

# Yerbilimini Dünya Çapında Keşfetmek



**Chris King**

Uluslararası Yerbilimleri Müfredatının öğretilmesi için  
Uluslararası Yerbilimleri Eğitimi Organizasyonu,  
Uluslararası Jeolojik Bilimler Birliği,  
Avrupa Yerbilimleri Birliği  
tarafından onaylanmıştır.

Tercüme eden **Hükmü Orhan**



International  
GeoScience  
Education  
Organisation



Telif hakkı: Uluslararası Yerbilimleri Eğitimi Örgütü'nden Chris King

- Bu yayında yer alan orijinal materyal, yalnızca yazarın yazılı izni ile veya uygun reprografik hakları kuruluşuyla mutabık kalınan koşullar altında eğitim veya araştırma amaçlı kullanım için açıkça izin verildiği şekilde çoğaltılabilir.
- Yazar tarafından çoğaltma veya burada yayınlanan ana materyal izni verilmişse, uygun bilgilendirme yapılmalıdır.
- Diğer yayınların izniyle burada çoğaltılan telif hakkı materyali orijinal yayıncıya aittir.

İlk yayınlanma tarihi: 2021  
ISBN: 978-1-9996264-5-7

Yayınlandığı yer: [http://www.igeosced.org/teaching-kaynaklar / geoscience-text-books /](http://www.igeosced.org/teaching-kaynaklar/geoscience-text-books/)  
Telif hakkı: Uluslararası Yerbilimleri Eğitimi Organizasyonu adına Chris King



## TAKDİM

Uluslararası Yerbilimi Eğitimi Müfredatına katkıda bulunmak ve birliktelik oluşturmak üzere **Chris King** tarafından yazılan “**Exploring Geoscience Across the globe** “ adlı kitap aslına sadık kalınarak Türkçe’ye çevrilmiş ve öğrencilerimizin kullanımına hazır hale getirilmiştir.

Bu kitap, Uluslararası Yerbilimleri Eğitimi Örgütü (the International Geoscience Education Organisation) tarafından yayınlanmış ve Uluslararası Jeolojik Bilimler Birliği (the International Union of Geological Sciences) ve Avrupa Yerbilimleri Birliği (the European Geosciences Union) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından onaylanmıştır.

Gezegeneğimiz Dünya’da doğal olarak gerçekleşen olayların anlaşılması ve kavranması için yerbilimleri ve yakın bilim dalları ile ilgilenen kişilerin bilgilerine ve yararına sunulan kitapta hedef okuyucu kitlesinin konuları daha kolay anlaması için konu içerikleri zengin görsellerle birlikte verilmiştir.

Yerbilimleri, gezegenimiz Dünya’da gerçekleşen oldukça karmaşık süreçlerin çalışma şeklinin tüm yönlerini, varlığımız için gerekli kaynakları (tatlı su, hava, enerji, toprak, okyanus ve toprak malzemeleri) ve Dünya’da gerçekleşen doğal afetlerin sebeplerinin incelenmesini kapsayan bir bilimdir ve genel olarak insanlar için hayati öneme sahiptir.

Ne yazık ki, yerkürede yaşayan insanların büyük bir kısmı gezegenimiz Dünya’nın işleyişinin nasıl ve hangi doğal kaynaklara sahip olduğunun ve gelecekte ne tür küresel krizlere sebep olacağına farkında değildir. Dünya’nın sunduğu kaynakların en iyi şekilde değerlendirilmesi, oluşacak olan doğal afetleri en az kayıp ve zararla kapatabilmesi için herkesin Dünya’nın işletim sistemi, kaynakları ve sebep olduğu afetlerin farkında olması ve yerbilimleri açısından okuyazar ve sorumlu bir dünya vatandaşı olarak büyümesi ve bunu da eğitimlerinin başlangıcında yani ilk ve ortaöğretim safhalarında gerçekleştirmesi oldukça önemlidir.

