

**Stephen Porder**

# **ELEMENTLER**

**Dünya'yı Şekillendiren Beş Kimyasal  
Elementin Geçmişi ve Geleceği**



—  
Araştırma  
İnceleme  
—



**Stephen Porder**, Brown Üniversitesi'nde ekoloji ve evrimsel biyoloji profesörüdür. Aynı üniversitenin Çevre ve Toplum Enstitüsü'nde öğretim üyesi ve Sürdürülebilirlikten Sorumlu Rektör Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Amherst College'dan tarih alanında lisans, Montana Üniversitesi'nden jeoloji alanında yüksek lisans ve Stanford Üniversitesi'nden biyoloji alanında doktora derecesi almıştır. Hakemli dergilerde yayımlanmış yetmişten fazla makalesine ek olarak *New York Times*, *Folha de São Paulo*, *Providence Journal* ve *Natural History Magazine*'de de yazıları yer almıştır. Rhode Island'ın Providence kentinde, eşi Beth ve kızı Phoebe ile birlikte yaşamaktadır.

## ELEMENTLER

### Dünya'yı Şekillendiren Beş Kimyasal Elementin Geçmişi ve Geleceği

**Orijinal adı:** Elemental: How Five Elements Changed Earth's Past and Will Shape Our Future

© 2023, Stephen Porder

**Yazan:** Stephen Porder

**İngilizceden çeviren:** Durmuş Bayram

**Yayına hazırlayan:** Kemal Küçükgedik

**Türkçe yayın hakları:** © 2026 Doğan Yayınları Yayıncılık ve Yapımcılık Tic. A.Ş.

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Yayınevinden yazılı izin alınmadan kısmen veya tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz. Bu kitabın Türkçe hakları Kalem Ajans aracılığıyla alınmıştır.

**1. baskı** / Haziran 2026 / ISBN 978-625-8593-56-3

**Sertifika no:** 44919

**Kapak tasarımı:** Cüneyt Çomoğlu

**Sayfa uygulama:** Taylan Polat

**Baskı:** Ayhan Matbaa Basım San. Tic. Ltd. Şti.

Mahmutbey Mah. 2622 Sok. No: 6/41

Bağcılar - İSTANBUL

Tel. (212) 445 32 38 / Faks (212) 445 05 63

Sertifika no: 44870

**Doğan Yayınları Yayıncılık ve Yapımcılık Tic. A.Ş.**

19 Mayıs Cad. Golden Plaza No. 3, Kat 10, 34360 Şişli - İSTANBUL

Tel. (212) 373 77 00 / Faks (212) 355 83 16

[www.dogankitap.com.tr](http://www.dogankitap.com.tr) / [editor@dogankitap.com.tr](mailto:editor@dogankitap.com.tr) / [satis@dogankitap.com.tr](mailto:satis@dogankitap.com.tr)

# Elementler

Dünya'yı Şekillendiren Beş Kimyasal  
Elementin Geçmişi ve Geleceği

Stephen Porder

DOĞAN KİTAP  
ÖRNEKTİR

Çeviren: Durmuş Bayram

 Doğan  
Kitap

DOĞAN KİTAP  
ÖRNEKTİR

Beth ve Phoebe için

# İçindekiler

GİRİŞ / Dünyayı değiştirenler .....	11
BİRİNCİ KISIM / Geçmişten dersler .....	23
1. Tüm zamanların en büyük çevresel değişimi .....	25
2. Bitkiler kıtaları kolonileştiriyor .....	44
İKİNCİ KISIM / Sahiden çok farklı mıyız? .....	61
3. Yaşamın bataryası ve dünyanın battaniyesi.....	63
4. İklim değişikliği hakkında bildiklerimizi nasıl biliyoruz? ..	83
5. Tam kararında element.....	103
6. Beyaz altın: Sınırlı ve vazgeçilmez.....	117
7. Su, karadaki yaşamın anahtarı .....	138
ÜÇÜNCÜ KISIM / Çıkış yolu? .....	157
8. Biyojeokimyasal şans .....	159
9. Yanıt bekleyen bilinmeyenler .....	178
Teşekkürler .....	201
Sonnotlar .....	203
Dizin.....	207

