metre derinliğe kadar depremler gözlenmektedir. Bu bölgede sismograflar sayesinde, Tetis'den geriye kalan tabanın ağır ağır Ege Denizi'nin altına gömüldüğünü görebiliyoruz. Bu dalma-batma olayının göstergelerinden biri de aktif Santorini Yanardağı'dır.

— *Mağrip depremlerini yaratan da –Oran, Agadir, El Asnam, vb.– Alp sistemi mi?*

— Evet. Atlas, yükselmekte olan bu levha sınırının bir parçasıdır.

— *Bu dönem, Yerküre'nin iç etkinlikleri bakımından son derece zengindi. Farkında olmadan İkinci Zaman'ı Üçüncü Zaman'dan ayıran sınırı aştık. Bu arada büyük felaketler meydana gelmedi mi?*

— Geldi. Hem de korkunç felaketler. Dinozorlar ne Alpler'i gördüler, ne Himalaya'yı.

SAHNE 3

YAŞANILAN GEZEGEN

Korkunç güzellik! Yerküre'nin titrediği, yanardağların patladığı, kıtaların çarpıştığı yerde yoğunlaşacak yaşam. Çünkü bu tehlikeli yerler, aynı zamanda en güzel, hem de en zengin bölgeler.

HOŞÇA KALIN DİNOZORLAR! MERHABA MEMELİLER!

— *Üçüncü Zaman hangi korkunç felaketle başladı?*

— PAUL TAPPONNIER: Gene birtakım türlerin, özellikle de 150 milyon yıldan fazla bir süre gezegene hükmetmiş olan dinozorların ortadan kalkması. Dinozorların yanında pek çok deniz canlısının da kökü kurumuştu; örneğin şu meşhur ammonitlerin; 4. sınıfların pek sevdiği, salyangoza benzeyen fosiller vardır hani.

— *Suç gene yanardağlarda mı?*

— Görünüşe bakılırsa, bu kez pek çok felaket üst üste gelmişti. Korkunç yanardağ patlamalarının izlerinin tartışma götürür yanı yok. En şiddetli patlamalardan biri Hindistan'da, Dekkan'da meydana gelmişti. Birkaç yüz bin yıl içinde Hindistan yarımadasının üçte biri bazalt tabakalarıyla kaplanmıştı; bazaltların yığılmasıyla yükseklikleri kilometreleri bulan falezler oluştu; üzerlerinden akan lav derelerinin hacmi de bir o kadar vardı. Buna *trapp* denir; *merdiven* an-

lamına gelen, İsveç kökenli bir sözcüktür bu. Son derece kısa bir sürede, milyonlarca kilometrekarelik alanları kaplayan yanardağ patlamasının nasıl bir şey olduğunu hayal edebiliyor musunuz? Bir sorguç, yukarıya yükselen yakıcı bir kabarcık söz konusuydu; daha önce bahsetmiştik bunlardan. Derken, Dekkan'daki bazalt ırmakları sihirli bir tarihte yerli yerine oturdu: 65 milyon yıl önce, tam dinozorların kökünün kuruduğu zamanda. Yani hemen hemen; teropod dinozorlarla yakınlığı olan kuşlar, hayatta kalmayı başardılar.

— *Pek çok faktörün el ele verdiğini söylüyordunuz.*

— Evet. Olağanüstü kozmik çarpışmaların da türlerin ortadan kalkmasına neden olabileceğini, ayrıca güneş sisteminin ilk oluştuğu zamanlardan sonra nadiren meydana gelmişseler de, bu tür olayların tekrar yaşanabileceğini biliyoruz. Dekkan'daki volkanik oluşumlar, dev bir göktaşı çarpmasıyla yaşıttırlar.

SUÇ ALETİ

— *Bir göktaşı da yanardağlarla aynı etkiyi yaratabilir mi?*

— Kesinlikle. Öncelikle denizde olağanüstü bir kabarma olur. Uzun süre bu söylediğim yalnızca bir hipotezdi; dev bir krater bulan olmamıştı. 65 milyon yıl öncesi, çok eski bir tarih sayılmaz; her şeyin silindiğine inanmak güçtü. Tek açıklama, göktaşının üzerine düştüğü levhanın mantoya gömülüp kaybolmuş olması olabilirdi. Gene de elimizde bir belirti vardı: Bu çağa tarihlenen bazı tortularda bir anormallik görülür. Bazı yerlerde çok zengin iridyum yatakları vardır; iridyum, Yerküre'de nadir rastlanan bir madendir. Çok yoğun olduğundan, bunun yalnız çekirdekte bulunması gerekirdi. Buna karşılık, gezegenler arası nesnelerde bu madenden hatırı sayılır miktarlarda bulunabiliyor. Büyük boy bir göktaşı, Yerküre'ye anormal miktarda iridyum getirebilir. Gene 65 milyon yıl öncesine ait, şoklanmış kuvars da bulundu.

— *Kim şoklamış kuvarsı?*

— Bir göktaşı, içinde kuvars bulunan bir granitin üzerinde parçalandığı zaman, ansızın olağandışı bir basınç ortaya çıkar, bu da kuvarsın içinde özel, kristalimsi yapıların kendini göstermesine neden olur.

— *Gene birtakım ipuçları var; ama suçlu hâlâ ortada yok.*

— Var; sonunda suçluyu Meksika'da, Yucatan yarımadasındaki Chixculub'da bulduk. Resif çökeltilerinin altına gömülmüş, dev bir krater; deniz koca deliği istila edip, içine tortullar bırakmıştı. Bu nedenle delik gözle görülemiyor. Böyle bir kraterin varlığını da yapılan derin jeofizik sondajlar sayesinde öğrendik. Bunun yanında çarpışmadan geriye kalan döküntüler de bulundu.

— *Ne zamandan kalma?*

— 64,9 milyon yıl öncesinden. Zavallı dinozorlar, bir korku filmi yaşadılar! Düşünebiliyor musunuz; korkunç bir çarpışmanın sonucunda büyük olasılıkla deniz yükselerek önüne geleni yutuyor, ardından yerkabuğu aerosol'lerle, tozlarla, vb... kaynaşıyor. Ve gene aynı dönemde, birkaç bin yıl önce yerin derinliklerinden yola çıkmış olan, kuzeye doğru hareket eden yakıcı bir sorgucun başı Hindistan'ın altına ulaşıyor ve cehennemi yanardağ patlamalarına yol açıyor.

— *Göktaşının çarpması da Yerküre'yi sarsarak yanardağ patlamalarını tetiklemiş olamaz mı? İki olay birbiriyle bağlantılı değil mi?*

— Göktaşı gezegeni mutlaka sarsmıştı, ama kabarcıkların yüzeye doğru yükselmeye başlamasına çarpışma neden olmadı. Kabarcık 3000 metre yükselmişti; bu da gene biraz zaman almış olmalı! Belki çarpışmanın Dekkan'da, bir de Thule'de çatlaklar açılmasını kolaylaştırdığını düşünebiliriz; Thule'deki aşağı yukarı bu döneme tarihlenen *trapp*'lar, Grönland'la İskoçya arasında Atlantik'in açılmasında başrolü oynadılar. Ama Chixculub'daki çarpışma, bir sorgucun yükselmesine neden olamazdı.

— *Gene de, böyle sıra dışı felaketlerin aynı anda meydana gelmesi...*

— Tesadüflerden hoşlanmamakta haklısınız, ama oluyor

bazen. Yerküre'den bakıldığında Ay'ın görünen çapı, Güneş'inkiyle aynıdır. Oysa bu, yalnızca bir tesadüftür. Jeolojik zamanlarda katmanların değişmesiyle iç içe yürüyen, pek çok olağandışı yanardağ patlamasının meydana geldiğini biliyoruz. Örneğin Tersiyer'de, Etiyopya *trapp*'ları yaklaşık 30 milyon önce Eosen'den Oligosen'e geçişe tanıklık etmişlerdir. Oldukça küçük bir felakettir bu; ama olmuştur. Küresel Fizik Enstitüsü'nden Vincent Coursept faunadaki ve floradaki önemli değişikliklerle aynı zamana denk gelen yedi önemli yanardağ etkinliğini ortaya koydu. Yani, gezegene damgasını vuran felaketlerden bazılarının kaynağı yanardağ patlaması, bazılarınınki bir çarpışmadır. 65 milyon yıl önce, kuşkusuz bunların ikisi birden yaşandı.

10 BİN YIL SÜREN BİR GECE

— *Bu olayların etkisi uzun sürdü mü?*

— Evet. Yoksa, yaşam bu kadar etkilenmezdi. Bir göktaşının Yerküre'ye çarpması kuşkusuz başlı başına bir felaketti, ama tam çarpışma ânında, yani büyük bir hızla, olumsuz etkisi uzun süre silinmeyecek, kalıcı bir durum yaratmasa bu derece yıkıcı olmazdı. Büyük çaptaki yanardağ patlamaları da on binlerce yılı karanlığa boğabilecek güçteydiler.

— *Bir sorguç patlaması bugün hâlâ meydana gelebilir. Peki, yazgımız da hâlâ dev bir göktaşının elinde mi?*

— Yerküre ilk oluştuğu zamanlarda, göktaşı bombardımanı yoğundu. Diskin içindeki en büyük nesneler elektrik süpürgesi gibi ortalıktaki her şeyi kendilerine çekiyorlardı. Çevrelerini güzelce temizlediler. Böylece bu nesneler gitgide azaldı, ama tamamen yok olmadılar; özellikle de küçüklerinden hâlâ vardı. Öte yandan Yerküre'de oldukça yeni sayılabilecek, belli sayıda büyük krater olduğunu biliyoruz. Arizona'daki çok ünlüdür; ama bunun yanında Almanya'da Ries, Haute-Vienne'de Rochehouart vardır; bu sonuncusu adıyla müsemma; *roche choir* diye de okunabilir, yani 'düşen kaya'.

— *Yani tehlike geçmiş değil.*

— Hayır. Ama çarpışmanın bütün gezegeni etkileyebilmesi için, ona çarpacak göktaşının gerçekten büyük olması gerekir; kilometrelerce uzunlukta bir çapı olmalıdır. Böyle bir kütle yerkabuğunu, hatta mantonun üst bölümünü delerek olağanüstü miktarda gaz ve atık püskürmesine neden olabilir. Denize düşerse, su insanı korkutacak kadar yükselebilir.

HİÇLİKLER ÇAĞI

— *Demek belli sayıda memeli, ödleri patlamış bir halde de olsa, bu olaydan sonra hayatta kalabildiler. Yavaş yavaş dinozorların boşalttığı alanı istila edecekler. Bu durumda, yeni başlayan Tersiyer dönemi, biraz bizimkine benziyor olmalı.*

— "Biraz" değil. İşin aslında, Chixculub krateri ve Dekkan *trapp*'larından sonra, gezegenimizin tarihinde yeni bir çağın başlamasına yol açacak hiçbir şey olmadı. Karbonifer tek başına 65 milyon yıl sürmüştür. Kretase'ye göre 5 milyon yıl eksiği olan bu zaman dilimiyle sona eriyordu İkinci Zaman. Yani, çok kısa bir dönemdir bu. Tersiyer ise yalnızca 63 milyon yıl süren bir dönem olarak kabul edildi; ardından da 2 milyon yıl önce başlayan, hâlâ da devam eden bir Dördüncü Zaman geliyor. Sonuç olarak, jeolojik açıdan bakarsak, hâlâ 65 milyon önce başlamış olan Tersiyer'de yaşadığımızı söyleyebiliriz.

— *Öyleyse niye bir Dördüncü Zaman tanımlamaya gerek duyuldu?*

— *Homo sapiens*'in gelişini kutlamak için! Ama şunu da daha önce söylemiştim: Bugüne yaklaştıkça elimizdeki bilgiler artıyor. Bunun sonucunda daha ince sınıflamalar yapabiliyoruz. Küçücük Tersiyer bile kendi içinde beşe bölündü: Paleosen, Eosen, Oligosen, Miyosen, ve 5 milyon yıl önce başlamış olan, ilk insanların ilk aletleri keşfettiği Pliyosen.

— *Tekrar bire bir Yerküre'nin tarihine dönelim. Tersiyer'de başına neler geldi?*

— 110 milyon yıldır, başta Hindistan ve Avustralya ol-

mak üzere Gondvana'nın doğudaki parçaları Laurasia'ya yaklaşıyordu. Daha önce güneyden gelen başka kara parçaları da kıtaya çarparak onunla kaynaşmışlardı. Derken son olarak Hindistan, Paleosen'de en ilginç dağ dizisini oluşturmaya başladı: Himalayaları.

— *Afrika'dakiyle aynı senaryo mu bu?*

— Tam olarak değil. O zamanlar Hindistan, okyanusal bir levhanın ortasında yer alan bir tür kıtasal adaydı. Kuzeyde Tetis vardı; onun da tabanı Asya'nın altına dalmaktaydı. Bu dalma-batma hareketinin etkisiyle Hindistan yaklaşıyordu; Réunion'un sıcaklık noktasını aşmış, Dekkan *trapp*'larını doğuran yanardağ patlamasından da payını almıştı ve olanca hızıyla ilerliyordu.

— *Hızlı mı hareket ediyordu?*

— Hem de baş döndürücü bir hızla: Tetis'in mantoya gömülme hızı, yılda 10 santimetreden fazlaydı! Jeolojik zaman ölçeğinde görülmemiş bir şeydir bu: İnsanın algılayabileceği bir hızdan bahsediyoruz. Sokağınızı on yılda bir, bir metre daraltırlarsa, değişikliği fark edersiniz!

— *Günümüzde hâlâ bu kadar hızlı dalma-batma hareketleri var mı?*

— Sayılır. Örneğin Japonya'nın kuzeyinde Pasifik Okyanusu'nun tabanı, yılda 9 santimetre hızla takımadaların altına gömülüyor. Japonya, Avrasya levhasının kenarını oluşturur. Sismik tomografi teknikleri sayesinde, artık sıcak bir ortamın ortasında yer alan soğuk kütleleri görüntüleyebiliyoruz. Öyle ki, Pasifik levhasına 700 metre derinliğe kadar, 45 derecelik bir eğimle bakabiliyoruz.

HİNDİSTAN'IN ÇARPMASI, HİMALAYA'NIN AĞIRLIĞI

— *Ve Hindistan, yolculuğun sonuna geldi...*

— Levhanın kuzeyinde büyük yanardağlar vardı. Sıcaklık artıyor, madde eriyordu. Ardından çarpışma meydana

geldi. İlk başta, Hindistan'ın kuzey kıyısı buruştu. Okyanusal levhanın ortasına oturtulmuş olan bu kıta, fazladan 30 kilometrelik kalınlık demekti! 30 kilometrelik bir fazlalık. Böylece Hindistan levhasının kıtasal bölümü, kelimenin tam anlamıyla Asya levhasının kenarı tarafından rendelendi. Hindistan'ın kabukları üst üste yığıldılar.

— *Marangoz rendesinden fırlayan yongalar gibi mi?*

— Kesinlikle öyle. Tek fark, kıta kabuklarının yongalar gibi lüle lüle kıvrılmamış olmaları. Bir buldozer düşünün: Önüne çıkan maddeler yığılır, kıvrılır, kalınlaşır.