Uluslararası araştırmalar, dünya genelinde yerbiliminin ilk ve ortaokul düzeyindeki eğitiminin çok değişken, yerbilimi öğretmenlerine sunulan desteğin genellikle zayıf ve birçok ülkede bulunan ders kitaplarının genellikle yetersiz olduğunu ve bazı ülkelerde mevcut olmadığını göstermektedir. Bu kitabın, mevcut açığı kapatılmasında ve global boyutta yerbilimleri eğitiminde birlikteliğin sağlanmasında oldukça önemli katkıları olacaktır. Ayrıca sadece yerbilimleriyle uğraşanlara değil aynı zamanda Dünya’mızdaki doğa olaylarını merak edip anlamak isteyen herkese hizmet edecek ve bu bağlamda önemli bir boşluğu dolduracaktır.

Bilimsel birikimlerini görkemli bir yapıyla okuyucuya kazandıran kitabın yazarı sayın Chris King’e, kitaptaki tüm konuların bütünselliği sağlamak amacıyla kitabı okuyan ve düzeltmelerde bulunan sayın Doç. Dr. Alper Gürbüz’e teşekkür ederim.

**Hükmü Orhan**

# İçindekiler

Kitabın Amacı	0
0 Neden yerbilimini keşfetmelisiniz?.....	0
1 Değişen bir sistem olarak dünya.....	1
1.1 Nitelikler .....	1
1.2 Etkileşimler .....	2
1.3 Geribildirim .....	3
1.4 Süreçler ve ürünler .....	5
1.4.1 Döngüler .....	5
1.4.2 Su döngüsü .....	5
1.4.3 Akıllar, depolar ve ikamet süreleri .....	7
1.4.4 Kaya döngüsü .....	7
1.4.5 Karbon döngüsü .....	8
1.5 Enerji kaynakları .....	10
2 Dünya, güneş sistemi içinde, evrenin içinde bir sistemdir .....	12
2.1 Kökenler .....	12
2.2 Güneş .....	17
2.3 Güneş, Dünya ve ay .....	17
2.3.1 Gündüz / gece .....	17
2.3.2 Mevsimler .....	19
2.3.3 Ayın evreleri .....	19
2.3.4 Tutulmalar .....	20
3 Dünya, zamanla değişen bir sistemdir .....	21
3.1 Jeolojik zaman aralığı .....	21
3.2 Göreceli tarihleme .....	21
3.3 Mutlak tarihleme .....	28
3.4 İşlem oranları .....	30
4 Dünya'nın sistemi etkileşim halindeki kürelerden oluşur.....	33
4.1 Jeosfer .....	33
4.1.1 Toprak malzemeleri ve özellikleri .....	33
4.1.1.1 Mineraller .....	33
4.1.1.2 Kayalar .....	35
4.1.1.3 Fosiller .....	37
4.1.1.4 Sedimanter kayalar .....	40
4.1.1.5 Magmatik kayalar .....	43
4.1.1.6 Metamorfik kayalar .....	46
4.1.1.7 Toprak .....	47
4.1.2 Dünyanın süreçleri ve gözlemlenen özellikleri .....	48
4.1.2.1 Yüzey işlemleri .....	49
4.1.2.2 Tortul süreçler .....	54
4.1.2.3 Magmatik süreçler .....	56
4.1.2.4 Metamorfik süreçler .....	60
4.1.2.5 Deformasyon süreçleri .....	62
4.1.3 Dünyanın Yapısı ve kanıt .....	65
4.1.3.1 Kanıt .....	65