## GİRİŞ

# Dünyayı değiştirenler

Dünyayı değiştirmek için ne gerekir? Geçici bir siyasal değişimden, tekerlek gibi devrimsel bir buluştan ya da ateşin kontrol altına alınmasıyla gerçekleşen bir dönüşümden söz etmiyorum. Jeolojik ve evrimsel zaman boyunca yeryüzündeki yaşamın izleyeceği rotayı şekillendirecek bir değişimden bahsediyorum. Altmış beş milyon yıl önce gerçekleşen meteor çarpmasının yol açtığı değişim gibi bir şeyi kastediyorum: Gezegeni yoğun bir toz bulutuyla saran, Güneş'i engelleyen, dinazorları yok eden ve memelilerin yükselişinin önünü açan bir değişim. Böylesine yıkıcı ve dünyayı değiştiren olaylar pek sık yaşanmaz ancak yaşandıklarında da yaşam ağacını sonsuza dek şekillendirirler.

Bu kitap meteor çarpmalarıyla değil; en az onlar kadar çarpıcı, yaşamın bizzat tetiklediği, dünyayı değiştiren olaylarla ilgilidir. Bu olaylar meteor çarpmalarından daha da nadir görülür ve yüksek bütçeli Hollywood filmlerine konu olmaz fakat etkileri daha derin ve uzun erimlidir. Bu olaylar evrimin kendisinden önce gelen hiçbir canlının başaramadığı ölçüde belirli kaynakları bir araya getirebilen yeni bir organizma türü ortaya çıkardığı anlarda gerçekleşir. Böylece bu tür organizmalar, gezegenin kimyasını olağanüstü biçimlerde yeniden şekillendirebilir.

Bu tür evrimsel sıçramalar genellikle aralarında yüz milyonlarca, hatta milyarlarca yıl bulunacak kadar nadirdir. Şaşırtıcı biçimde, bu organizmaları ve hayal bile edilemeyecek zaman derinlikleri bo-

yunca tetikledikleri değişimleri birbirine bağlayan ortak bir izlek vardır. Bu kitap, sönük bir Güneş altında oksijensiz bir Dünya'dan bugün yaşadığımız sanayi dünyasına kadar uzanan yaşam kaynaklı küresel değişimin izini sürerek bu bağlantıyı inceler. Gezegenimizin deneyimlediği en büyük değişimlerden bazılarına, bunlara yol açan organizmalara ve geçmişten çıkarabileceğimiz, geleceğe hazırlanırken bize yardımcı olabilecek derslere birlikte dalacağız.

Bu değişimlerin ilki ve en büyüğü hayvanların, bitkilerin ve mantarların henüz var olmadığı, hiçbir organizmanın tek bir hücreden daha büyük olmadığı bir dünyada gerçekleşti. Dolayısıyla yaklaşık iki buçuk milyar yıl öncesine döneceğiz ve siyanobakteri olarak adlandırılan yeni bir tek hücreli organizma türünün çoğalması ile başlayacağız. Okyanuslarda yaşayan bu mikroorganizmalar, çok hücreli yaşamın ortaya çıkmasının zeminini hazırlarken, küresel ölçekte bir çevresel felakete yol açtılar. Ardından iki milyar yıl ileri saracak, yaklaşık dört yüz milyon yıl öncesine, dünyayı değiştiren ikinci organizma türü olan bitkilerin sudan karaya çıktığı döneme gideceğiz. Bu bitkilerin kıtalar boyunca yayılması, tropikal özellikler taşıyan dünyayı buzul çağına sürükledi. Son olarak günümüze geleceğiz. Siyanobakteriler ve bitkilerden ne kadar farklı görünsek de dünyayı değiştiren üçüncü büyük organizma haline gelmiş durumdayız. Üstelik ilk bakışta pek fark edilmese de bizden önceki iki organizma ile sandığımızdan daha çok ortak yönümüz var.

Bu organizmaları ve jeolojik zamanın hayal edilemeyecek derinlikleri boyunca tetikledikleri değişimleri birbirine bağlayan izlek, her canlı hücrenin yüzde 99'undan fazlasını oluşturan beş elementten örülmüştür: hidrojen (H), oksijen (O), karbon (C), azot (N) ve fosfor (P). Bunlar, benim "yaşamın formülü" adını verdiğim şeyi oluşturur: HOCNP. Büyük ya da küçük, tüm organizmalar durmaksızın bu temel bileşenleri arar, bedenlerini inşa etmek için onları çevreden toplar. Bunda başarılı olanlar hayatta kalır, başarılı olmayanlar ise ortadan kalkar. Evrim söz konusu elementleri daha yeni, daha verimli ve daha başarılı bir biçimde bir araya getirebilen bir organizma ürettiğinde, o organizmanın dünyayı değiştirmesinin zemini hazırlanmış olur.