— *Bu maddelerin yüksekliği ne kadardı?*

— Yükseklik yalnızca yığının kalınlığına değil, ayrıca mantoya gömülen levhanın ağırlığına ve katılığına da bağlıydı.

— *Bu nasıl oldu?*

— Hindistan'ı mantonun içine sürükleyen levhanın ağırlığı, ayrıca üzerinde taşıdıklarını da aşağıya doğru çekiyordu. Hindistan levhası, Asya levhasının altına girebilmek için bükülüyor, ama bir yandan esnekliğini de koruyordu. Kırılma noktasına varmadan bükülen bir yay ya da plastik bir cetvel gibi. Plastik cetveli eğip bırakın; oldukça uzaktaki bir silgiyi bile havaya fırlatabilir! Bükülen bölgede yer alan Himalayalar da yukarıya doğru itilmiş, böylece yapay bir yüksekliğe kavuşmuştur.

— *Himalaya zinciri, olması gerektiğinden daha mı yüksek?*

— Evet. Oluşumunun ilk başında, zirveler büyük olasılıkla daha alçaktı; en azından şu andaki hallerinin yanına bile yaklaşamazlardı. Bunun nedeni de, mantonun içine batmakta olan levhanın toplam ağırlığının bugünkünden daha fazla olmasıydı.

— *Çarpışma ne zaman meydana geldi?*

— Yaklaşık 55 milyon yıl önce. Ama bunu, dolaylı işaretlerden çıkarabiliyoruz. Hindistan'ın o hadde makinesinin içine gömülürken ve rendelenirken pek sakin durmayacağını anlamışsınızdır. Altında, sürtünme ve batmanın etkisiyle ısınıp eriyen kayalar vardı. Böylece granitler oluşuyordu, onlar da sırası gelince başkalaşıma uğradılar... Ne var ki ısınan kayalarla ilgili çarpıcı izlere, ancak çok daha geç bir

dönemde rastlıyoruz: 25 milyon yıl önce. Bu noktada da bizi aydınlatan gene yaşam. Yaklaşık 55 milyon yıl önce, Asyalı memelilerden oluşan bir fauna birden Hindistan'ı istila ederek, o zamana dek ülkeye hükmeden, çok daha az gelişmiş keselileri büyük bir hızla siliverdi. Günümüzden 10-15 milyon yıl sonra, Avustralya ve Asya'nın birbiriyle teması sonucunda karmaşık bir ada dizisi değil de başka bir şey ortaya çıktığında, büyük olasılıkla aynı şey yaşanacak.

— *Avustralya da Avrasya'ya mı yapışacak?*

— Elbette. Şu anda kuzeye doğru ilerlemekte olan, eski Gondvana'dan kalma bütün kütleler gibi.

— *Temasın tarihlenmesini sağlayan, yalnızca çıplak ayakla bir kıtadan ötekine geçen memelilerin izleri mi?*

— Hayır. Elimizde başka bir ipucu daha var. Everest'in kuzeyinde, iki kıtanın bitiştiği yerin güneyinde, yaklaşık 55 milyon yıl önce tortullarda çarpıcı bir değişiklik olduğu gözleniyor. Kırmızı çakıllardan oluşan bir kıtasal çevrede buluyoruz kendimizi; oysa daha önce elimizde deniz tortuları vardı: Fosil kaynayan kireçtaşları, *nümülitler.*

— *Nümülit ne demek?*

— Bozuk paraya benzeyen ve derin sularda yaşayan küçük organizmalar. Mısır piramitleri, nümülitik genç kireçtaşlarıyla inşa edilmiştir.

— *Himalayalar'da deniz kabukluları mı var?*

— Evet. Bu herkesin aklını başından alıyor, ama daha Buffon zamanında bu biliniyordu. Her yükseklikte tortul kayalar var. 5600 metreye doğru, topu topu 55 milyon yıl önce bir deniz kıyısında çökelmiş kireçtaşlarına rastlanır. Ve Everest'in zirvesinde, 8880 metrede, çok daha eski bir zamanda bir okyanusun dibinde oluşmuş kireçtaşları bulunur.

— *Sanırım Himalaya'nın yükselişi sürüyor?*

— Kesinlikle evet. Hatta gezegenin en önemli jeolojik olayı bu. Ama sıradağ, levhalar ilk çarpıştığında oluşmadı. Anlaşılan ilk zamanlar, mantoya dalan levha ötekine fazla sürtünmeden süzülüyordu. Çarpıcı engebeler, yalnızca yirmi milyon yıl önce ortaya çıktı.

— *Hareketin ritmi bugün de aynı mı?*

— Çarpışma ânında belirgin bir yavaşlamanın olduğu açık. Hindistan'la Sibirya'nın birbirine yaklaşma hızı yılda 12 santimetreden, birkaç milyon yıl içinde yılda 5 santimetreye düştü. Ama Hindistan, levha ilerledikçe yılda 2 santimetre kısalıyor hâlâ.

HAYALET KITA

— *Dağlar oluşurken, Hindistan'ın yüzeyde görünmeyen bölümünü mü yiyorlar?*

— Yalnız Himalayalar. Ortaasya'daki ve Tibet'teki öteki büyük dağların durumu farklıdır. Onlar, geriye kalan 3 santimetreye tekabül ederler. Ama bu böyle devam ederse, Asya'dan daha küçük olan Hindistan, bütünüyle batma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Himalayalar'ın altında yüzlerce kilometrelik kabuk zaten mantoya batmış durumdadır. Sonunda Hindistan tamamen ortadan kalkıp bir sıradağa dönüşebilir. Önünde bir okyanus, altında da batmakta olan Hint Okyanusu'nun tabanıyla...

— *Böyle kaybolmuş kıtalara bilinen bir örnek var mı?*

— Belki. Güney Amerika'da bir kıta olduğu gibi ortadan kalkmış olabilir. Peru'nun güneyiyle Şili'nin kuzeyi arasında, And Sıradağları bir girinti gibidir; sanki levha doğu kenarına doğru çökmüş gibi. Öte yandan aynı yerde sıradağlar genişleyerek, dünyanın Tibet'ten sonraki en önemli yüksek platosu olan Altiplano'yu oluşturur. Bu bakımdan, platonun Nazca levhasının taşıdığı kayıp bir kıtanın kalıntılarını barındırdığı düşünülebilir; Nazca hâlâ Andlar'ın altına doğru gömülmektedir.

— *Himalaya yılda 5 santimetre yükseliyor mu?*

— Hayır! Levhanın ilerleyişi burada daha ağır yürüyen olaylar doğuruyor. Size söylemiştim: Himalayalar'ın kabarması büyük oranda, mantoya gömülen eğik yüzeyin eğimine bağlıdır. Dağ bir yılda yalnızca 10 milimetre yükseliyor.

— *Bu hız nasıl ölçülüyor?*

— Hâlâ toprağı kazan nehirler sayesinde. Akarsular dağı çizgi çizgi yararlar; yataklarının eskiden bugüne göre 100 ila 200 metre daha yukarıda olduğu görülebiliyor. Yataklar tarihlenir, ve böylece nehrin ne kadar zamanda yatağını kazdığı anlaşılır. Nehir hep aynı yükseklikte kaldıysa, bu, dağ yükselirken aynı anda nehrin de yatak kazdığını gösterir.

— *Hindistan ne kadarlık bir hızla daralıyor?*

— Yeni Delhi, yüzyılda 2 metrelik bir tempoyla Everest'e yaklaşıyor.

— *Levhalar arasındaki sınırlarda her zaman dağ sıraları mı olur?*

— Her yerde değil. Sınırların olduğu yerlerde riftlere de sık rastlanır. Bunlar, genellikle sonunda sular altında kalan ince koridorları çevreleyen çöküntü fay sistemleridir; bir bakıma dağların tam tersi sayılabilirler. Levhaların birbirine yaklaştığı ya da birbirinden uzaklaştığı belli başlı iki tür sınır vardır. Bu noktalarda olağanüstü bir jeolojik yaşama tanık oluruz. Volkanik yaylardan ve sıradağlardan oluşan bu hatlar çok uzun zaman önce insanoğlunun dikkatini çekmiştir. And Dağları'nın ortalama genişliği yalnızca 100 kilometre, uzunluğuysa 20 bin kilometredir. Atlantik Okyanusu'nun ortasını kat eden, genişliği 30 kilometreyi aşmayan sırt çizgisinin uzunluğu da bir o kadardır. Ama daha nadir görülen türden başka sınırlar da vardır; insan yerleşmeleri açısından en tehlikelileri de bunlardır, çünkü çoğunlukla etkileri kıtaların içlerine de yayılır.

TEHLİKELİ SÜRTÜŞMELER

— *Hâlâ levhaların arasındaki sınırlardan mı bahsediyoruz?*

— Evet. Bunlar yanal sınırlar. Bazen levhalar birbirine yaklaşmaz, birbirinden uzaklaşmaz; yan yana kayarlar. Biri bir tarafa gider, öteki sabittir ya da ters yönde ilerler; tıpkı birbirini sollayan ya da çakışan iki araba gibi. İki levha bü-

yük depremlere ve değişimlere yol açan faylar ekseninde birbirlerine sürtünürler.

— *Depremler, kayan iki levhanın arasında yer alan faylarda mı oluşur?*

— Sık görülen küçük depremlerin temelinde genellikle yanardağ hareketlerinin olduğu düşünülür. Tektonik kökenli olan en büyükleriyse daha geniş aralıklarla, levhalar arasındaki sınırları oluşturan faylar üzerinde meydana gelirler. Örneğin Asya'da, Tibet'in kuzeyinde böyle bir fay vardır. Gayet sessizdir. 2000 kilometre uzunlukta olmasına rağmen, sismograf icat edildi edileli, yani yüz on yıldır yerinden bile kıpırdamamıştır. Bununla birlikte, yüzyıllarca önce olup bitmiş pek çok depremin izini üzerinde taşır.

— *Fay, tam olarak nedir?*

— Bazılarının düşündüğü gibi ağzı fırın gibi açık bir çatlak değildir; bir yarık da değildir; yarık diye bir şey var, ama onlar gitgide açılırlar. Fay, birbirine sürtünerek kayan iki kayalık kütlenin arasındaki kırıktır. Ayağımız yere basarken her fayı kolayca tespit edemeyebiliriz ama uçaktan ya da uydudan bakınca açıkça görülebilirler. Faylar olağanüstü bıçak yaralarıdır. Jilet gibi düzgün, yüzlerce, hatta binlerce kilometrelik çizgilerdir bunlar.

— *Büyük depremler nasıl meydana gelir?*

— Bir levha, komşusuna göre yılda 5 santimetre ilerliyor olsun; bu da bir yüzyılda 5 metre eder. Amansız bir harekettir bu; iki levhayı birbirinden ayıran fay sıkışıp kalır. Böylece gitgide artan bir enerji birikimi olur. Kayaları eğip büken güçler, levhaların bir bölümünü de deformasyona uğratır. Derken günün birinde, gerilim ve deformasyon kayanın mekanik direncini aştığında korkunç bir kayma meydana gelir. Birkaç saniye içinde zemberek boşalarak, birikmiş olan bütün hareketi bir anda serbest bırakır. Fay yüzyıldır yerinden oynamadıysa levhanın kenarı 5 metre ilerler. Tutulan esnek enerjinin bir anda açığa çıkmasıyla, o noktada yüzyıllık ara kapanmış olur.

— *Gelecekte meydana gelecek büyük depremleri önceden bilebilir miyiz?*

— Kabaca, evet. Levhanın hareket hızı temel parametrelerdendir. 1934 Bihar-Nepal, 1950 Assam örneğindeki gibi depremlerde fay, bir anda 10 metre ilerler. 10 metre; hızın yılda 2 santimetre olduğu düşünülürse, iki depremin arasında beş yüz yıl var demektir. Tabii daha hızlı faylar da var. Örneğin Kaliforniya'da pek yakında deprem bekleniyor.

'BIG ONE'I BEKLERKEN

— *"Pek yakında" bir ya da on yıl anlamına mı geliyor?*

— On yıl, yirmi yıl... Ama deprem yarın da olabilir. Pasifik levhasıyla Kuzey Amerika levhasının arasında San Andreas fayı hareket halindedir. Pasifik levhasına bağlı olan Kaliforniya'nın kıyı kesimi, yılda 3-4 santimetrelik bir hızla Alaska'ya doğru ilerlemektedir. Birkaç milyon yıl içinde Los Angeles, fayın öbür tarafında yer alan San Francisco'yu sollayacaktır. 1857'de Los Angeles'in doğusunda, 300 kilometrelik bir şerit ansızın 5 metre yürüdü. 1906'da, yani yarım yüzyıl sonra, San Francisco civarında 400 kilometrelik bir hat 7 metre oynadı. Ama o zamandan bu yana hiçbir şey olmadı. Fay sıkışmış durumda. Gerçekte levhalar sürekli hareket halindeler. Ama yüzeydeki kayalar soğuk olduğundan katıdırlar, bu nedenle direnç gösterir, yalnız ani sarsıntılarla ilerlerler.

— *Bu durumda, bir sonraki darbe nasıl tahmin edilebiliyor?*

— Fayın ortalama ne hızla kaydığı biliniyor: Levhaların ilerlediği her yıl üç buçuk santimetre. Buna dayanarak, sıkışmanın kaç metrelik bir gecikme yarattığını ve bu açığın, son depremle gerçekleşen ani kaymaya ne kadar zamanda eşitlenebileceğini kolayca hesaplayabiliriz. Los Angeles yakınlarında bu kayma 5 metredir; yani Kaliforniya'nın güneyinde, San Andreas fayı, her 150 yılda bir büyük bir deprem yaratma eğilimindedir. Kuşkusuz tıkır tıkır işleyen bir saat değil bu; bununla birlikte: 1857+150 yıl, 2007 yapar. Her yıl 3 santi-

metre kaymasının gerektiği düşünülürse, fay daha şimdiden 5 metre geri kalmış durumdadır. Daha güneyde, eğlence dünyasının milyarderlerinin yaşadığı Palm Springs civarında uzun zamandan beri hiçbir aksilik olmadı. Richter ölçeğine göre 8 şiddetindeki *Big One* buradan patlak verecektir. Alarm sinyali çalmaya başladı bile; oradaki bütün eski binaları alelacele depreme dayanıklı hale getirmeye çalışıyorlar şimdi.

— *Richter ölçeği nedir?*

— Depremlerin gücünü ölçmeye yarar. En büyük depremler 9 şiddetindedir; duyularımızla algılayabildiklerimizse en az 3 şiddetinde olanlardır. Ama Richter logaritmik bir ölçek olduğundan, şiddetin derecesi yanıltıcıdır. Örneğin, 8 şiddetindeki bir depremde, 7 şiddetindeki bir depreme göre otuz kat fazla enerji açığa çıkar!

— *Başka levha hareketleri de –konveksiyon ve dalma-batma– da depremlere neden olur mu?*

— Elbette. Yüzeydeki tektonik hareketlerin hemen hepsi anlıktır; sarsıntılar ülkesidir yüzey, ve her sarsıntı bir depremdir. Sırt çizgilerinde gözlenen binlerce küçük deprem, faylar üzerindeki ani kopuşlardan kaynaklanır. Ve her yıl dalma-batma alanlarında kaydedilen binlerce büyük deprem, bir levhanın ötekinin altına süzülmesiyle tetiklenen sarsıntılardır. Gezegene yayılan sismik enerjinin %80'inin kaynağında dalma-batma olayı vardır.