4.1.3.2 Kabuk .....	66
4.1.3.3 Manto .....	68
4.1.3.4 Çekirdek .....	69
4.1.3.5 Litosfer .....	70
4.1.4 Plaka tektoniği ve kanıt .....	70
4.1.4.1 Birleştirici teori .....	70
4.1.4.2 Plaka yapımı ve daldırma .....	74
4.1.4.3 Plaka marjlarının özellikleri .....	74
4.1.4.4 Mekanizma ve hareket hızları .....	83
4.1.4.5 Kanıt .....	84
4.2 Hidrosfer .....	89
4.2.1 Kıta suyu .....	89
4.2.1.1 Kıta su kaynakları .....	89
4.2.1.2 Su kaynakları .....	92
4.2.1.3 Su kirliliği .....	94
4.2.2 Okyanus suyu .....	94
4.2.2.1 Su bileşimi .....	95
4.2.2.2 Gelgitler .....	95
4.2.2.3 Dalgalar .....	96
4.2.2.4 Dünya üzerinde büyük ölçekli sıvı sirkülasyonu .....	98
4.3 Atmosfer .....	102
4.3.1 Atmosferik kompozisyon .....	103
4.3.2 Atmosferik akış .....	103
4.3.3 Atmosferik değişim .....	105
4.4 Biyosfer .....	111
4.4.1 Evrim .....	111
4.4.2 Diğer sistemler üzerindeki etki .....	116
5 Dünyanın sistemi kaynaklar üretir .....	119
5.1 Hammaddeler ve fosil yakıtlar .....	120
5.1.1 İnşaat için toplu hammaddeler .....	120
5.1.2 Sanayi için toplu hammaddeler .....	121
5.1.3 Metal cevherleri .....	123
5.1.4 Endüstriyel mineraller .....	125
5.1.5 Fosil yakıtlar .....	125
5.1.5.1 Turba ve kömür .....	125
5.1.5.2 Petrol ve doğal gaz .....	126
5.1.6 Maden arama .....	130
5.1.7 Çevre koruma ve iyileştirme .....	132
5.2 Güç kaynakları .....	136
5.2.1 Fosil yakıtlardan elde edilen enerji .....	137
5.2.2 Yenilenebilir enerji .....	137
6 İnsan / Dünya'nın sistem etkileşimleri .....	141
6.1 Doğal tehlikeler .....	141
6.1.1 Patlama .....	141
6.1.2 Deprem .....	150

6.1.3 Tsunami .....	159
6.1.4 Heyelan .....	165
6.2 Çevresel sorunlar .....	171
6.2.1 Erozyon.....	171
6.2.2 Drenaj değişiklikleri .....	173
6.2.3 Atık bertarafı .....	174
6.2.4 Kirlilik .....	177
6.2.5 Madencilik / taşocakçılığı .....	178
6.2.6 Fosil yakıtların yakılması ve sera etkisi .....	179
6.3 İnsan tarihi üzerindeki etki .....	180
6.3.1 Kaynak savaşları .....	181
6.3.2 İklim değişikliğine bağlı göç .....	182
7 Dünya'nın sistemi saha çalışması ve pratik çalışma yoluyla araştırılır .....	184
7.1 Gözlem, ölçüm ve kayıt .....	189
7.2 Gözlemlerin sentezi .....	193
7.3 Araştırma ve hipotez testi .....	194
Sözlük .....	197
Ek - Uluslararası Jeoloji Müfredatı .....	199
Resimler ve Resim Kredileri .....	205
Şekiller .....	205
Kutular .....	211
Tablolar .....	217

## Iain Stewart tarafından önsöz

Yerbilimi İletişimi Profesörü ve İngiltere'deki Plymouth Üniversitesi Coğrafya, Yer ve Çevre Bilimleri Fakültesi Sürdürülebilir Dünya Enstitüsü Müdürü.



Uluslararası araştırmalar, dünya genelinde yerbiliminin okul düzeyinde eğitiminin çok değişken olduğunu, yerbilimi öğretmenlerine sunulan desteğin genellikle zayıf olduğunu ve birçok ülkede bulunan ders kitaplarının genellikle yetersiz olduğunu ve bazı alanlarda mevcut olmadığını göstermektedir.

Dolayısıyla, bu oldukça gri zemine karşı, "Yerbilimini Dünya Çapında Keşfetmek" ders kitabının rengini ve canlılığını hoş karşılamak harika. Bu kitap Uluslararası Jeoloji Müfredatını desteklemek için geliştirilen bir girişimden doğmuştur ve Uluslararası Jeoloji Eğitimi Örgütü, Uluslararası Jeolojik Bilimler Birliği ve Avrupa Yerbilimleri Birliği gibi uluslararası kuruluşlar tarafından desteklenmektedir.