Peki, tek bir organizma türünün evrimi bütün dünyayı nasıl değiştirebilir? Cevap, yaşamın formülünde gizlidir. Bu elementler belirli bir düzenleyken tüm canlıların yapıtaşını oluşturur, başka bir düzende ise Dünya'nın yaşam için elverişli olmayacak kadar ısınmasını sağlayan havadaki gazları meydana getirir (fosforu bir kenarda tutalım çünkü onun ayrık rolünü ileride çok daha ayrıntılı ele alacağız). Dolayısıyla evrim bu elementlerden birini ya da birkaçını çevreden emsali görülmemiş miktarlarda çekebilen bir organizma ortaya çıkardığında, hava içindeki ısı tutucu gazların yoğunluğu ve iklim değişir. Bir organizmanın yaşamın bileşenlerini toplamadaki başarısı ne kadar olağanüstü olursa, ortaya çıkan iklim değişimi de o kadar çarpıcı olur. Sonuçta bu elementler (dün, bugün ve yarın) yaşam ile iklim arasındaki bağı oluşturur.

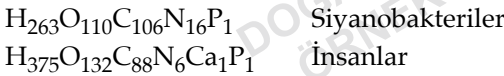
Bu hikâyedeki dünyayı değiştiren üç organizma, yaşam ağacının birbirinden oldukça farklı dallarında yer alır: mikrobiyal, bitkisel ve hayvansal. I. Kısım'da, jeolojik zamanın derinliklerine inerek ilk iki dünyayı değiştirenlerin, yani siyanobakterilerin ve kara bitkilerinin hikâyesini anlatacağız. Tek hücreli siyanobakterilerin yaşamın formülünün bileşenlerini, özellikle de karbonu ve azotu toplamak için nasıl yeni yollar geliştirdiğini ve tüm zamanların en büyük çevresel değişimi olan Büyük Oksidasyon Olayı'nı nasıl tetiklediğini inceleyeceğiz. Ardından yaklaşık iki milyar yıl ileri sararak dünyayı değiştiren ikinci organizma sınıfı olan kara bitkilerini tanıtacağız. Hidrojen, oksijen ve fosfor toplama konusundaki evrimsel yenilikleri, onların daha önce çorak olan kıtalar boyunca yayılmasını mümkün kıldı. Ancak bitkilerin çoğalışı, Kuzey Kutbu'nda bile ılık okyanuslara sahip o dönemin tropikal gezegenini buzul çağına sürükledi ve dünyanın ilk ormanlarının büyük bir bölümü dondu. Her iki durumda da bu değişimleri, hepimizi üzerinde yaşadığımız gezegene bağlayan yaşamın formülünün elementleri üzerinden kavrayabiliriz. Siyanobakterilerin ve kara bitkilerinin tarihi, aynı zamanda dünyayı değiştiren üçüncü unsurun, yani insanların hikâyesinin de altyapısını oluşturur.

II. Kısım'da insan faaliyetlerine dayalı sanayi, teknolojik yenilikler ve yayılmanın, Antroposen adı verilen yeni bir jeolojik dönemi nasıl

ortaya çıkardığını inceleyeceğiz. Bitkisel ve bakteriyel seleflerimizle aramızdaki bütün bariz farklılıklara rağmen bizi ortak bir elementsel izlek birleştirir: HOCNP. Hatta bu bağ, modern toplumun yol açtığı küresel çevre sorunlarının karmaşık ağını çözenin anahtarındır. Bunu anlamak geleceğe bakacağımız III. Kısım'ın da anahtarındır. Seleflerimizde olduğu gibi bu beş elemente olağanüstü erişimimiz bize muazzam kazanımlar sağlarken, bizi farkında olmadan çevresel bir felakete doğru itmiştir. Olağanüstü yeniliklerimizin istenmeyen sonuçlarını hafifletmek, dünyayı değiştirmek için kullandığımız bu elementleri nasıl yönettiğimize bağlıdır. Daha sürdürülebilir bir gelecek istiyorsak, bizden önce gelenlerden öğrenecek çok şeyimiz var.