SON KURŞUN

— *Bütün fayları, San Andreas fayı kadar iyi tanıyor muyuz?*

— Ne yazık ki hayır. Bunun biricik istisnası, Kaliforniya'daki sorunun benzeriyle karşılaştığımız Türkiye gibi ülkelerdeki faylar. Kuzey Anadolu fayı, her yıl 2 santimetre kayar. Fayın 1939'dan beri, Ermenistan'dan İzmit Körfezi'ne kadar parça parça kırıldığı biliniyor. Depremler doğudan

batıya doğru ilerledi; tıpkı mermilerin kovandan art arda boşalması gibi. Son kurşun Marmara Denizi'nin altında, İstanbul'un güneyinde yer alıyor. Felaketi bekliyoruz. Fayın tek bir kerede ya da pek çok sarsıntıyla kırılmasına göre, ya çok büyük bir depremle karşılaşacağız, ya da pek çok küçük depremle. Ama ne olursa olsun, 7 ila 7,6 şiddetinde olaylar meydana geleceğini tahmin ediyoruz.

— *Yani yanardağlar gibi faylar da sualtında yer alabiliyor mu?*

— Tabii ki. Kural çok basit: Yanlardan iki taşla sıkıştırılan bir kilit taşı yükselir. Bu bir dağdır. Taşlar yanlara açılırsa, kilit taşı alçalır. Buna da rift denir; ve içi suyla dolar.

— *Rift bir anda mı suyla dolar?*

— Olabilir. Ama genellikle, bir rift çukurlaşmaya başladığında, su oraya akacak bir yol bulur. Böylece göller oluşur. Ardından göller denize dönüşür; Baykal Gölü'nün kaderi de kesinlikle böyle olacaktır. Baykal, dünyanın en büyük kıtasal riftidir: Derinliği 1620 metre, uzunluğu 700 kilometre, genişliği 70 kilometredir. Tek başına, gezegenin tatlı su rezervlerinin %2'sine sahiptir. Baykal tuzsuz, küçük bir denizdir. İçinde tatlı su fokları ve yunusları bile yaşar. Yüzlerce metre yükseklikte yer alan bu şaşırtıcı göl yavaş yavaş iyice açılacak, yayılacak, uzayacak, sonunda denize kavuşacaktır; ve bu arada kesinlikle gürültü patırtı olmayacaktır.

AKDENİZ KURUDUĞUNDA

— *Karadeniz'de de buna benzer bir şey olmamış mıydı?*

— Öyle. Eskiden Karadeniz bir göldü, 6 milyon yıl önce Akdeniz de bir bataklıktı...

— *Neler oldu?*

— Akdeniz Atlantik Okyanusu'ndan, Cebelitarık yayındaki dağlarla ayrılmıştı. Boğaz yoktu: Sıradağlar, İspanya'yla Fas arasında bir köprü oluşturuyordu. Akdeniz, Rhône, Nil,

Pô gibi büyük nehirler, bir de İspanya'daki akarsular tarafından besleniyordu. Ama bu yeterli değildi. Yavaş yavaş seviyesi, dünyadaki denizlerin genel seviyesinin 2000 metre altına düştü; kurudu kuruyacak hale geldi.

— *Yeniden suya nasıl kavuştu?*

— Büyük nehirler, mucizevi bir biçimde vadiler açmaya başladılar. Bu on binlerce yıl aldı. Cebelitarık tarafında, küçük, önemsiz bir akarsu da aynı şeyi yaptı: Sıradağları, Atlantik'e kadar kemirdi. O anda, ortalığı seller götürdü! Akdeniz, rekor sayılabilecek bir sürede, yalnızca birkaç bin yıl içinde doluverdi.

— *Bir afet mi meydana geldi?*

— Korkunç bir afet hem de. Yükselen sular, Nil'in Asuan'a kadar açtığı vadiyi doldurdu; Asuan'da deniz tortuları bulunmaktadır. Ardından Nil, Etiyopya'dan taşıdığı çamurlarla yavaş yavaş bugünkü deltasını oluşturarak, denizin gerilemesini sağladı. Nil, olağanüstü bir ırmaktır.

— *Duyduğumuz kadarıyla Karadeniz'in altında, eski kıyıların üzerinde köyler bulunmuş.*

— Dikkat! Bu çok daha yeni bir olay. Bundan 12 bin yıl önce Karadeniz, kuzeydoğuya doğru taştı. Türkiye'nin Asya'daki bölümüyle Avrupa'daki bölümünü birbirinden ayıran Boğaz, yirmi-otuz metre derinliğindeki bir nehirden başka bir şey değildi. Buzul çağında denizlerin seviyesi bugünkünden düşükken, Akdeniz'le Karadeniz arasındaki Marmara Denizi bağlantısı kuşkusuz yoktu. İnsan Asya'dan Avrupa'ya yürüyerek geçebiliyordu; tıpkı İngiltere'den Fransa'ya, Sibirya'dan Alaska'ya geçebildiği gibi. Dünya okyanusuyla bağlantısı kopan Karadeniz'in seviyesi, Akdeniz'inkinden daha fazla alçaldı. Buzullar çözülmeye başladığında da, Akdeniz'in seviyesi daha hızlı yükselmiş, böylece sularını önce Marmara Denizi'ne, oradan da Boğaz yoluyla Karadeniz'e akıtmış olmalı.

— *Denizle okyanus arasında ne fark var?*

— Coğrafyacılar için, ikisinin arasındaki tek fark büyüklükleridir. Jeologlar için en önemli ayrım noktasıysa, ok-

yanusal kabukla kıtasal kabuk arasındaki farktır. Bunu belirlemek her zaman o kadar kolay olmuyor: Örneğin Akdeniz, Lion Körfezi'nde olduğu gibi dibinde okyanusal kabuk da bulunan, karma bir denizdir. İyonya havzasında da okyanusal kabuktan kalmıştır. Buna karşılık Adriyatik'te hiç okyanusal kabuk yoktur; o kıtasal bir denizdir.

— *Ya Karadeniz?*

— O da karışık. Karadeniz'de ve Hazar'ın güneyinde büyük olasılıkla okyanusal kabuk kalıntıları var. Aslını isterseniz, 3000 metre derinde birtakım tortulara rastlandığında, oranın büyük olasılıkla eskiden bir okyanusun tabanı olduğu söylenebilir. Ama iklimin getirdiği değişiklikler sonucu ortaya çıkmış denizler de vardır. Örneğin Baltık Denizi, Finlandiya'yla İskandinavya'nın, üzerlerindeki buzulların ağırlığı yüzünden batmalarıyla meydana gelen çöküntünün kalıntısıdır. Hudson Körfezi'nde de aynı durum geçerlidir.

— *Manş ve Kuzey Denizi pek derin değiller.*

— Hayır, onlarda okyanusal kabuk yok.

— *Kıtasal denizleri tuzlu göller olarak düşünebilir miyiz?*

— Evet. Savaksız göller. Çıkmaz sokaklar. Böyle oldukları için tuzludurlar zaten.

— *Tuz nereden gelir?*

— Kayalardan. Nehirlerin suyu toprağı yıkayıp eritir.

— *Bazen çok büyük olabilmelerine rağmen, göller neden tuz tutmazlar?*

— Tutarlar. Aral Denizi ya da Çad Gölü gibi, savağı olmayan bütün göller tuzludur. Öteki göllerde, örneğin Alp göllerinde ya da Baykal Gölü'nde su geldiği gibi gider. Hazar Denizi ya da Ölüdeniz gibi iç denizleri besleyen bir ya da birkaç nehir vardır; ama suyun tahliyesi ancak buharlaşmayla olur. Bu durumda, tuz yoğunlaşır. Suyla dolu kapalı bir alan, kaçınılmaz olarak tuzlaya dönüşür.

BİR OKYANUS DOĞUYOR

— *Hüzünlü bir son. Şu anda bebeklik çağını yaşadığını bildiğimiz okyanuslar var mı?*

— Evet. Örneğin Kızıldeniz, açılmakta olan bir okyanustur. Arabistan, Afrika'dan uzaklaşan küçük bir levhadır; ikisinin arasında da genç bir rift yer alıyor. Şimdilik yalnızca 200 kilometrelik bir genişliği olan Kızıldeniz, Hint Okyanusu'na açılmakta, Ölüdeniz fayı ve Lübnan Dağı gibi küçük engebelerle uzanmaktadır.

— *Okyanus hızlı mı açılıyor?*

— Merkezde hız, yılda 15 milimetredir. Ama güneyde Umman Sultanlığı'yla, Somali açıklarında bulunduğu halde Yemen'e ait olan Sokotra Adası arasında Aden Körfezi, yılda 3 santimetre hızla açılıyor. Cibuti'deyse hız 2 santimetredir.

— *En hızlı açılan okyanus hangisi?*

— Pasifik Okyanusu. Peru açıklarındaki Nazca levhası, Pasifik levhasından yılda 16 santimetre gibi çok yüksek bir hızla uzaklaşıyor.

— *Ya Atlantik?*

— New York ve Paris, yılda 2,5 santimetrelik bir tempoyla birbirlerinden uzaklaşıyorlar.

— *Uçak biletlerinin fiyatları fırlayacak! Tahminim doğruysa, levhaların öbür uçları da aynı hızla birbirine yaklaşıyor olmalı.*

— Duruma göre değişir; ama şu günlerde, hem yanardağ hareketleri hem de depremler nedeniyle yakından gözlediğimiz Karayip yayının durumu belirgin bir örnek. Atlantik'in tabanı, yılda 2 santimetre hızla Karaiblerin tabanının altına gömülüyor.

— *Ve bu arada, Akdeniz kapanıyor.*

— Yavaş yavaş. Cezayir, yılda 6 milimetre Marsilya'ya yaklaşıyor. Yeryüzünde levhaların dansından etkilenmeyen tek bir bölge yok. Arabistan, yılda 3 santimetre kuzeye yükseliyor. Avustralya, yılda 9 santimetre Asya'nın üzerine biniyor; bunun sonucunda da Avustralya levhasının bir çıkıntı-

sı olan Yeni Gine'de 5000 metre yüksekliğinde dağlar ortaya çıkıyor. Levhalar, insanı korkutacak kadar karmaşık bir bölgede birbirleriyle çarpışıyorlar: Çinhindi, Sumatra, Borneo, Java ve Pasifik levhası da yılda 9 santimetre doğuya yükleniyor. Himalaya'nın sınırını oluşturan kuşakta üç levha birbirine yaklaşıyor: Zagros, Karpat-Alp, Atlas... Doğudan batıya, tam 15 bin kilometre.

— *Levhaların birbirine yaklaştığı tek önemli kuşak burası mı?*

— Hayır, kuzey-güney doğrultulu bir tane daha var: Kanada Sıradağları, Kayalık Dağları ve And Dağları'ndan oluşuyor.

— *Bu da uzun bir kuşak mı?*

— Evet. Tam 10 bin kilometrelik.

OKYANUS MEZARLIKLARI

— *Bütün bu hareketleri kesin olarak tespit etmeyi nasıl başarıyoruz?*

— Artık gezegene nüfuz eden, yükselip alçalan sismik dalgaları kullanarak, bir bakıma gezegeni tarayabiliyoruz. Dalgalar soğuk kuşaklarda daha hızlı, sıcak yerlerde daha ağır hareket ediyorlar, bu da, Yerküre'nin haritasını çıkarmamızı sağlıyor. Mantonun oldukça ayrıntılı bir portresini çizebiliyoruz; soğuk kuşaklar mavi, sıcak kuşaklar kırmızı görünüyor. Riftlerin ve sırtların olduğu yerde kırmızı açıkça yükselişe geçiyor. Batmakta olan okyanusal levhaları da gözleyebiliyoruz: Çok derinlere, hemen hemen çekirdeğe kadar verevlemesine inen, mavi, soğuk kuşaklar; hatta kocaman levha mezarlıkları bile var. Bazı levhalar çekirdeğin içine giremediklerinden mantonun en dibinde birikmişlerdir.

— *Eski okyanus tabanlarını Yerküre'nin merkezine kadar izleyebiliyor muyuz?*

— Evet, ve muhteşem bir şey bu! Batan levhalar hâlâ depremlerle sarsılıyorlar. 700 kilometreye kadar onları görebiliyoruz. Sonra, hiçbir şey yok.

— *Gösterinin en etkileyici olduğu yer neresi?*

— Son derece heyecan verici iki büyük bölge var: Alplerin yakınsama sınırı ve derin ucu yaklaşık Chicago'nun ve Boston'un altında bulunan Amerika sıradağları. İşin boyutu çok etkileyici... Alp kuşağı bizi doğrudan ilgilendiriyor, çünkü Akdeniz, 150 milyon yıldan fazla bir süre önce kapanmaya başlamış, tortul bir denizden başka bir şey değil.

–Yerküre'nin, yaşamın ortaya çıkmasına zemin yaratan en özgün yanlarından birinin, sıvı halde suya sahip olması olduğunu anlatmıştınız. Ama görüntüye bakılırsa, su okyanuslar sayesinde, levha tektoniğini de yönetiyor.

— Tam öyle sayılmaz. Levha tektoniğinin devindirici gücü, mantodaki konveksiyondur. Su, yalnızca tabanı karalardan daha aşağıda olan okyanusları doldurabilir. Ama bunun yanında her yerde etkilidir: Bazaltı soğutur ve değiştirir, kayaları eritir, tortuları taşır, erozyona neden olan ürkütücü etkenlerden biridir.

DERİN BOĞAZLAR

— *Erozyonun sonucunda dağların tepelerini mi düzleştirir?*

— Bugün hayranlıkla seyrettiğimiz coğrafya şekillenir. Örneğin kanyonlar. Tek kanyon Colorado'daki değil. Verdon, Tarn, Avise, Ardèche, Durance boğazlarının nasıl ortaya çıktığını biliyor musunuz? Akdeniz'in kuruyup, seviyesinin 2000 metre alçalmasıyla! O zamanlar Akdeniz'e dökülen bütün nehirlerin eğimleri oldukça dikleşti. Bunun üzerine hepsi yataklarını çok daha büyük bir hırsla kazmaya başladılar: Eğim ne kadar dikse, akıntı o kadar güçlenir, taşıdığı kum ve çakıl miktarı da o kadar artar; çünkü dağları aşındıran su değil, taşıdığı taşlardır.

— *İyi ama, Tarn Akdeniz'e dökülen ırmaklardan değil ki!...*

— Günümüzde değil, doğru. Tarn artık Garonne'a dökülüyor, oradan da Atlantik'e ulaşıyor. Ama eskiden Tarn'ın,

Garonne'un bir koluna yakalanmadan Akdeniz'e kavuştuğu düşünülüyor; yoksa o heyecan verici boğazların nasıl oluştuğunu açıklayamazdık.