Ders kitabının bu "uluslararası versiyonu", öğretmenler, öğrenciler ve ders kitabı yazarları tarafından dünyanın herhangi bir yerinde kullanılmak üzere açık kaynaklı, indirmesi ücretsiz bir kaynaktır. Mümkün olduğunca erişilebilir ve ilgi çekici olacak ve ayrıca diğer dillere kolayca tercüme edilebilecek şekilde yazılmıştır. "Uluslararası sürüm" dünyanın diğer bölgeleri için bölgeselleştirildikten ve gerektiğinde çevrildikten sonra, uzmanlar tarafından kontrol edilen yeni bir kaynak yer bilimlerinde öğretimi ve öğrenimi desteklemek için kullanılabilir hale gelecektir.

Bu kitap ile buluşmayı ve zamanında girişimi onaylayabilmek ve dünyanın dört bir yanında yerbilimi eğitimiyle ilgilenenleri ders kitabını 'bölgeselleştirme' ve kendi bölgelerinde kullanılmak üzere tercüme etme görevini üstlenmeye teşvik ederek heyecan verici içeriğini ve önemli mesajı olabildiğince geniş bir şekilde yaymak büyük bir zevk.

Iain Stewart.



## Kitabın amacı

Kitap, Uluslararası yerbilimi Müfredatını (Ek'te tekrarlanmıştır) dünyanın dört bir yanında öğreten öğretmenleri desteklemek için hazırlanmıştır. Müfredat, uluslararası yerbilimi eğitimi topluluğu tarafından tavsiye edildiği üzere 16 yaşındaki tüm öğrencilerin bilmesi ve anlaması gereken yerbilimi konularını kapsar.

Kitaptaki bölüm başlıklarının yapısı doğrudan müfredatı yansıtmaktadır. Metin, öğretimlerinde kullanmak isteyen öğretmenler için geniş çapta erişilebilir kılmak için olabildiğince basit ve jargonsuz olarak yazılmıştır. Örneklemelerin çoğu tablolarda sunulmakta ve fotoğraflar ile gösterilmektedir, böylece örnekler metin gövdesine çok fazla müdahale etmez.

Müfredata ek materyaller, ekstra ilgi ve etki boyutları vermek ve kısa vaka çalışmaları sağlamak için "ilgi kutuları" nda sunulmuştur, ancak öğrencilerin tüm bu ek materyallerle tanışması beklenmemektedir.

Orijinal metin, "Her yerde , Yerbilimini Keşfetmek" adlı "uluslararası bir versiyon" olarak yazılmıştır ve dünyanın dört bir yanından seçilen fotoğraflar ve küresel ilgi gören "ilgi kutuları" ile gösterilmiştir. Kitap Uluslararası Yerbilimi Eğitimi (International Geoscience Education) web sitesinde şu adresten yayınlanmaktadır: <http://www.igeoscied.org/teachingresources/geoscience-text-books/>. Dünyanın dört bir yanındaki yerbilimi eğitimcileri bu temel metni almaya ve kendi bölgeleri için fotoğraflar ve "ilgi kutuları" eklemeye davet edilmiştir; kendi bölgeleri için bir "Jeoloji Araştırması" ders kitabı üretmeleri için metni uygun şekilde tercüme etmeleri de istenilmektedir.

Ders kitabı, her bölümle ilgili çok çeşitli öğretim etkinliklerinin ayrıntılarını veren ve öğrencilerin bilgi ve anlayışlarını test etmek için sorular sağlayan, ayrı olarak yayınlanan bir 'Etkinlik Eki'ne uyarlanmıştır.

Uluslararası yerbilimi Müfredatı şu adreste yayınlanmaktadır: [http://www.igeoscied.org/?page\\_id=269](http://www.igeoscied.org/?page_id=269)

## Katkıda bulunanlar ve teşekkür

Gillian Drennen'e (gillian.drennen@wits.ac.za) ilk olarak uluslararası müfredata hitap eden bir ders kitabı yazmayı önerdiği ve bu fikri geliştirmek için 2016 yılında Cape Town Uluslararası Jeoloji Kongresi'nde bir atölye çalışması önerdiği için minnettarız. . Ders kitabıyla ilgili erken fikirlere yön verdikleri yollar için bu atölyeye katkıda bulunan tüm kişilere minnettarız.