\* \* \*

Üç organizmamızı kısaca tanıdığımıza göre, şimdi yaşamın formülünü oluşturan ve iklimimizi şekillendiren beş elemente bakalım. Aşağıda, hikâyemizdeki dünyayı değiştiren organizmalardan ikisini temsil eden iki kimyasal "formül"\* yer alıyor:



Lise yıllarındaki kimya derslerinden aklında pek bir şey kalmamış olanlar için kısaca izah edelim. Bu harfler, daha önce tanıttığımız beş elementi (ve altıncı olarak kalsiyumu) temsil eder: H = hidrojen, O = oksijen, C = karbon, N = azot, Ca = kalsiyum ve P = fosfor. Alt indisler, bu elementlerin vücudumuzdaki görelî bolluğunu gösterir. Örneğin bir siyanobakteri hücresinde (ilk formül), oksijen atomlarının sayısının iki katından biraz fazla hidrojen atomu vardır (263'e 110) ve fosfor atomlarına kıyasla 263 kat daha fazla hidrojen atomu bulunur. İnsanlar (ikinci formül) hem vücudumuzdaki element türleri hem de bunların görelî bollukları bakımından şaşırtıcı derecede benzer bir

\* Burada "formül" sözcüğünü tırnak içinde kullanıyorum, çünkü hücreler tek bir kimyasal değildir, binlercesinin karışımıdır. Ancak bütün bir organizmayı analiz etseydiniz, yaklaşık olarak böyle bir "formül" elde ederiniz.

bileşime sahiptir. Hatta herhangi bir canlı için bir formül yazabilirdim ve bunlara çok benzer görünürdü. Bilinen yüzden fazla element arasından bu beş element (ayrıca kemikleri ya da kabukları olanlar için kalsiyum) Dünya üzerindeki her organizmada en bol bulunanlardır; bolluk sırası da hemen hemen aynıdır ve oranları da kabaca benzerdir. “Yaşamın formülü” bakterilerde, bitkilerde ve insanlarda şaşırtıcı derecede tutarlıdır. Bu ortak kimya, tüm organizmaları aynı gemiye yerleştirir. Tüm canlılar bu hayati elementleri çevreden çekip almak zorundadır. Yaşamın çoğalabilmesi için yalnızca birine değil beşine, H, O, C, N ve P’ye erişimi olması gerekir.

Canlılar bu elementlerle ne yapar? H ve O birleşip suyu meydana getirir ve tüm hücrelerin ezici çoğunluğunu oluşturur. Dünya ötesindeki yaşam üzerine düşünen ve onu arayan kişiler, diğer bir ifadeyle astrobiyologlar yaşamın su olmadan imkânsız olduğuna ikna olmuştur. Sayısız işlevinden yalnızca birkaçını sayacak olursak su, neredeyse tüm besin zincirlerinin temelini oluşturan fotosentezde (ayrıntılı ele alacağız) ve tüm hayvan hücrelerini ayakta tutan tepkimelerde kullanılır. Okyanuslarda suya erişim kolaydır fakat karada yeterince su bulup vücuttaki su dengesini korumak her canlının en acil gereksinimidir. Bu güçlük II. Kısım’da kara bitkilerinin evrimini ele alırken önemli bir rol oynayacaktır. Yaşamın bolluk bakımından üçüncü sırasında yer alan karbon elementi DNA, RNA, proteinler, yağlar, karbonhidratlar, şekerler ve daha pek çok biyolojik molekülün omurgasını oluşturur. Çoğu organizma, karbon elde etmek için doğrudan ya da dolaylı olarak fotosenteze bağımlıdır. Fotosentetik organizmalar (bitkiler gibi), güneş ışığının enerjisini kullanarak havadaki karbondioksiti alır ve bu enerjiyi kimyasal bağlarında depolayan biyolojik moleküllere sentezler. Diğer organizmalar (örneğin biz ve yediğimiz hayvanlar) bu molekülleri tüketir, onları parçalayarak enerjiyi açığa çıkarır. Etkinliklerimizi bu enerjiyle sürdürürüz ve karbondioksiti yeniden havaya veririz. Böylece fotosentez, yaşam ile gezegeni sıcak tutan en önemli gaz olan karbondioksitle doğrudan ilişki tesis eder. Bu ilişkiyi ilerleyen bölümlerde çok daha ayrıntılı olarak inceleyeceğim. Son olarak fotosentez yapsın ya da yapmasın bütün canlılar, DNA’yı (ve diğer