— *Suyun hareketi, gerçekten de insanoğlunun tarihinin akışını etkiledi.*

— Öyle. Yazıyı bulmuş olan Sümerler, günümüzden 9000 yıl önce dünyanın en ileri uygarlığını kurmuşlardı. O zamanlar Aşağı Mezopotamya onların elindeydi. Sümerler nereden geldiler? Bu konuda yavaş yavaş bir fikir edinmeye başladık. Onlar kendilerini deniz halkı olarak tanımlıyorlardı. Bugün, günümüzden 14 bin ila 9000 yıl önce deniz seviyesinin nasıl yükseldiğini biliyoruz. Okyanusal tabana sahip olmayan İran Körfezi sığ sayılabilir; derinliği 20-30 metre kadardır. Ama buzul çağında burası büyük olasılıkla Dicle ve Fırat'ın, ayrıca İran Zagrosları'ndan inen nehirlerin beslediği verimli bir ovaydı; yani gayet sulak, zengin bir bölge. Ve birden deniz yükselmeye başladı: Yılda 2 santimetre. Eğimler son derece zayıf olduğundan, suların yükselişi, kıyı çizgisinin her yıl yüzlerce metre geriye çekilmesiyle sonuçlandı. Eski Sümerler de o günlerde kitleler halinde topraklarını terk edip, bugünkü Dicle ve Fırat deltasının olduğu bölgeye göç etmiş olmalılar.

— *Bu öyküde ortalığı karıştıran temel unsur, iklimin değişmesi.*

— Okyanusun iklim üzerinde olağanüstü büyük bir etkisi vardır. Büyük ısı aktarımlarını gerçekleştiren, atmosferden çok okyanustur. Karbon gazını dengeleyen, oksijen üreten odur. Sık sık, ekvatordaki ormanların gezegenin akciğerleri olduğu söylenir. Bu doğru değildir. Kuşkusuz ormanlar da çok önemlidir, ama asıl karbon pompası, okyanustaki bitkisel planktonlardır.

— *Ekvatordaki büyük ormanların ortadan kalkması, gene de toprağın çabuk bozulmasına, erozyona, çölleşmeye yol açacaktır... yani iklimde ve coğrafyada değişikliklere.*

— Elbette. Ama bütün bunlar gelip geçici. Geçmişte çöl kuşaklarının nemli tropikal bölgelere dönüştüğünü, ya da

tam tersinin olduğunu gördük. Yerküre bütün bunlara razıdır; kıtalar, sıcaklıkların ve yağış rejimlerinin her şeyi değiştireceği başka semalara doğru ilerlemektedir.

— *İnsanların balık tuttuğu dönemde Sahra daha mı kuzeyde yer alıyordu?*

— Hayır. Buğdayın yetiştiği, derelerin aktığı Sahra, çok yakın bir geçmişte var oldu.

GÖLLERİMİZİN BUZUL OLDUĞU GÜNLERDE

— *İyi ama, 12 bin yıl önce bölge neden bugünkünden daha nemliydi?*

— Kuzey Avrupa'daki buzul takkeleri hemen hemen Brüksel'e kadar uzanıyordu. Alpler'i olduğu gibi kaplıyor, kocaman kollarıyla Lyon'a ya da Po Ovası'na iniyorlardı. Bugün bildiğimiz bütün büyük göller; Konstanz, Leman, Büyük Göl, Garda, vb... eski buzulların yadigârıdır.

— *Yağmur nereden geliyordu?*

— Buzullar 40° kuzey enlemine kadar inerken, bütün iklim kuşaklarının da aynı şekilde hareket ettiğini anlamışsınızdır. Ilıman kuşak büyük çayırlıkların olduğu Sahra'ya denk geliyordu.

— *Ve hava ısınınca, bu sefer de su sorunu ortaya çıkıyordu.*

— Evet. Bundan 15 bin yıl önce Ortadoğu'da hava hayli soğuk ve bol yağmurluydu. Dağınık bir nüfusun yaşadığı bir bozkırdı burası. İklim değişti. Büyük iklim kuşaklarının hepsi kuzeye doğru yükseldiler. Bölge, sıcaklığın ve kuraklığın etkisiyle gitgide çölleşti; büyük nehirlerin, birden insanla dolan vadileri hariç: Nil Vadisi, Ürdün Vadisi, Dicle, Fırat vadileri ve Akdeniz kıyısının bazı noktaları.

— *Ve uygarlığı da, vadilerde yoğunlaşan nüfus yarattı.*

— Evet. İnsanlar ortak yaşam için ilkeler yarattılar, örgütlendiler. Sümer'de olduğu gibi Mısır'da, ya da Filistin'de de... Musa'nın vaat edilmiş toprakları, bu çölümsü bölgede

suyun bulunduğu tek yerdir. Ortadoğu, birtakım çarpıcı jeolojik manzaraların ilginç bir karışımıdır: Ürdün Vadisi, Afrika levhasıyla Arap levhası arasındaki sınıra denk gelen büyük bir faydır; Nil, İran Körfezi... Üç büyük jeofizik oluşum, iklimde bir değişiklik; işte bunlar, yeni uygarlıkların doğmasına, insanlık tarihinin baştan sona sarsılmasına yetmişti. Yerin tarihiyle insanoğlunun tarihi arasındaki sıkı bağa güzel bir örnek bu...

GELİYORUM DİYEN FELAKETLER

— *Ve insan türü, buzul çağının sonunda atağa kalktı.*

— İklimdeki bu değişikliğin her şeyi çok etkilediği açık. Coğrafya altüst olmuştu. Okyanusların seviyesi 120 metre yükseleli beri, kıyı çizgisinin eskisiyle bir ilgisi kalmamıştı. İnsanlar, bu etkileyici olayı yaşadılar. Dünyanın pek çok yerinde anlatılan çeşitli tufan efsaneleri de bundan doğmuş olabilir; İbrahim'le Nuh'un yaşadığı söylenen Aşağı Mezopotamya'da da vardır böyle hikâyeler. Bu bölgede insanoğlunun uygarlığı çok büyük bir tehlikeyle karşı karşıya kalmıştı. İnsanlar –ve hayvanlar– kaçmak, çevre değiştirmek zorunda kaldılar. Bu afetin neden belleklerden uzun süre silinmediğini anlamak zor değil.

— *İnsanların hep tehlikeli yerlerde birikmesi ne tuhaf. Sık sık su baskınına uğrayan yerlerde yaşamalarını anlayabiliriz; buralarda verimli alüvyonlar vardır. Peki ama, ya yanardağlar?*

— Yanardağların çevresi de verimlidir. Hem ayrıca yanardağların, dağların, depremlerin, fayların olduğu yerde, Yerküre yaşıyor demektir. Sanırım en aktif jeolojik manzaralar mıknatıs gibi çekiyor bizi, çünkü en güzelleri onlar. Dümdüz, kocaman bir ova çok can sıkıcı bir şeydir.

— *Massif Central'deki yanardağların Beauce'dan daha çekici olduğu doğru. Üstelik ondan daha tehlikeli de değiller.*

— Bu o kadar kesin değil. Fransa'daki Massif Central,

yanardağ dizileriyle yarılmıştır: Puy zinciri, hiç de yaşlı değildir. Son patlamanın üzerinden 7000 yıl bile geçmedi.

— *Yeni bir patlama yaşanabilir mi?*

— Elbette! Plomb du Cantal adındaki büyük yanardağ Etna'yla aynı tiptedir, ama magma hazneleri uzun zaman önce donmuştur; dolayısıyla kesinlikle ölüdür. Buna karşılık bir an büyük bir öfkeyle kükreyip hemen sakinleşen Puy Sıradağları çok gençtir. Bu zincirde patlama olması olasılığı büyüktür. Ama gene de Puy Sıradağları, Vezüv gibi İtalyan yanardağları kadar tehlikeli değildir kesinlikle.

— *İtalya'daki yanardağlar son derece aktifler. Başka büyük patlamalar görecek miyiz?*

— Orası kesin. Ve nüfusunun yoğunluğu nedeniyle, Napoli dünyanın en çok zarar görebilecek kenti. Napoli'de felaket kaçınılmaz.

— *İyi ama, deprem bölgelerinin hiçbir çekiciliği yok ki!*

— Var. San Francisco, tektonik bir körfezdir; San Andreas fayının iki kolu arasında açılmış bir havuzun bir yanında Oakland'la Berkley, öbür yanında San Francisco'yla Sausalito vardır. Gemilerin rahatça yanaşabileceği, harika bir yerdir burası. Kuzey Anadolu fay hattında da aynı durum söz konusudur. İki boğazla korunan, Karadeniz'e geçit veren Marmara Denizi İstanbul'u ayrıcalıklı kılar. Sismik açıdan çok aktif bölgelerde karmaşık geçitlere rastlanır; ama öte yandan bu geçitler insanlığa açılıp gelişebileceği sığınaklar ve limanlar sunarlar.

— *Bozkırlarda genellikle fazla insanın yaşamadığı doğru. Göçebelerin yurdudur bozkırlar.*

— Onların bile yaşayabilmek için tektonik kazalara ihtiyaçları vardır! Engebelerin aynı zamanda birer su deposu olduğunu unutmayalım. Hindistan'la Asya'nın çarpışması yalnız Himalaya'yı değil, Ortaasya'nın merkezine kadar, zirveleri buzlu daha pek çok dağı yarattı. Buzlar çöle doğru akan nehirleri beslerler; kervanların çölü geçmesini sağlayan dizi dizi vahalar da onlar sayesinde doğmuştur. Yoksa korkunç Gobi çöllerini aşabilen olmazdı. İki kıta çarpışmasa,

İpek Yolu da olmazdı. Yerküre insanlar olmadan da ayakta kalır, ama insanlar, Yerküre'nin şiddetinden vazgeçebilecek durumda değillerdir.

PERDE 3

İNSANLARIN YERKÜRESİ

SAHNE I

YERLEŞME

İşte sonunda insan... İlk birkaç milyon yıl boyunca sessizce köşemizde bekledikten sonra, soluk kesici bir hızla Yerküre'ye el koyduk...

DOĞA VE EKİNLER

— *Yaşamın ortaya çıkması genç Yerküre'yi yerinden oynattı. İnsan türü ne zamandan beri çevrede gözle görünür değişiklikler yaratıyor?*

— LESTER R. BROWN: Büyük olasılıkla yaklaşık 400 bin yıl önce, atalarımız ateşi yoğun olarak kullanmaya başladığından beri. Ateş aslında çok daha önce bulunmuştu: Marsilya yakınlarındaki Escale Mağarası'nda rastlanan odun ateşi izleri 750 bin yaşındadır. O zamanlar insanların sayısı o kadar azdı ki, çevrelerini pek etkileyememiş olmalılar. Sonuç olarak çok yakın zamanlara kadar, insan, çevresi üzerinde kayda değer bir değişiklik yaratmamış gibi gözüküyor.

— *'Çok yakın zamana kadar'?*

— Bundan 11 bin yıl öncesine, avcıların büyük memeli sürülerini ortadan kaldırmaya, hatta bazı türlerin kökünü kurutmaya başlamasına kadar. Büyük boyutlu olaylardır, sözünü ettiklerimiz. Ama gezegeni gerçekten heyecan verici bir biçimde biçimlendirmemizi sağlayan tarımdır. Kabaca

söylersek, ziraat ve hayvancılık uğruna yabani bitkilerin onda birini dünya yüzünden sildik.

— *Bu Yerküre açısından sorun oluşturuyor mu gerçekten? Milyarlarca yıllık ömrü boyunca, çöle dönüşen ormanlar, ormanlarla kaplanan çöller görüp geçirdi...*

— Dürüst davranmalıyız: Biz bir şeye iyi ya da kötü derken, temel olarak bizi nasıl etkilediğine bakıyoruz. Elbette biz olsak da olmasak da kıtalar birbirinden uzaklaşacak, okyanuslar doğacak, dağlar yükselecek. Önümüzdeki milyarlarca yıl içinde birtakım türler ortaya çıkacak, kimi türler de yok olacak. Ama bu gezegenin tarihinde bizi ilgilendiren, biz ve torunlarımız; doğrudan ya da dolaylı olarak, ucu bize dokunan olaylar.

SÜMER TUZU

— *Bir gelişmenin yapıtaşları gibi gözüken olayların uzun vadede ne sonuç vereceğini tahmin etmek mümkün müydü?*

— Tabii ki hayır. Tarih boyunca insanların etkinliği dünyanın bazı bölgelerini olumsuz yönde etkiledi; insan çok geç bilincine vardı ne yaptığının. Çevrenin kötü kullanılması yüzünden uygarlıklar ortadan kalktı. Bakın Sümerlere!

— *Paul Tapponnier'nin sözünü ettiği, şu meşhur deniz halkı mı? Yazıyı ilk onlar bulduğuna göre, Tarih onlarla başladı...*

— Bu buluş onları, tıpkı internetin bizi heyecanlandırdığı kadar heyecanlandırmış olmalı! Sümerler ayrıca ilk kentleri de kurdular. Ve hepsinden önemlisi, çok karmaşık mühendislik bilgisi gerektiren, büyük çaplı sulama kanalları geliştirdiler. Son derece parlak bir toplum oluşturuyorlardı doğrusu. Ama, becerikli Sümerlerin bir zayıf noktası vardı: Ülkeyi baştan başa kanallar ve bentlerle donatırken, sonunda başlarına ne geleceğini tahmin edememişlerdi. Zamanla su toprağa sızdı, yeraltı sularının seviyesi yavaş yavaş yükseldi. Kayalardaki tuzu tutmaya başlayan su buharlaşıp atmosfe-

re karışıyor, ama gittikçe yoğunlaşan tuz, olduğu yerde kalıyordu. Toprakların tuzlanması sonucunda tarımsal üretimde düşüş oldu, böylece besin kaynakları da azalınca, bu büyük uygarlık tarihe karıştı.

— *Toprağın bozulması, tarihte sık rastlanan bir olay mıdır?*

— Evet. Mayalar da çevreye gerektiği gibi yaklaşmadıkları için zor durumda kaldılar. Antik Yunan ise, gemi inşa etmek için ormanlara ihtiyaç duyuyordu; o zamanlar bol bol ağaç kesildi. Sonuç: Topraklar erozyona kurban gitti. O zamandan beri, hemen tamamıyla kelleşmiş olan kayalıklarda yalnızca yarı-çölsü, seyrek bitkiler yetişiyor. Bitkilerle toprak arasında simbiyotik bir ilişki olduğu unutulmamalıdır. Toprak bitkileri besler ve hayatta kalmalarına yardımcı olur. Bitkiler toprağı üretir ve korur. Günümüzdeyse Yerküre'deki toprakların yavaş yavaş bozulduğu, değerini kaybettiği gözleniyor.

— *Her yerde mi?*

— Hemen hemen her yerde. Jeolojik zamanlarda oluşmuş olan toprak artık azalmaya başladı. Üstelik çok kısa süredir; aşağı yukarı bir yüzyıldan beri. Biz, gezegenimizdeki doğal sermayenin önemli bir bölümünü tüketiyoruz; bu yüzden de gezegenimizin üretkenliği azalıyor. Bol miktarda gübreleme yapılmadığı taktirde, elde edilen ürün miktarı büyük oranda düşüyor. Bazı bölgelerde durum içler acısı. Eskiden Sovyetler Birliği'nin el değmemiş topraklarının bir parçası olan, sonradan buğday tarlalarının ufka kadar uzandığı Kazakistan'da olduğu gibi. Propaganda filmlerinde biçerdöver ordularını kullanan, şarkı söyleyerek çalışan örnek işçiler gösterilirdi. Kazakistan, 1980'den beri erozyon yüzünden tarıma elverişli topraklarının yarısını kaybetti. Geriye kalan tarlaların üretkenliği de, hektar başına yaklaşık 900 kilo buğdayla sınırlı. Verimli topraklarda bir hektarda 7-8 ton buğday elde edilebildiği düşünülürse...