Orijinal metin ve çok sayıda diyagram Chris King (chris@earthlearningidea.com) tarafından oluşturulmuştur; bazı diyagramlar başka kaynaklardan yeniden çizilmiştir. Diğer diyagramlar ve fotoğraflar doğrudan internetin telif hakkından feragat edilmiş alanlarından alınmıştır. Diyagramların çoğu, kitabı ve kapaklarını nazikçe tasarlayan Güney Afrika KwaZulu Üniversitesi'nden Tanja Reinhardt (reinhardt2@ukzn.ac.za) tarafından yeniden çizildi.

Telif hakkından muaf koşullar altında birçok fotoğrafın ve bazı şemaların kaynağı olarak Wikimedia Commons'a ([https://commons.wikimedia.org/wiki/Main\\_Page](https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)) çok minnettarız. Kitaptaki örneklendirmeye büyük katkı sağladılar. Ayrıca Yer Bilimleri Eğitim Birimine (ESEU: <http://www.earthscienceeducation.com/index.html>) görsel sağladığı için minnettarız.

Peter Craig, Elizabeth ve Martin Devon, Sid Howells, Peter Kennett, Pete Loader, Giulia Realdon, Tanja Reinhardt (Bölüm 1), Ashvin Wickramasooriya ve Sebastian Wolf'a (Bölüm 1, 2) metnin doğruluğunu kontrol edilmesine, metnin daha erişilebilir hale getirilmesine ve düzeltme okumasına yardımcı olmalarından dolayı çok minnettarız.

Ayrıca Anthony Tibbs'e formal proof-reading çabaları için minnettarız. Kalan tüm hatalar bana aittir.

Ders kitabı, Uluslararası Yerbilimleri Eğitim Örgütü, Yerbilimi Eğitimi ve Teknoloji Transferi Komisyonu aracılığıyla Uluslararası Yerbilimleri Birliği ve uluslararası yerbilim müfredatının öğretilmesi için Avrupa Yerbilimleri Birliği tarafından onaylanmıştır ve en çok onların destek ve cesaretlendirmeleri için minnettarız.

Chris King.

 International Geoscience  
Education Organisation

 IUGS  
E

 EGU

## 0 Neden yerbilimini keşfetmelisiniz?

Yerbilimi, tüm gezegenimizin bilimsel olarak çalışılmasıdır. Hatta günümüzde, bundan daha fazlasını kapsar, çünkü yerbilimi gezegen jeolojisini de içeriyor. Jeokimya, jeofizik, paleontoloji, hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi gibi jeolojinin birçok unsurunu içerir, ancak daha da kapsamlıdır, çünkü aynı zamanda meteoroloji, oşinografi, çevre bilimi, toprak bilimi ve güneş sistemi çalışmalarını da içerir. Yerbilimi, geleceği tahmin etmek için gezegenin geçmişinden ve şimdiki zamanından elde edilen kanıtları kullanır, ancak aynı zamanda geçmişte ne olduğunu 'tahmin etmek' için de güncel kanıtları da kullanır. Biyoloji, kimya, fizik, matematik, coğrafya ve mühendislik unsurları Yeryuvarı (Dünya) ve diğer gezegenlerin incelenmesinde kullanılır.

Yerbilimi çalışmanın en güzel yanlarından biri de herkesin onu yapabilmesidir. Çocuklar bir kumsalda ilginç çakıl taşları alıp neden ilginç olduklarını düşünmeye başladıklarında, yerbilimcilerin sorduğu soruları sormaya başlıyorlar. Birkaç ilginç çakıl taşı veya farklı renkte kum veya farklı fosiller topladıklarında, yerbilimcilerin yaptığı gibi, olayları çözmeye veya Dünya materyallerini sınıflandırmaya başlıyorlar. Kumun neden ilginç şekiller oluşturduğunu sorduklarında, tıpkı yerbilimciler gibi Dünya süreçlerini araştırmaya başlıyorlar.