birçok temel biyolojik molekül) oluşturmak için azot ve fosfora ihtiyaç duyar. Bu iki element Dünya'daki tüm yaşamın genetik koduna gömülüdür fakat ileride göreceğimiz üzere, organizmaların hayatta kalmak için ihtiyaç duyduğu miktarla kıyaslandıklarında, çoğu zaman yetersiz kalırlar.

Bu vazgeçilmez elementlerin bolluğu, Dünya yüzeyinde son derece büyük farklılıklar gösterir ve bu farklılık, yaşamın nerede ve ne kadar var olduğunu belirler. Şili'nin yüksek And Dağları'ndaki Atacama Çölü'nde, yüzyıllar boyunca yağmur yağmadığı için yaşam son derece sınırlıdır. Antarktika'nın çok büyük bir kısmında da yaşam çok azdır, zira sıcaklıklar, havadan karbonun fotosentez yoluyla yakalanmasına imkân verecek kadar yüksek değildir. Belki daha da şaşırtıcı olanı, Orta Ekvatorial Pasifik Okyanusu'nun sıcak ve güneşli sularında da yaşamın son derece sınırlı oluşudur, çünkü azot kıtlığı orada sulu bir "çöl" yaratır. Buna karşılık, okyanus akıntılarının güneş alan suları azot ve diğer besin maddeleriyle zenginleştirdiği Doğu Pasifik'te yaşam kaynar. Benzer şekilde karada da örneğin Kaliforniya'daki Sierra Nevada'da, fosfordan yoksun kayalar üzerinde yer alan bölgelerde ne ağaç yetişir ne de toprak oluşur; çıplak kaya her yeri kaplar. Yakınındaki alanlarda ise, jeolojik rastlantının kayalara daha fazla fosfor sağlamasıyla, dev ladin ağaçları toprak örtülü yamaçların üzerinde yükselir.

Bu elementlerin göreceli bolluğu ya da kıtlığı nedeniyle yaşamın karşılaştığı sınırlamalar, başlı başına dünyanın ekosistemlerine dair son derece ilgi çekici bir hikâyedir. Bu hikâyeye enerjinin ve atomların organizmalar ile çevreleri arasında nasıl hareket ettiğine odaklanan, benim de bilim dalım olan biyojeokimya tarafından incelenir. Bu alanda onlarca yıldır çalışıyorum ve öğrendiklerimin bir kısmını bu kitapta paylaşacağım. Ancak daha önce de ima ettiğim gibi bu sınırlamalar buradaki anlatının yalnızca yarısıdır. Bu elementler yalnızca canlılar için değil, canlıların içinde yaşadığı çevre için de önemlidir. Onlar gezegenimizi yaşamın var olabileceği kadar sıcak tutan ve sera gazı olarak adlandırılan gazların bileşenleridir. Bu nedenle şimdi kısa bir süreliğine yaşamın biyolojisinden uzaklaşıp Dünya'nın kimyasına yönelelim.

1 H Hidrojen	7 N Azot	8 O Oksijen	6 C Karbon	15 P Fosfor
--------------------	----------------	-------------------	------------------	-------------------

Yaşayan her organizmanın mutlaka ihtiyaç duyduğu beş element vardır: hidrojen, azot, oksijen, karbon ve fosfor. Elementler bakterilerin, bitkilerin ve insanların bu beş elementi kullanarak Dünya'nın iklimini ve yaşam koşullarını nasıl değiştirdiğini anlatıyor.

Canlılar bu elementler sayesinde karada ve denizde çoğaldılar ve sonrasında büyük felaketlere sebep oldular. İnsanlar da başka hiçbir canlının kullanmadığı biçimlerde ve miktarlarda bu elementleri kullanıyor.

Gezegeneğimizin tarihi bizi uyarıyor. İklim değişikliği çağımızın kuşkusuz en büyük sorunu. Bu elementlerin dengesizce salınımını azaltıp sürdürülebilir bir gelecek inşa etmezsek bizi korkunç bir son bekliyor.

Çeviren: Durmuş Bayram