— *Oysa Kazakistan düzlük bir yer. Yunanistan'da ya da Endülüs'te olduğu gibi toprağı sürükleyecek şiddetli yağışlar ya da nehirler yok.*

— Artık bitkilerin köklerinin tutmadığı toprakları yalnız su değil, rüzgâr da aşındırabilir. Kuzey Çin'de toz fırtınaları gitgide şiddetleniyor ve sıklaşıyor. Genellikle mart ayında başlayıp mayısa kadar sürüyor bunlar. Kentlerde o kadar büyük toz fırtınaları yaşanıyor ki, görüş mesafesi çok kısaldığından tıpkı sisli havalarda olduğu gibi arabalar hız kesmek zorunda kalıyor. 2001 Martında, Japonya'nın kuzeyindeki bazı illerde sarımsı bir kar yağdı. Gökten Japon toprağı dökülüyordu! Japon Diyet Meclisi'nin on beş üyesiyle, Kore Parlamentosu'nun sekiz üyesi bir çalışma grubu oluşturdular. Toz fırtınalarıyla savaşmak için bir strateji belirlemek üzere, Çinli meslektaşlarıyla da bir araya geldiler. Fırtınalar, Pekin'de olduğu gibi bazen çok ciddi sağlık sorunlarına yol açabiliyor.

— *Evet ama bu eski bir olay: Gobi Çölü'nden gelen kumdan söz etmiyor musunuz?*

— O da var, doğru. Ama birkaç yıldır, rüzgâr güneydoğu kıyılarından ve tarımsal alanlardan getirdiği kavrulmuş toprakları Pekin'e kadar savuruyor. Neden: hayvanların aşırı otlatılması, toprağın aşırı işlenmesi.

COLORADO'YA ÇİN YAĞIYOR

— *Peki bu olayın etkileri Çin'in dışına da uzandı mı?*

— Kesinlikle. 2001 yılının nisan ayının başında kopan dev bir toz fırtınası, Birleşik Devletler'i bile etkiledi. Colorado'daki Aspen'de, havadaki parçacıklar analiz edildiğinde, Çin'deki toz fırtınasından geldikleri anlaşıldı.

— *Kuşkusuz; ama bu tür sorunlar hep oldu. Zaman zaman Avrupa'ya da Sahra kumları yağdı.*

— Mutlaka. Bugün farklı olan, eskiden çok daha düşük bir şiddette seyreden, daha ender meydana gelen olayların boyutlarının ve yoğunluğunun artmış olması. Pekin havaalanının, toz fırtınaları yüzünden defalarca kapatıldığı günlerde yaşıyoruz artık!

— *Nasıl oluyor da bu kadar büyük miktarda iyi toprak toza dönüşebiliyor?*

— Bugün Çin'de, sığır familyasından 117 milyon hayvan var. Aynı yüzölçümüne sahip Birleşik Devletler'de 100 milyon sığır cinsi hayvan olduğunu da bir kenara yazalım. Öte yandan, Birleşik Devletler'deki 9 milyon koyun ve keçiye karşılık, bitki örtüsünü mahveden, toprağı kelleştiren bu türden hayvanların sayısı Çin'de 256 milyon. Toprak kuruyor, ardından rüzgâra kapılarak sürükleniyor ve insanlık tarihinin görüp görebileceği en büyük toz bulutlarını oluşturuyor. Otuzlu yıllardaki büyük kuraklık sırasında, *Gazap Üzümleri*'nin geçtiği zamanda Amerika'da gördüklerimizden daha büyük bunlar. Colorado Boulder'deki National Center for Atmospheric Research sonuncu bulutu ölçtü: Kalınlığı tam 6 kilometreydi! Ve Çin'i terk ettiğinde, Japonya'dan daha büyüktü. Evet doğru, her zaman toz fırtınaları yaşandı, ama hiç bu kadar büyüğüne tanık olmamıştık. Çinlilerin ve bütün dünyanın artık buna alışması gerek. Doğal bir sistem, çok güçlü bir baskı karşısında önce zarar görür, sonra da mahvolur. Bugün yeni toprakların oluşmasına fırsat kalmadan, var olanı kaybediyoruz.

KIRSAL ALANLARDA KENTLER

— *Yani, yoğun ziraat ve hayvancılık toprağa büyük zarar veriyor...*

— Tek sorumlu tarım değil. Tarih boyunca, kentler içme suyu kaynaklarının, yani akarsu ya da göllerin yakınına kuruldular. Bu havzalarda toprak çok balçıklıydı. Tarım halkın karnını doyuruyordu. Bugün kentler ölçüsüzce yayılmış durumdalar ve yeryüzü yoğun bir yol şebekesiyle kaplı. Gezegende kentlerin hali uzaydan gayet güzel görülebiliyor; en iyi topraklar kentleşmeden zarar görüyor. 20. yüzyılın ikinci yarısının başından beri, tahıl ekilen toprakların yüzölçümü kişi başına ortalama 0,24 hektardan, 0,12 hektara düştü. Makineleş-

me, yoğun gübre ve zirai ilaç kullanımı sayesinde geri kalan toprakların üretkenliği %170 artırılarak fark kapatıldı.

— *Bununla birlikte, entansif tarım bugün çok eleştiriliyor.*

— Bunun nedeni, pek çok etkenin yanında tarımda yoğun gübre kullanımının ve başta domuz olmak üzere hayvan dışkılarının da nitrat çevriminin dengesini bozması, kirlilik yaratması. Zirai ilaçlar ve gübre yeraltı sularını kirletiyor, öyle ki kuzey ülkelerindeki içme suyu rezervleri bile tehdit altında. Bir yeraltı tabakasının ortalama 1400 yılda yenilenebildiğini biliyor musunuz? Gel gelelim bilim adamları her kıtada çiftliklerin, fabrikaların, kentlerin yakınlarındaki yeraltı suyu depolarında kirlenmeyle karşılaşıyorlar. İnsanoğlunun yeryüzünde ne işlerle uğraştığını anlamak için, yeraltı sularını analiz etmek yeter. Üstelik gelişmiş ülkeler de tehlikeden uzak değil; tam tersine, şu anda yüzyıllar boyunca temizlenemeyecek şekilde tatlı su kaynaklarını zehirlemekle meşguller.

— *Elde kaldı akarsular.*

— Evet. Bir akarsu ortalama iki haftada yenilenir. Ama suyun yeniden içilebilir hale gelmesi için, akarsuyu kirleten kaynağın kuruması gerekir! Suların kanalizasyon niyetine kullanıldığı düşünüldüğünde, kolay bir iş değildir bu. Bazı göllerde ve denizlerde tehlikeli endüstri atıklarına, fosfat ve nitratlara rastlanır; bunlar sellenmeyle gelirler, en çok da akarsular tarafından taşınırlar. Bitkiler hızla çoğalır, oksijen azalır: Deniz ölür.

— *Bazı denizler. Okyanuslar için tehlike yok herhalde.*

— Okyanusların da içlerine boşaltılan, kimileri zehirli sayısız atığa ve birikintiye ne zamana kadar göğüs gerebileceğini bilemiyorum... Bir başka sorun da entansif balıkçılık. 1950'yle 1997 arasında, avlanan balık miktarı yılda 19 milyon tondan 90 milyon tona çıktı. Deniz biyologlarının pek çoğunun tahmin ettiği gibi dünyadaki okyanuslarda gerçekten de yılda 95 milyon tondan fazla balık avlamamak gerekiyorsa, kişi başına düşen balık miktarında çarpıcı bir düşüş gözlenecektir; fiyatlar da tırmanacaktır tabii. O zaman, balığın yerini tutacak proteinler bulmak zorunda kalacağız.

HAYALET DENİZ

— *Denizlerin tükendiğini gösteren işaretler var mı şimdiden gözlemlenen?*

— Evet. 20. yüzyılın başında yılda 70 bin ton istiridyenin üretildiği zengin Chesapeake Körfezi istiridye tarlasında, bugün 2 bin tona zor ulaşılıyor. *İhtiyar Adam ve Deniz*'den bildiğimiz koca kılıçbalığı, Atlantik'te artık hemen hiç ağlara takılmıyor. Yılda 40 milyon tonun üzerinde balık üreten Aral Denizi ise tuzlaya dönmüş, kısırlaşmış durumda.

— *Ama orada sorun buharlaşma...*

— Çünkü, altmışlı yıllarda pamuk yetiştirmek için büyük sulama kanalları yapılırken, Aral Denizi'ni besleyen Amu Derya ve Sir Derya ırmaklarının yatağı değişti. Sonuç: Aral Denizi susuzluktan yavaş yavaş küçüldü, içindeki tuz gitgide yoğunlaştı. Rüzgâr kurumuş toprağın tuzlu tozunu savurdu, yüzlerce kilometrelik bir çember içindeki bitkileri yakarak bölgenin çölleşmesini hızlandırdı.

— *Uzun lafın kısası, insanoğlu attığı her adımda gezegene zarar mı veriyor?*

— Ne yazık ki çoğunlukla öyle! Sayımız 6 milyarı aşmışken, artık avcı-toplayıcı zihniyetiyle hareket edemeyeceğimizi anlamalıyız. Yerküremizi değerlendirmeyi öğrenmeliyiz. O zaman, insanlığın her şeye rağmen birtakım olumlu işler de yapabileceğini göreceğiz. Ama elimizi attığımız her alanda sorunlarla yüz yüze geldiğimizi de kabul ediyorum. Gerek bitki, gerek hayvan olsun, canlı türlerinin ortadan kalkmasını ele alalım. Bu da yeni bir olay değildir. Bazı türler ortaya çıkar, bazıları da yok olur; 650 milyon yıldır bu hep böyle olmuştur. Tek fark, türlerin dünya yüzünden gitgide artan bir hızla silinmesi.

— *Bunun nedenleri neler?*

— Canlı yataklarının tahrip edilmesi, kirlilik, sıcaklığın artması... Bu arada, zengin ülkelerde koleksiyoncuların, Asya ülkelerinde de, kaplan kemiği ya da gergedan boynuzundan ilaç yaparak iktidarsızlığa veya astıma çare arayan gele-

neksel tıbbın çevreye verdiği zararları da yabana atmamak gerek! İnsanların çoğu olup bitenlerin farkında değil, çünkü hâlâ her gün kedi, köpek, sıçan, martı ya da güvercin görebiliyorlar; bir neden de, pek çok türün tarla haline getirilen tropikal ormanlarda, yani gözlerden uzakta ortadan kalkması. Sayımı yapılmış olan 8617 kuş türünün %11'i, 4357 memeli türünün %25'i, balıkların %34'ü yok oldu. Elbette birkaç canlı türünü dünya yüzünden sildik diye sistem çökmeyebilir. Ama buna devam edersek, felaketi çağırmış oluruz. Ne zaman gelir, bilmiyoruz. Şu an için tahmin edemediğimiz bir anda sistem çökecek.

— *Bu kesin mi? Sınırlı sayıda canlı türüyle yaşamımızı sürdüremez miyiz? Bengal kaplanı çok güzel, baobab ağacı da öyle; evet, biraz içimiz yanar ama, büyük bir zarara uğramadan onlardan vazgeçmemiz mümkün değil mi?*

— Bir ekosistem yalnız hizmet değil, yarar da sağlar. İşte bu yüzden türlerin yok olması bizi kaygılandırmalı: Her birinin, ihtiyaç duyduğumuz ekosistemlerin işleyişinde bir rolü vardır.

— *Ekosistem nedir?*

— Birbirleriyle ve fiziksel dünyayla ilişki içinde olan canlı organizmaların oluşturduğu bir bütün. Bu terimi sık sık yerküredeki genel ekosistemden söz ederken, biraz şematik olarak kullanırız. Ama tropikal bir orman da kendi başına bir ekosistem oluşturabilir, bir bahçe de, bir su birikintisi de... Ekosistem, bir dengeler bütünüdür. Bu zamana kadar farkında değildik ama, pek çoğunun bize yarar sağladığını yavaş yavaş anlamaya başlıyoruz.

YANG-TSE'NİN AĞAÇLARI

— *Örneğin?*

— Bize ahşap sağladıkları için olduğu kadar, selleri engelleme özellikleriyle de büyük önem taşıyan ormanlar. Yeni olan, devletlerin bile bunun farkına varmaya başlaması. Ni-

tekim 1998'de, Yang-tse Vadisi tarihinin en büyük sel felaketini yaşadı. Milyarlarla ölçülen zarar, yerinden olan milyonlarca insan... Aslında bilinen bir hikâye bu; Çin'de, muson mevsiminde her zaman sel olur. Ama hiç bu kadar büyüğü görülmemişti.

— *Küresel olarak, gezegende ormanlar geçmiştekinden daha mı az yer kaplıyor?*

— Çok daha az. Bu hızla ormanları yok etmeye devam edersek, bugün Yerküre'de kişi başına ortalama 0,56 hektar orman düşerken, 2050'de bu rakam 0,38 hektara inecek. Orman alanlarının en çok gelişmekte olan ülkelerde bozulması da, duruma müdahale edilmesini güçleştiriyor. Üstelik söz konusu olan yalnızca Amazon ve Kongo ormanları değil! Çin'de, Yang-tse-kiang havzasındaki orijinal orman örtüsünün %85'i ortadan kalktı. Oysa orada yaşayan 400 milyon insan var. Sel felaketlerinden kısa bir süre sonra Pekin'de resmi makamlar, Yang-tse havzasında ağaç kesiminin kesin olarak yasaklandığını resmen duyurdular. Daha da iyisi, orman işletmelerinden sorumlu bazı devlet kurumları da yeniden fidanlıklara ağırlık vermeye başladılar. Başbakan Zhu Rongji de çok ilginç bir açıklamada bulundu: "Ayakta duran bir ağacın, kesilmiş bir ağaçtan üç kat değerli olduğunu hesapladık." Çinli otoriteler, ormanın yalnızca bir hammadde kaynağı olmadığını, sellerin kontrol edilmesinde, toprağın korunmasında, karbon gazının dengelenmesinde, vb. çok büyük yararlar sağladığını kabul etmiş oluyorlardı böylece. Bir bilim adamının ya da çevreci bir militanın değil de, somut sorunlarla karşı karşıya gelmiş bir politik önderin bunları söylemesi çok ilginçti.

CEHENNEM NİLÜFERİ

— *Sonuç olarak, gezegenimizin geçirdiği bütün rahatsızlıklar olağan tarihinin bir parçası. Bugün yalnızca boyutlar sorun yaratıyor.*

— Evet. Bütün sorun ölçekte. Geometrik artışın ne olduğunu anlayabilmek için, meşhur nilüfer sorununa kafa yormalıyız.

— *Nilüferlerin de mi başı dertte?*

— Bu öyküde değil. En azından başlangıçta. Bütün nilüferler çoğalır. İlk gün yalnızca bir nilüfer vardır; ikinci gün iki; üçüncü gün dört; dördüncü gün sekiz; ve bu böyle devam eder. Her gün yaprak sayısı böyle ikiye katlanırsa, Yerküre'nin olduğu gibi nilüferle kaplanması ne kadar zaman alır?