**Şekil 0.1** İlginç çakıl ve kum şekilleri



Yerbilimi konusunda daha fazla çalışmak istiyorsanız, bunu okulda veya kolejde veya bir üniversite diploması olarak yapabilirsiniz. Pek çok insan, Dünya'nın nasıl çalıştığı hakkında sorular sormaktan ve cevaplamaktan zevk aldıkları için ya da ilginç şeyler toplamayı sevdikleri için jeoloji okuyor. Ancak diğerleri, tüm yaşamlarını yerbilimi sorularını sorarak ve cevaplayarak geçiren profesyonel jeologlar olurlar. Tropiklerden kutuplara, en yüksek dağlardan en derin denizlere kadar Dünya'yı araştırıyorlar veya yeni Dünya kaynaklarını, atıkları atmanın daha iyi yollarını veya yeni binalar inşa etmek ve güvenli bir şekilde yaşamak için en iyi yerleri araştırıyorlar.

Bu kitabın amacı da budur. İşe tüm Dünya sistemine, Güneş sistemindeki Dünya'ya ve tüm bunların zamanla nasıl değiştiğine bakarak başlar. Dünya'nın jeosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosferiyle ilgili çalışmalarını bir araya getirir ve ihtiyacımız olan kaynakların ve enerji kaynaklarının nerede bulunduğuna bakar. Tehlikelerine ve çevre sorunlarına ve bunların insanlık tarihini nasıl değiştirdiğine odaklanır ve yerbilimcilerin ne yaptığını ve nasıl yaptığını açıklar.

Öyleyse, tüm bunlar ilginizi çekiyorsa, okumaya devam edin - zaten bir yerbilimci gibi düşünmeye başlayacaksınız.

## 1 Değişen bir sistem olarak Dünya

Bir sistem, tüm sistemin çalışmasını sağlayan bir ağa bağlanan bir dizi farklı parçadan oluşur. Sistemler lavabo gibi basit olabilir; su, lavaboya musluklardan girer (girdidir) ve giderden dışarı akar (çıktıdır). Su sıcak veya soğuk olabilir, bu nedenle suyun ısı enerjisi (sıcaklığı) de girdilerden biridir. Sıcak sudan gelen ısı, su kanalizasyona gittiğinde kaybolabilir, ancak lavabodaki su soğudukça sıcak sudan ısı dışarı çıkabilir. Lavabo sistemi, lavabonun kenarları ve tabanı olan bir sınıra sahiptir. Girdiler dış ortamdan gelir ve sınırın ötesinde çevredeki ortama gider. Lavabo, etrafındaki komşu dış çevre ile etkileşimleri olan bir **açık sistem** örneğidir. Lavabo örneğinde su ve ısı, ortama girdi ve çıktıdır. **Kapalı sisteme** örnek bir termosdur; Termosun kapağı üzerinde olduğunda, sıvı termosu giremez veya çıkamaz ve ısı da termosu giremez veya çıkamaz. Hiçbir sistem tamamen kapatılamaz, bu nedenle en iyi termos bile zamanla içindeki sıcak sıvıdan ısı kaybeder.

**Şekil 1.1.** Lavabo ve termos, açık ve (nerede) kapalı sistem örnekleri



Yukarıda bahsedilen basit örneklere göre Dünya sistemi son derece karmaşık olduğu gibi, aynı zamanda birçok alt sistemi vardır ve zaman içerisinde değişmektedir.

### 1.1 Nitelikler

Dünya, enerjiye açık bir sistemdir. Dünya'nın alt sistemlerini çalıştıran enerjinin çoğu Güneş'ten radyasyon olarak alınır. Bu enerji, gün boyunca Dünya'ya bir girdidir, ancak bir kısmı gündüz ve gece bir çıktı olarak uzaya geri yayılır. Radyasyon girdisi ve çıktısı genellikle dengede olduğundan, Dünya'nın genel sıcaklığı en azından kısa vadede sabit kalır.

Bununla birlikte, Dünya bugün neredeyse kapalı bir sistemdir. Bu her zaman böyle değildi çünkü Dünya'nın başlangıcında asteroidler tarafından bombalanmıştır. Günümüzde, Dünya'da olan materyal Dünya'da kalır; Dünya'nın boyutuyla karşılaştırıldığında, Dünya'ya çok az bir miktarda malzeme göktaşları ve kozmik toz tarafından eklenir ve uzayda kaybolan tek yoğun malzeme uzay araçlarıdır.