— *Pes ediyorum, bilemeyeceğim.*

— Cevap, 29 gün.

— *Hepsi bu kadar mı?*

— Hepsi bu kadar. İşte bu yüzden yaşadığımız olayların eskisine göre çok büyüdüğünü gördüğümüzde, olaylar bizi aşmadan harekete geçmemiz önemlidir.

SAHNE 2

İNSANLIK GEMİSİ SU ALIYOR

Yağmur yetmiyor. 6 milyardan fazla insanı besleyebilmek için yapay sulama şart. Böylece oluşumu yüzlerce yıl, hatta daha fazla süren yeraltı su depoları çılgınca bir tempoyla tüketiliyor...

ÇIĞIRINDAN ÇIKMIŞ ETKİLER

— *Günümüzde, insanlıkla Yerküre gezegeni arasındaki en büyük sorun nedir?*

— LESTER R. BROWN: Su. Pek çok ülkede yoğun kullanım sonucunda yeraltındaki su örtülerinin seviyesi düştü. Binlerce yıl boyunca yeraltı sularını kullandık. Yakın zamana kadar, elimizdeki sistemlerin hepsi yalnız insan ya da hayvan gücüyle çalışıyordu. Bu da, elde edebileceğimiz su miktarını sınırlıyordu. Ama yarım yüzyılı biraz aşkın bir süredir, çok büyük miktarlarda su çekebilmemizi sağlayan elektrikli ya da dizel pompalara sahibiz. Üstelik bu teknoloji, dünyanın her yerinde hemen hemen aynı anda kullanıma girdi. Su arzı çoğaldı, ve biz de "aşırı pompalamaya, su çekmeye" başladık; böylece yeraltındaki su seviyesi de düştü. Su rezervinin hacminin azalmasıyla birlikte pompalanan miktarın oranı arttığı için, ikinci yıl düşüş daha büyük oldu. Bir yeraltı su deposunu kurutmak istemiyorsak, pompalama ritmi,

kaynağın yeniden dolum ritminden daha düşük olmalıdır. Bizse pek böyle yapmıyoruz. Nitekim, Çin'in kuzeyinde...

— *Gene mi Çin!*

— Evet. Aşırı nüfusa sahip bu ülke, önümüzdeki yıllarda dünyanın pek çok yerinde yaşanacak sorunlarla şimdiden karşı karşıya. Çin, nüfusun çevre üzerine fazla baskı kurarsa başımıza neler geleceğini gösteren bir örnek. Her yıl, suyu çekilen binin üzerinde kuyu terk ediliyor. Yeni açılan 200 binin üzerinde kuyu da, yavaş yavaş yeraltı kaynaklarını kurutuyor. Pekin'deki yeraltı su örtüsünün seviyesi, 1965'ten bu yana 60 metre düştü! Yüz milyonlarca Çinli susuz kaldığında ne olacak?

— *İyi ama, ne yapmalı?*

— Mantıklı olabilsek, ihtiyaçlarını karşılayamayacaksak, nüfusun artmasını engellerdik.

— *Bunu deneyen çok insan oldu. Ama gelenekler, din, modası geçmiş çeşitli düşünceler nüfus artışının durmasını engelliyor. İnsanlara şunu söylemek çok zor: "Artık çocuk yapmayın ve daha az sıvı tüketin!"*

— Gezegenimizdeki insan nüfusunu dengeleyemezsek, altından kalkamayacağımız sonuçlarla karşılaşacağız. Oysa bunu yapmak mümkün; bu konuda başarılı olan pek çok ülke var; ki aralarında henüz gelişmekte olanlar da bulunuyor. Bu her şeyden önce eğitimle – özellikle de kadınların eğitilmesiyle ilgili bir sorun. Belli bir alanda yaşayabilecek insan sayısının su kaynaklarına bağlı olduğu kesinlikle akıllara kazınmalıdır.

— *Su kaynaklarını kullanırken daha tutumlu davranmanın yolları yok mu?*

— Var tabii. Bundan elli yıl kadar önce, tarımdaki eski sınırlar ortadan kalktı. Köyden kente göçle birlikte çölleşmeye başlayan toprağı nasıl verimli kılacağımızı düşünüyorduk kara kara. Tarım politikaları, araştırma programları, çiftçilere yardımlar... Toprağın üretkenliğini artırmak için bir dizi yöntem uygulandı. Aynı devrimi, bugün su için de yapmak zorundayız.

TOPRAK SUSADI

— İyi ama, örnek olarak verdiğiniz yeşil devrim, su tüketiminin önemli ölçüde artmasına yol açmadı mı?

— Açtı. Nehirlerden elde edilen ya da topraktan çekilen suyun %70'i tarımda, %20'si endüstride kullanılıyor, %10'unu da insanlar içiyor ya da tuvalette harcıyor. Uzaktan bakıldığında en önde gelen su tüketicisi tarım; işte bu yüzden bu konuya yoğunlaşmak zorundayız.

— Bütün bunlar, sudan bol bir şeyi olmayan Kuzey ülkeleri için gerçekten önem taşıyor mu?

— Kesinlikle! Birincisi, sıcak ülkelerdeki kuraklık bizi doğrudan etkileyebilir. Bugün tahıl piyasasının en gelişkin olduğu yerler Kuzey Afrika ve Ortadoğu. Bunun en temel nedeni de suyun kıt olması. Bu kuşaktaki ülkeler, yeraltı suyunu kapasitenin üstünde kullandılar. Öte yandan, kentler ve sanayi için ihtiyaç duydukları, miktarı da gitgide artan suyu ancak tarımdan kısarak karşılayabilirler. Tarımsal üretkenlikteki düşüşü kapatmak için tohum ithal ediyorlar. Bir ton buğday ithal etmek, o buğdayı yetiştirebilmek için gereken bin ton suyu ithal etmek demek. Aslını isterseniz, su sıkıntısı çekiyorsanız en iyisi su yerine tohum ithal etmek.

— Ama su sıkıntısının bir nedeni de yağış rejimi!

— Bol bol yağış olsa bile bu ülkelere su yetmiyor. 2000 yılında Kuzey Afrika ve Ortadoğu'nun ithal ettiği tahılları yetiştirmek için Nil'deki kadar su lazım!

TÜKETİCİLER ÜRETİCİLERE KARŞI

— Peki, bu durum bizim ülkelerimizi nasıl doğrudan etkileyebilir?

— Etkiler, çünkü uzun zaman yöresel ve geçici bir kriz olarak algılanan durum, uluslararası tahıl piyasasında kalıcı bir ekonomik soruna dönüşmekte.

— *Piyasanın büyümesinin, gelişmiş ülkelerdeki çiftçileri üzmeyeceği kesin!*

— Ama tüketicileri üzecek! Bugün bizden çok uzakta, Çin'de yeraltı suları azalıyor. Bu yarın, bizde de yiyecek fiyatlarının alıp başını gitmesine neden olabilir. Çin, su sıkıntısı çektiği için Birleşik Devletler'den, Fransa'dan, Kanada'dan, Arjantin'den önemli miktarda tahıl ithal etmek zorunda kalacak... Bu ülkeler ihtiyacı karşılayamayacak, böylece fiyatlar fırlayacak.

— *Ama bütün gezegeni doyurabilecek durumdayız!*

— Burnunun ucundan ötesini göremeyen bir ekonomist gibi konuşuyorsunuz; bir ekolojist gibi değil. Piyasaya bakıp şöyle söylüyorsunuz: "Tahıl fiyatları son yirmi yıldır ilk kez bu kadar düştü; bu da aşırı üretim fazlasına ve çok büyük bir üretim gücüne sahip olduğumuzu gösterir." Ama duruma biraz geriden bakıldığında bütün dünyada, yani Çin ve Arabistan'da olduğu kadar Birleşik Devletler'de ve Avrupa'da da "aşırı su kullanımı"nın yılda 160 milyar tonu bulduğu görülür; ki bu da 160 milyon ton tohum demektir. Kişi başına üçte bir ton düştüğü düşünülürse –dünya ortalaması–, bununla 480 milyon insan beslenir. Başka bir deyişle, dünyada 480 milyon insan, yerine konulamayacak sularla besleniyor. Aşırı su tüketmeye bir süre daha devam edebiliriz; ama ister istemez bir kader eşiğine ulaşacağız. Kaynaklar kuruyacak ve üretim kesintiye uğrayacak.

— *Ne zaman?*

— Bunu söyleyemem; süreyi uzatabilecek ya da kısaltabilecek çok fazla etken var. Tek bildiğim, bundan iki yıl önce İran'ın buğday ithalatında Japonya'yı geçtiği. Geçen yıl da Mısır İran'ı geçti. Mısır'ın da İran'ın da nüfusu 65 milyon. Peki 140 milyon nüfuslu Pakistan, ya da 1 milyar 300 milyonluk Çin gibi ülkeler çok büyük miktarda tahıl ithal etmeye başladığında ne olacak?

— *Tahılların parasını ödeyebilecekler mi?*

— 2000 yılında Çin ve Birleşik Devletler arasındaki ticarette Çin'in kârı, Amerika'ya göre 80 milyar dolar daha faz-

la! Bu da demektir ki Çinliler, ihraç edeceğimiz bütün taneleri alacak güce sahipler. Birkaç yıl içinde bir değişiklik olmazsa, Çinli tüketiciler Amerikalı tüketicilere rakip olacak. Gıda fiyatları da fırlayacak.

— *Bütün devletlerin Çin ya da Arabistan kadar maddi imkânı yok.*

— Orası kesin. Gelir düzeyi düşük ülkelerde kentlerde yaşayanlar, gelirlerinin %70'ini gıdaya harcıyorlar. Onlar, hayatta kalabilmek için tek bir buğday tanesi bile alamayacaklar. Uluslararası yardım da yeterli ve kalıcı bir çözüm olmadığından, bu ülkelerde politik istikrarsızlık sorunu ön plana çıkacak.

— *Yarın tahıl sıkıntısı çekeceğimizi bilirken çevreyi daha çok kollayan bir tarım anlayışının benimsenmesini, üretkenliğin bir kenara atılmasını nasıl isteyebiliriz? Bu insanları bir kenara bırakıp gezegeni korumak olmuyor mu biraz?*

— Hayır; bu ikisi sıkı sıkıya birbirine bağlı. Toprağı verimli kılan maddeler sayesinde üretimin arttığı doğru. Ama bugün, bu maddelerin çoğalmasının bir işe yaramaması bir tarafa, daha iyi değerlendirilerek daha düşük dozlarda kullanılmaları da mümkün. Zaten Birleşik Devletler'de gübre tüketimi 1980'dekiyle aynı seviyede; yani dengelenmiş durumda. Ve bu ekonomik bir sorun değil; yalnızca fotosentezin kapasitesinin sınırına ulaştık. Günümüzde fazla kullanılan gübrenin büyük bölümü, bitkiler tarafından emileceğine suları kirletiyor. Aynı şey zirai ilaçlar için de geçerli: Püskürtülen ilaçların %85'i hedefe ulaşmadan çevreye yayılıyor.

TARIM VE OLİMPİYAT OYUNLARI

— *Dünya çapında tahıl üretiminin artık daha fazla artmayacağını mı söylemek istiyorsunuz?*

— Hemen hemen. Çiftçiler daha ölçülü ve hesaplı davranarak daha çok kazanacak, çevreyi daha az kirletecek, ama

artık daha fazla üretemeyecekler. 20. yüzyılın ikinci yarısındaki başarımız ömrünü tamamladı. 1950'den beri, bazı ülkelerde tahıl üretimi dört kat arttı. Fransa'da buğday, Birleşik Devletler'de mısır, Çin'de her ikisi için de geçerli bu. Ama tarım, biyolojik bir süreçtir. 1896'da ilk Olimpiyat Oyunları'nda 1000 metre yarışı 4 dakika 56 saniyeyle kazanıldı. 5 dakikanın hemen altında! 1954'te, bir İngiliz tıp öğrencisi olan Banister, 4 dakikanın altına indi. Bunun üzerinden yarım yüzyıl geçti. Ne var ki günümüzde kimse 3 dakikanın altına inilebileceğini hayal edemiyor: Karşımıza fizyolojik sınırlar çıktı. Tarımda da durum farklı değil.

— *Yerküre'nin tarihinde ve bizim onunla olan ilişkilerimizde bir dönüm noktasına mı geldiğimizi düşünüyorsunuz?*

— Evet. Şimdi çok farklı bir dünyaya adım atıyoruz. Ve buna tam olarak hazır olup olmadığımızdan emin değilim. Pek çok şey aynı anda değişiyor, ömürlerini tamamlıyor, doğru dürüst anlayamadığımız bir biçimde birbirlerini etkiliyorlar. Geleceği tahlil ederken üç ayrı dünyayı göz önüne almak zorundayız: Ekonomik sistemi, sosyopolitik sistemi ve doğal sistemi – ya da isterseniz ekosistemi. Bu üçü çoğu kez birbirleriyle iç içedirler; ve genellikle bizim anlayamadığımız etkileri vardır birbirleri üzerinde.

ATMOSFERİN SIKINTILARI

— *Topraktan ve sudan sonra, havadan da konuşmamız gerekir.*

— O daha kolay.

— *Neden?*

— Sera etkisi ilkesinin tartışılacak bir tarafı yok. Günümüz dünyasında gerçekleşeceğini en kolay tahmin edebileceğimiz çevre olayı atmosferde karbon gazının artacağıydı; bunun yaratacağı bazı sonuçları gerçekten önceden görebildiğimizi düşünüyoruz, örneğin sıcaklığın yükseleceğini.

— *Sıcaklık her yerde yükselmiyor.*

— Doğru, ama toplamda yükseliyor. Elimizde ciddi rakamlar toplandığından beri, yani 19. yüzyılın sonundan bu yana biliyoruz ki, ortalama sıcaklıklar ağır ağır yükseliyor; yükseliş yetmişli yılların ortalarından beri oldukça büyük bir ivme kazandı.

— *Bunun havanın geçici bir kaprisi olmadığını nereden biliyoruz?*

— Bilimde çok nadir kesin konuşulur. Ama gene de çok güçlü tahminlerde bulunabiliriz. İki yüzyıl önce endüstri devrimi başladığında, atmosferdeki CO_2 oranı, bir milyonda 280'di (280 ppm). 1959'da seviye %13'lük bir yükselişle 316 ppm'ye, 1999'daysa 368 ppm'ye ulaşmıştı. Bugün insan etkinliğine bağlı olarak atmosfere saniyede 6 milyar 300 milyon tondan biraz fazla karbon yayılır. Antarktika'da hapsolmuş hava keseciklerinin incelenmesiyle, 420 bin yıldır karbonun ilk kez bu kadar yoğunlaştığı anlaşıldı. Öte yandan CO_2'nin sera etkisini yaratan temel gaz olduğunu biliyoruz; çünkü Yerküre'yi ısıtan güneş ışığını geçirir, soğuyan gezegenin yaydığı kızılötesi ışınları da tutar.

— *Sıcaklığın artmasının da bir anlamı var mı?*

— Evet. Yüz yıl içinde ortalama sıcaklıklar 0,6 derece yükseldi; ve bu süreç otuz yıldır gitgide hızlanıyor. Dünyadaki ortalama sıcaklık 1969-1971 döneminde 13,99; 1996-1998 döneminde14,43 dereceydi. 1860 yılından beri kaydedilmiş olan en sıcak dört yıl, 1990'larda yaşandı. En önemli noktaysa, ortalamanın, gece sıcaklığındaki yükseliş nedeniyle tırmanması.

— *Önümüzdeki yıllarda neler olacağı tahmin ediliyor?*

— CO_2 yoğunluğu endüstri devriminin başındaki seviyenin iki katına ulaşırsa, ki bu mümkün, atmosferdeki ortalama sıcaklık hatırı sayılır ölçüde artacaktır.

— *Ne kadar artar?*

— Artış, 1 ila 4 derecelik bir yelpazede gerçekleşir.

SİLİNMİŞ BUZULLAR

— *Bunun hemen göreceğimiz sonuçları neler?*

— Pek çok sonuç var. Hepsini tam olarak kestirebildiğimiz söylenemez. Ama değişikliklerin yönünü belirleyecek ana etken gene su.

— *Okyanuslarda su seviyesinin yükselmesiyle mi?*

— Elbette. Öte yandan, atmosfer sera etkisine çabuk tepki gösterirse de, okyanusların kıpırdanması onlarca yıl, hatta derin sularda birkaç bin yıl alabilir. Sonuç: Olayın farkına vardığımızda, harekete geçmek için çok geçtir artık; çünkü kesin olan bir şey varsa, o da okyanusun ısındıkça genleşeceğidir. Buna buzulların ve bankizlerin erimesi de eklenince, 2100 yılına dek okyanusların seviyesinin 17 santimetre ila 1 metre kadar yükseleceği tahmin ediliyor. Bu da epey zarar görmemize, bazı illerin ya da kıyı çizgilerinin sular tarafından yutulmasına yeter. Mississipi deltasında her yıl 100 kilometrekarelik bir bataklık ortadan kalkıyor; Bangladeş gibi ülkeler de özellikle tehdit altında. Dünya nüfusunun %20'sinin yaşadığı yerin rakımının 3 metrenin altında olduğunu unutmayalım!

— *Buzullar gerçekten eriyor mu?*

— Her yerde geriliyorlar. Antarktika'da buzun kalınlığı, on yıl öncesine göre yarıya inmiş durumda. Kayalık Dağları'ndaki, Andlar'daki, Alpler'deki, Himalaya'daki bazı buzullar ortadan kalktılar. Her yerde durum aynı. Antarktika, daha şimdiden 10 bin kilometrekareden fazla buz kaybetti. 1991'de Alplerin güneybatısındaki bir buzulun içinden bozulmamış bir insan bedeni çıktı. Adam 5000 yıl önce fırtınaya yakalanmış; hızla kar ve buzla kaplandığı için olacak, şaşırtıcı ölçüde iyi korunmuştu. Ardından 1999'da Kanada'da, Yukon'daki erimekte olan bir buzulun içinde başka bir beden bulundu. Atalarımız, ellerinde birer mesajla buzların içinden çıkıp geliyorlar: Yerküre ısınıyor!

— *Buzulların erimesi, özellikle manzaranın bozulacağını düşünürsek çok hüzün verici. Ama ortadan kalkacak olan-*

lar çok zengin ekosistemler değil sonuçta. Bu durumda bu olayın, insan türü üzerinde dramatik bir etkisi yok.

— Var! İnsanlığın besinlerinin %40'ı yapay yollarla sulanan topraklardan geliyor; ve toprakların büyük bölümü dağ buzullarında depolanmış olan suyla sulanıyor. Buzullar, gökyüzünün hazneleridir. 10 bin yıl önce tarıma geçildiğinden beri, onlar hep oradadırlar. Derken, günün birinde onları inceleyen bilim adamları, kutup bölgelerinde ve dağlık kesimlerde sıcaklığın bir derece yükselmesinin, kar yağışını azaltıp yağmuru artırabileceğini söylüyorlar. Bunun anlamı da yağmur mevsimi boyunca daha fazla akıntı olacağı, akarsuların beslendiği kuru mevsimde de çok daha az kar ve buzun eriyeceğidir.

— *Özetleyecek olursak: Regülatör görevi gören buzulların erimesi, iklimde aşırılıklara yol açacak. Seller ve kuraklıklar birbirini izleyecek. Doğru mu?*

— Çok doğru. Ya çok suyumuz olacak, ya yetmeyecek. Asya'ya bakın: Dünyanın üçüncü büyük kar ve buz deposu buradadır. En büyük depo Güney Kutbu'ndadır; ikincisi Grönland'da; Himalaya buzulları da üçüncü depoyu oluşturur. Asya'nın bütün önemli ırmakları bu buzullardan kaynaklarını alır: İndus, Ganj, Mekong, Yang-tse, Sarı Irmak, vb. İklimin değişmesi, Asya'daki bütün su rejimini altüst edebilir. Oysa Asya tarımında sulamanın çok temel bir rolü vardır. Tarımla uğraşan öyle çok insan var ki... Topraklarını sulayamazlarsa neler olabileceğini hayal etmek bile istemiyoruz...

SU SAVAŞLARI

— *Suyun gün geçtikçe stratejik bir koz haline gelmesinin nedeni bu.*

— Kesinlikle. İster Etiyopya'da, ister Bengal'de, Mısır'da, Sudan'da, ister Çin'de, Yang-tse'nin aşağı ve yukarı bölümleri arasında olsun; su yüzünden toplumlarda pek çok anlaşmazlık yaşanıyor. Uluslararası boyutta bile, gerginlik gitgide

artıyor. Suriye'yle İsrail'in paylaşamadığı Golan Ovası, her şeyden önce kurak bir bölgedeki bir su haznesidir. Fırat Nehri, yukarı bölümüne barajlar inşa eden Türkiye'yle Suriye arasında bir tartışma konusu. Meksikalılar bile Colorado'nun kendi topraklarına girdikten sonra ne hale geldiğine bakarak diş gıcırdatmaya başladılar. Akarsuların debilerinin azaltılması da durumu düzeltemeyecek. İndus'un son üç yılın en düşük seviyesine ulaştığı, bu nedenle buğdayda ürünün %40'ının kaybedildiği göz önüne alınırsa, yavaş yavaş kaygılanmak gerektiği ortaya çıkar.

— *Kısacası önümüzdeki yıllarda yaşayacağımız en büyük sorunlardan biri su kıtlığı; bunun anlamı bazı ülkelerin düpedüz tarımdan vazgeçmek zorunda kalacağı mı?*

— Oldukça büyük sarsıntılar yaşanacak. Gene Çin; politikasını değiştirdi. En çok suyu kentler ve endüstri tüketiyor; tarımsa arta kalan suyla idare ediyor. Bunun sonucunda tahıl üretimi azalıyor. Az önce konuştuğumuz gibi, 1000 ton suyla 1 ton buğday üretmek mümkün; onun da değeri 200 dolar. Ama aynı suyu endüstride kullanıp kazancı yetmiş katına, 14 000 dolara kadar çıkarmak da mümkün. İnsanlara iş alanı yaratmak, ekonomik büyümeyi sürdürmek varken zaten azalmış olan suyu tarımda kullanmak akıllıca değildir. Ve bu durum, dünyanın pek çok yerinde pek çok şeyi değiştirecektir.

— *Ya teknik ilerleme? Madem tarım artık daha fazla gelişmeyecek, elverişsiz bölgelerde üretkenlik artırılamaz mı?*

— Suyu tarımda daha etkili kullanmak kuşkusuz mümkün. Böylece belki %10 ya da %20'lik bir iyileşme sağlanabilir. Ama temel fizyolojik durum nedeniyle, daha fazlası olmaz.

— *Bu durumda insanoğlu, yaşamını borçlu olduğu gezegeni yıpratarak yaşamaya nasıl devam edebilecek?*

— Harekete geçmezsek birkaç yüzyıl içinde bizden geriye ne kalır? Karamsarlığa kapılacak bir şey yok bence; bazen olaylar büyük bir hızla değişebilir. 1989'da Doğu Avrupa'da yaprak kımıldamıyordu. Komünizmin bir günde yıkılabilece-

ği kimsenin aklının ucundan bile geçmiyordu; ama birkaç ay sonra yıkılmıştı işte. Böylesi bir değişimin yaşanacağı kimsenin aklının ucundan bile geçmemişti; ne CIA'nın, ne de kaşarlanmış siyasetçilerin.

PEARL HARBOR'U BEKLERKEN

— *Gene de tarihin akışı içinde istisnai bir olay bu.*

— Hayır. Bir örnek daha ister misiniz? Kırklı yıllarda, Birleşik Devletler'in savaşa girip girmemesi konusunda ülkede büyük bir tartışma yaşanıyordu. Büyük bir çoğunluk savaşa karşıydı: Otuz beş yıl önceki Birinci Dünya Savaşı'nda ölmüş olan 17 bin Amerikalının anısı hâlâ canlıydı; hem madem her Fransız ve Alman kuşağı mutlaka bir kez birbirine giriyordu, en iyisi onları kendi hallerine bırakmaktı... Ardından, 7 Aralık 1941'de Japonlar Pearl Harbor'da gemilerimize saldırdılar. Bir gece içinde her şey değişti. Amerika, Almanya'yla Japonya'ya savaş ilan etti. Bir gün içinde 2 milyon büro çalışanı kendilerini kamplarda talim yaparken buluverdiler. Kadınlar dün evdeydi, bugünse işyerlerinde. Fabrikalarda dün araba üretiliyordu, ertesi günse tank. Benzin, şeker, kauçuk karneye bağlanmıştı. Kelimenin gerçek anlamında, bir gün içinde ekonomik yapıyı baştan aşağı değiştirdik. Çünkü korkuyorduk.

— *Yaşam Yerküre'de, büyük ekolojik felaketlerden sonra gelişti hep: Yoğun yanardağ patlamaları, göktaşları ya da buzullaşma. Kafalar da ancak aynı türden bir tehdit karşısında mı değişecek?*

— Kuşkusuz. Soru şu: "Gezegeni kurtarmak için verilen savaşta, bir Pearl Harbor yaşanacak mı?" Benim görüşüme göre, iklimin ısınmasıyla tatlı su kıtlığı birleşirse benzeri görülmemiş bir yiyecek sıkıntısı yaşanabilir. Fiyatlar ok gibi yükselir. Politik istikrarsızlık ve kitlesel göçler dünyayı korkutur. Ancak o zaman, olan olduktan sonra, yıllar önce yapmamız gerekenlere kafa yormaya başlayacağız.

SAHNE 3

UZLAŞMAYA DOĞRU

Fetih bitti! Yerküre'ye ve can verdiği hayata saygılı, yepyeni bir çağ başlayabilir artık. Teknoloji, insanların çevrelerine karşı değil, onunla birlikte yaşamalarını sağlayabilir. Eğer istersek...

OZON ÖRNEĞİ

— *Gene de, çevre sorunlarına duyarlı insanların sayısının gitgide arttığını düşünmüyor musunuz?*

— LESTER R. BROWN: Düşünüyorum. İyimserliğimin nedeni de bu. Ozon tabakası olayı, son derece cesaret verici.

— *Ozon tabakası konusunda bu kadar olumlu olan ne?*

— İlginç bir hikâye bu. 1972'de Sherwood Roland ve Mario Molina adında iki bilim adamı bir makale yayınlayarak, CFC'lerin –kloroflorokarbür– atmosferde artacağı hipotezini ortaya attılar. Yıllar sonra bu gazların ozon tabakasıyla karşılıklı etkileşime gireceğini, bunun da Yerküre'ye gelen ışınımları artıracağını söylüyorlardı.

— *Ozon tabakasının önemi nedir?*

— Ozon morötesi ışınları süzen, gezegenimizdeki yaşamı koruyan bir gazdır. Kalıcı bir biçimde azalması, kaçınılmaz olarak çeşitli kanser türlerinde, özellikle cilt kanserinde gözle görülür bir artışa yol açacaktır. Atmosferin üst tabakalarında ozon hem üretilir, hem tahrip edilir. Normal zamanlar-

da, iki süreç birbirini dengeliyor; böylece biz de sağlam bir ozon tabakasına sahip oluyoruz. Bu, ozona saldıran CFC'nin üretilmesine kadar böyleydi. O andan sonra üreyenden daha fazla ozon tahrip olmaya başladı.

— *Bütün bunlar daha 1972'de biliniyor muydu?*

— Sadece kuramsal olarak. O zamanlar medya organlarının kopardığı gürültü üzerine, yetkililer az da olsa olayla ilgilendiler ve CFC'nin düşürülmesini karara bağladılar. Ne var ki 1985'te iki İngiliz araştırmacı, kısa süre önce keşfettikleri bir olayı yayınladılar: Ozon tabakasında bir delik vardı. Bu haber bilim çevrelerinin ciddi bir kaygıya kapılarak harekete geçmesine neden oldu. National Science Foundation'ın büyük bir hızla seferber ettiği bilim adamlarından oluşan bir ekip ölçümler yaptı, durumu analiz etti ve CFC'nin olaydan sorumlu olup olmadığını anlamaya çalıştı. Uluslararası çapta büyük bir işbirliğine gidildi; ve sonunda bilim adamları suç aletini ele geçirdiklerini duyurdular. 1987'de, bu konuda önemli bir siyasal toplantı yapıldı. 1990'da Londra'da da başka bir konferans düzenlendi. Danimarka 1992'de CFC'yi tümüyle yasaklayarak en hızlı davranan ülke oldu. Öbür ülkeler de sonunda onu izlediler.

— *Bugün CFC'ler tamamen ortadan kalktı mı?*

— Hemen hemen. Ozon tabakası henüz tamir olmadı, ama yavaş yavaş eski haline dönebilmesi için gereken koşulları yarattık gibi gözüküyor. Bu örnek öykü, gerçekten kaygıya kapıldığımızda harekete geçebildiğimizi gösteriyor. İklim konusunda da böyle davranabilecek miyiz?

EKONOMİ EKOLOJİYE KARŞI

— *CFC'lerin yasaklanabilmesi için birkaç teknik düzenleme yeterliydi; ekonominin altüst olması gerekmiyordu.*

— Orası öyle. Ama ekonomiyle ekoloji arasında büyüleyici bir ilişki var: Her şeyin anahtarı da bu ilişki. Yerküre gezegeninin tarihinden söz ederken insanların etkisini, insanla-

rı konuşurken de ekonomiyi bir kenara atmak olmaz. Piyasa, son derece özel bir özdenetim kurumu. Ama zayıf bir yönü var: Pek çok şeyin gerçek fiyatı konusunda aldatıcı. Örneğin benzin alırken araştırmanın, petrolün çıkarılıp arıtılmasının, taşınmasının, dağıtılmasının ederini ödersiniz. Ve belki bir de, hükümetin koyduğu vergiler dahildir fiyata. Oysa hava kirliliğine bağlı sağlık harcamalarını ödemezsiniz. Asit yağmurlarının verdiği zararları ödemezsiniz. İklimdeki bozulmaların bedelini ödemezsiniz.