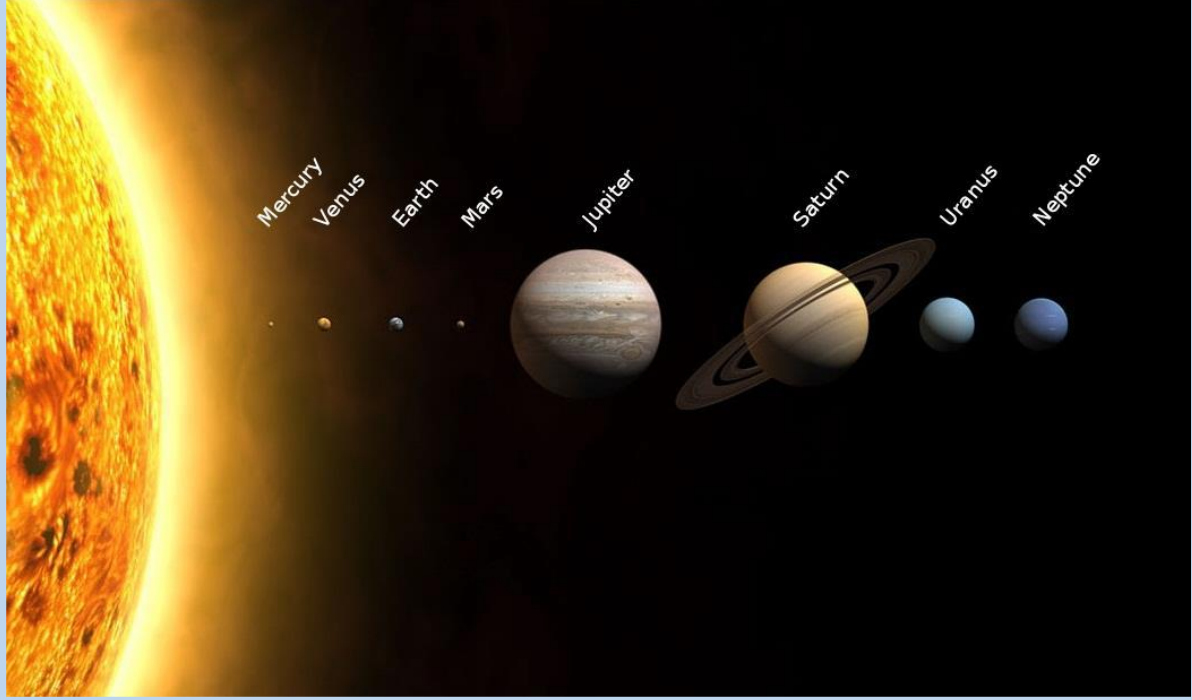
Dünya'nın sistemi, yalnızca meteor bombardıman miktarının azalması nedeniyle değil, aynı zamanda Dünya'nın soğuması, okyanusların oluşumu, atmosferin ve yaşamın evrimi ve plaka tektoniği etkileri gibi bir dizi başka değişiklik nedeniyle de zamanla değişmiştir.

**Şekil 1.2.** Dünya – Oldukça kompleks bir sistem



Dünya sistemi, güneş sisteminin bir parçasıdır. Bu aynı zamanda hem enerji hem de madde için neredeyse kapalı bir sistemdir - çünkü yıldız ışığından çok az enerji ulaşır ve çok az da madde alınır.

**Kutu 1.1.** Yaklaşık boyut (ancak mesafe değil) ölçeğiyle gösterilen güneş sistemi unsurları



Güneş sisteminin bu "portresi" Güneşi ve gezegenleri gösterir. Boyutlar doğru oranlarda gösterilmiştir - ancak mesafeler değil. Bu diyagram, güneş sistemindeki unsurların çoğunu gösterir. Dahil edilmeyenler (çok küçük oldukları için) aylar, cüce gezegenler, asteroitler, kuyruklu yıldızlar ve tozdur.

Dünya sistemi dört ana alt sisteme ayrılabilir: katı Dünya (**jeosfer**), Dünya etrafındaki hava (**atmosfer**), gezegendeki su (**hidrosfer**) ve Dünya'daki yaşam (**biyosfer**).

Dünya'nın tektonik levhalarını oluşturan **litosfer**, jeosferin dış kısmıdır.