— *Öyleyse kim ödüyor bütün bunları?*

— Bir noktaya kadar, vergi verdiği için herkes. Ama işin faturası daha çok çocuklarımıza çıkacak. Biz, hesabı ödemeden gideceğimizi umuyoruz. Tıpkı su konusunda olduğu gibi: Dünya yüzünde bir tek damla su kalsa, hiç kafa yormadan onu da kullanırız. Yarına Allah kerim... Bütün gelişmiş ülkelerde yapay sulama devlet tarafından destekleniyor. Tüketiciler, tarımcılardan çok daha fazla para ödüyorlar suya; üstelik tarımcılar suyu genellikle kirletiyorlar da. Ve sorun yalnızca enerjiden ve sulamadan kaynaklanmıyor... Zirai ilaçlardan vergi alınsa, insanlar kesinlikle çok daha dikkatli davranırlardı.

'SAĞLAM MAL' MI, 'KULLAN-AT' MI?

— *Gezegeni kurtarmak için vergi koymak mı? Bu gerçekten etkili olur mu? Yalnızca yasaklamakla olmaz, ayrıca inandırıcı alternatifler de sunmak gerek insanlara. Tıpkı* CFC *konusunda olduğu gibi. Örneğin Brezilya'daki büyük barajlar elektrik kadar metan da üretiyor; Çin'de, Üç Vadiler'de bulunan baraj da ekolojik, tarihsel ve insani bir felaket olarak hatırlanacak.*

— Her alternatif iyi olacak diye bir kural yok. İnsanın zenginken para biriktirmesi, fakirken biriktirmesinden kolaydır. Ohio'da kendimiz de ormanları ortadan kaldırarak tarlalar açmışken, nasıl kalkıp Brezilyalılara odun elde etmek, toprağı işlemek ya da hayvanları otlatmak için tropikal or-

manları kesmeyin, diyebiliriz? Sorun, böyle bir şeyin yapılıp yapılamayacağı değil. Biz Ohio'da yaptığımıza göre, demek ki olabiliyor. Sorun, olup bitenlere uzun vadeli yaklaşıp yaklaşamadığımız; tropikal ormanlara karşı böyle davranamadığımız açık.

— *Belli bölgelerde birtakım alanların hayvan ve bitki örtüsünün korunması için ayrılması, bir ilk adım sayılamaz mı? Geçici de olsa, bir çözüm?*

— Nüfusu ve iklimi dengeye oturtamadığımız sürece, gezegeni böyle büyük alanlar ya da doğal parklar yaratarak korumak düşüncesi herhalde çok gerçekçi sayılmaz. İnsanlar acıkınca parklara girip, ister korunsun ister korunmasın, hayvanları öldüreceklerdir. Proteine ihtiyaç duyacakları için, önlerine çıkan her hayvanı avlayacaklardır.

— *Çizdiğiniz tabloya bakılırsa, gelecekte ortaçağdaki kıtlık zamanlarına geri döneceğiz!*

— Ne gelecek bu, ne ortaçağ! Söylediklerim Afrika'nın bazı bölgelerinde bugün olan şeyler. Ekosistemleri gerçekten korumak istiyorsak, neyin uzun vadeli olup neyin olamayacağını irdelemek zorundayız.

— *Kullan-at kültürüne uyum sağlamış bir dünyada zor bir iş bu!*

— Kuşkusuz öyle. Ama başka çaremiz yok. Bugün, piyasalar ekosistem sorunsalına tamamen yabancı; oysa onlar da ekosistemin bir parçası. Ama onunla çatışma halindeler; bunun sonuçlarını da günbegün görüyoruz: Balıkçılığın iflas etmesi, ormanların küçülmesi, toprakların erozyona uğraması, alışılmadık fırtınalar ya da seller, yeraltı sularının cılızlaşması, mercanların ölmesi, sıcaklığın artması, buzulların erimesi, birtakım canlı türlerinin ortadan kalkması... Bütün bu olaylar, ekonomik sistemle Yerküre'deki ekosistem arasındaki çatışmanın belirtileri. Kısacası ekonomik yapıyı bir an önce bizim de bir parçası olduğumuz doğayla uyumlu olacak biçimde yeniden kurmak zorundayız.

— *Mercanların ölmesi, insanoğlu için neden bu kadar önemli?*

— Mercanların pek çok işlevi vardır. Öncelikle, alçak kıyıları dalgalara ve gelgitlere karşı korurlar. Bunun dışında mercan setleri, pek çok türden balığın sığındığı gerçek bakım odalarıdır. Hem Paul Tapponnier de size karbon gazının dengede tutulmasında mercanların küçük ama önemli bir rol oynadıklarını söylemişti. Bu türün ortadan kalkması önemli bir ekosistemin yıkılmasına yol açar. Ve bugün, bunun getireceği bütün sonuçları kestirebilecek durumda değiliz.

DOĞA BİR MÜZE DEĞİLDİR

— *Ama bir türün yok olması yüzünden değil, yabancı bir türün gelmesi nedeniyle tehlikeye giren sistemler de var. Viktorya Gölü'nde Nil levreği, Avustralya'da tavşanlar, Akdeniz'de* caulerpa taxifolia *yosunu, vb...*

— Kuşkusuz; ama yaşam böyle. Türler her zaman birbirleriyle rekabet ettiler; sonunda yeni dengeler kuruldu. İnsanoğlu kuşkusuz yeryüzünde bitkilerin, hayvanların ya da mikropların hayatının akışını hızlandırdı; ama aslında, başından beri var olan bir sürece katılmaktan başka bir şey yapmadı. Dünyadaki ekosistem, dinamik bir dengedir. Yerküre yaşar, ve her şeyi belli bir anda dondurmayı istemek gibi bir hakkımız yok. Zaten imkânsızdır da bu... Amerika'dan getirilen bağ kütüklerinde bulunan *phylloxera* Fransız bağlarını mahvedince, gezegendeki bu tip hareketlerden rahatsız oluyoruz. Ama Amerika'da bir çiftliğe gittiğinizde, hindi dışında bütün hayvanların başka yerlerden geldiğini görürsünüz; atlar, inekler, domuzlar, tavuklar, vb. O zaman da bu durumu iyi diye değerlendiririz.

— *Bununla birlikte bazı yerel türlerin kökü kuruyabilir.*

— Başkaları daha baskın çıkıp da yerlerini alırsa, evet. Onları korumak için çabalamak gerekir, ama evrimi yenemeyiz; oysa yeni türlerin gelmesiyle mahvolanları değilse de, bizim körüklememiz yüzünden tehlikeye giren ekosistemleri kurtarabiliriz. Şu sıralar bol bol doğal tarımdan söz ediliyor.

Bunun yerine ekonomik ve ekolojik açıdan akılcı tarım yöntemleriyle uğraşsak daha iyi ederiz; çünkü tarımda herhangi bir şeyin doğal olup olamayacağından emin değilim. Her şeyi biz yarattık. Doğal olan biricik yöntemler avcılık ve toplayıcılık. Sonuç olarak, her şeyin gitgide birbiriyle iç içe geçtiği bir dünyada, canlı organizmaların hareketlerini kontrol etmek çok zorlaştı. Yeni gerçekliklerle yaşamayı öğrenmek zorundayız.

— *Yaşamsal dengeleri korumak istiyorsak, bu gezegende en fazla kaç insan yaşamalı size göre?*

— Bu konuda o kadar çok hesap yapıldı ki! En düşük tahminler 2 milyar insana kadar inebiliyor; en yüksekleriyse 30 milyara ulaşıyor. Ben, bu kadar soyut bir soruya karşıyım. Doğrusu şöyle olmalı: "Kaç kişi?", bunun yanında "Nasıl bir tüketim seviyesi?". Ortalama bir Amerikalı çoğu et, süt, peynir, vb. gibi dolaylı yollardan olmak üzere, yılda ortalama 800 kilo tahıl tüketir.

— *Hayvanlar en büyük tahıl tüketicileri arasında mı?*

— Birleşik Devletler'de, evet. Dünyadaki tahılların %35'i kendileri de tüketilebilen hayvanlara gidiyor. Ve bu 20 yıldan beri hemen hiç değişmedi. İtalya'da tahıl tüketimi yılda kişi başına 400 kilo. Hindistan'da, hemen hepsi doğrudan olmak üzere 200 kilo tüketiliyor. Ne var ki İtalya'daki ortalama yaşam süresi, Hindistan'dakinden de Birleşik Devletler'dekinden de daha yüksek. Dünyanın bugün yılda 1 milyar 850 milyon ton tahıl ürettiğini düşünürsek, 2 milyar tona ulaşabileceğimizi varsayabiliriz. Bu da 10 milyar Hintli'yi, 5 milyar İtalyan'ı ya da 2,5 milyar Amerikalı'yı besleyebilir. Hangisini seçersek.

— *Gerçekten de geminin yönünü değiştirip aynı zamanda da standardımızı koruyabilir miyiz? Rahat yaşarken bir yandan da enerji tasarrufunda bulunabilir miyiz? İstediğimiz gibi hareket edip, aynı zamanda çevreyi de kirletmememiz mümkün mü?*

— Yavaş yavaş nelerin yapılabileceğini görmeye başladık. Birtakım yeni teknikler geliştirebiliriz.

— *Örneğin?*

— Pek çok yol var. Gelecekte enerji kaynaklarının çeşitlerinin artacağını düşünüyorum. Güneş enerjisi, Üçüncü Dünya'nın bazı bölgelerinde daha şimdiden yabana atılmayacak bir yere sahip, sistem daha da geliştirilebilir. Bir başka kaynak ise, rüzgâr. Rüzgârdan elde edilen elektriğin kilovatı 1981'de 2600 dolarken, 1998'de 800 dolara düştü. Danimarka'da elektriğin %8'i; Kuzey Almanya'nın kuzeyindeki bir eyalet olan Schleswig-Holstein'ın elektriğinin %11'i; İspanya'nın kuzeyindeki Navarro'nunkinin %20'si rüzgâr enerjisiyle üretiliyor. Ve aynı teknik, Amerika'da Minnesota, Iowa, Oregon, Wyoming ve Texas gibi bazı eyaletlerde büyük bir hızla gelişiyor. Ama dünyada bu konuda başı çeken ülke, kullanıma sunduğu 900 megavatla Hindistan. Umut vaat eden başka bir kaynak da hidrojen. Evren'in bu en yaygın molekülü, tükenmeyen, muhteşem bir yakıt haline gelebilir. Hidrojen füzelerde zaten kullanılıyor. Yeter ki bu konuyu araştırmak isteyenlere olanak sağlayalım.

— *Sorun, elektrik olmadan hidrojen üretemiyor olmamız. Olduğumuz yerde dönüp duruyoruz.*

— Rüzgâr yüzyıllar boyunca değirmenleri döndürdü, buğdayı öğüttü. Bu tükenmez kaynaktan elektrik, ondan da hidrojen elde edebiliriz.

— *Rüzgâr türbinlerinin sayısı çoğaldıkça manzara çirkinleşecek. Üstelik çok gürültü yapıyorlar!*

— Gürültüleri gitgide azalıyor. Ayrıca büyük bir hızla ilerleyen teknoloji sayesinde daha yavaş, yeni rüzgâr türbinleri yapabiliyoruz. Üstelik onları Patagonya gibi, hemen hiç kimsenin yaşamadığı bölgelere yerleştirip hidrojeni de aynı yerde üretebiliriz; hidrojen depolanıp başka yerlere taşınabilir. Bu, dünyanın bazı çorak yerlerini zenginleştirmek için de bir yol olabilir. Hatta *off shore* rüzgâr bataryaları bile hayal edebiliriz. Sorun hangi yöntemi benimseyeceğimizden çok, yeni yöntemler bulmaya istek duymamız. Güçlerini zenginliklerinden alan baskı gruplarının boyunduruğundan kurtulmamız. Eğer çevreyi kirletenler yaptıklarının bedelini öde-

selerdi, her şey farklı olabilirdi. Anahtar, piyasada doğruların ifade edilmesinde. Ekolojik bir ekonomi Yerküre'yi yaşanacak harika bir yer haline getirebilir. Gürültüsü, stresi, kirliliği az kentler hayal edin... Günün birinde insanlar geriye dönüp baktıklarında, 20. yüzyılın ikinci yarısını hiç kuşkusuz, kent yaşamı açısından karanlık bir çağ olarak değerlendirecekler. Hiçbir insan kuşağı, bizim elimizdeki kadar büyük bir potansiyele sahip olmadı. Ama bunun sırtımıza yüklediği sorumluluğun da bir o kadar ağır olduğunu unutmamalıyız.

⇔

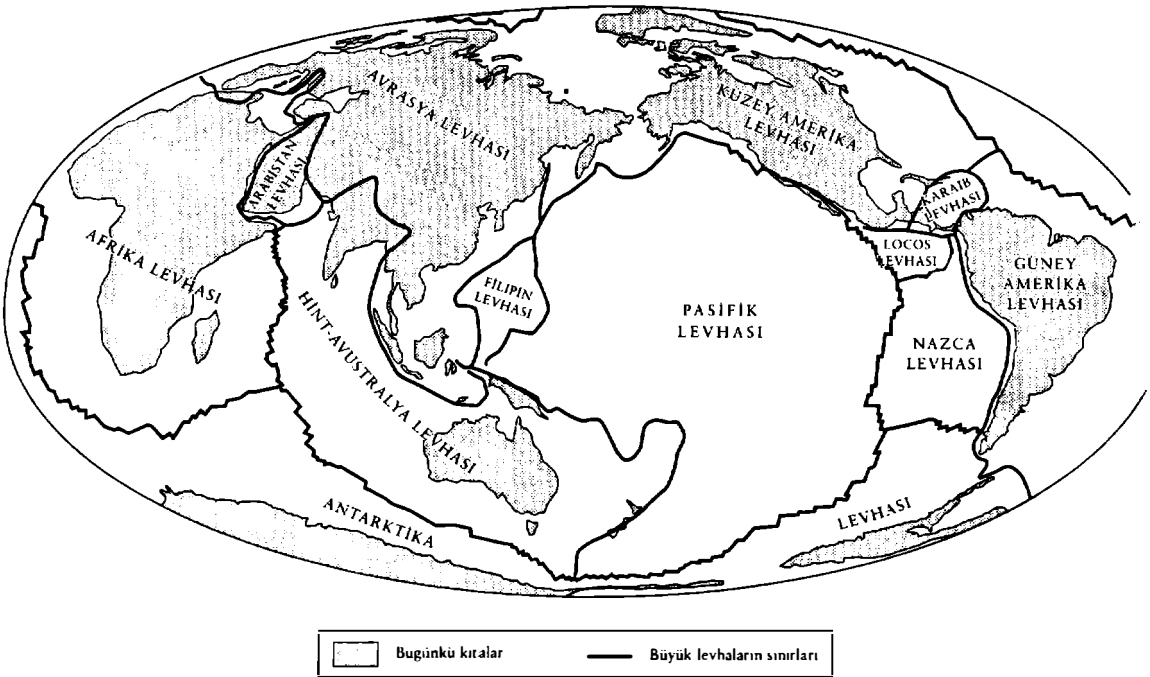
200 milyon yıl



150 milyon yıl



LEVHALAR


AVRASYA LEVHASI
KUZEY AMERİKA LEVHASI
ARABİSTAN LEVHASI
ARAKİB LEVHASI
AFRİKA LEVHASI
FİLİPİN LEVHASI
LOCOS LEVHASI
GÜNEY AMERİKA LEVHASI
PASİFİK LEVHASI
NAZCA LEVHASI
HİNT-AVUSTRALYA LEVHASI
ANTARKTİKA
LEVHASI
Bugünkü kıtalar
Büyük levhaların sınırları