## 1.2 Etkileşimler

Jeosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosfer çok açık sistemlerdir, çünkü hepsi birbirleriyle etkileşime girerek hem enerji hem de madde alışverişini yaparlar. Bu dört alt sistem arasındaki etkileşimler her zaman her yerde devam eder ve çok kısıdan çok uzun sürelerle kadar devam eder. Gezegenimizi bu kadar dinamik yapan işte bu etkileşimlerdir. Nereye giderseniz gidin, ne yaparsanız yapın, bu sistemler çevrenizde çok hızlıdan aşırı yavaşta kadar farklı hızlarda etkileşime girecektir.

Nehir kıyıları, Dünya sistemi etkileşimlerini görmek için iyi yerlerdir. Nehir akışı hidrosferin bir parçasıdır, kıyıları aşındırır ve jeosferin tortusunu taşır. Biyosfer hayvanları ve bitkileri kıyılarda yaşar, fotosentez yapar ve atmosferik gazları solur. Su, nehir suyunun buharlaşması, bitkilerin terlemesi ve hayvanların nefes almasıyla atmosfere yükselir. Bu su buharı daha sonra yağmur olarak düşebilir ve atmosferik suyun tekrar jeosfere geri dönmesine katkıda bulunur.

**Kutu 1.2.** Yerel su döngüsü, jeosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosfer etkileşimlerine bir örnek.

Yağmur damlaları ilk oluştuğlarında ne asit ne de alkali içermedikleri için nötrdür. Bununla birlikte, atmosfer boyunca düştüklerinde karbondioksiti çözerler ve bu nedenle hafif asidik hale gelirler. Yağmur suyu toprağa düştüğünde toprağın içine süzülür. Çok sayıda hayvan toprakta yaşar ve oksijen alarak ve karbondioksit salgılayarak nefes alırlar. Bu ekstra karbondioksit toprak suyunda çözünür ve onu daha da asidik hale getirir. Çürüyen bitki materyali de suya hümik asit ekler. Asitli su, topraktaki kaya parçalarıyla reaksiyona girerek kireçtaşı parçacıklarını çözer ve diğer kayaların kırıntılarını parçalayabilir. Bu tepkimelerle su tekrar nötr hale gelir, böylece su pınarlarda yerden çıktığında genellikle nötr olur.



Yağmur



Toprak nemi



Yeraltı suyu pınarı

Bu örnek, farklı Dünya sistemlerinin nasıl etkileşimde bulunduğunu vurgular. Hidrosferin yağmur damlaları atmosferdeki karbondioksiti çözer. Biyosferdeki hayvanlar tarafından üretilen daha fazla karbondioksiti çözdükleri jeosfer toprağına taşırlar. Asitli toprak suyu, jeosferin kaya parçaları ile reaksiyona girer ve nötr hale gelerek kaynaklardan çıkar ve tekrar görünür hidrosfere katılır.

Bu örnekte madde değiş tokuş (su, atmosferik karbondioksit, solunumun girdileri ve çıktıları ve kaya parçalarıyla tepkime dahil) ve enerji de (düşen yağmur, solunum enerjisi ve suya karışan su/kaya reaksiyonlarıyla ilişkili kimyasal enerji dahil) değiş tokuş edilir.

### 1.3 Geri beslenme (Feedback)

Geri beslenme, sistemlerin hayati bir parçasıdır. Basit bir geri beslenme örneği, termostatlı (anahtarlı bir termometre) bir su kazanıdır. Su soğuduğunda termometre bu bilgiyi anahtara geri gönderir ve kazan açılır. Su ısındığında bu bilgi termometre ile şaltere geri gönderilir ve kazan tekrar kapatılır. Vücudumuzun benzer geribeslenme mekanizmaları vardır - çok ısındığımızda soğumak için terleriz, ancak çok üşüdüğümüzde ısınmak için titreriz.

Geri beslenme sistemleri **pozitif** veya **negatif** olabilir, ancak bunlar kafa karıştırıcı ifadeler olabilir. Negatif geri beslenme, sistemleri kararlı durumda tutar ve bu iyi bir şeydir, pozitif geri beslenme ise bir sistemi yıkıcı sonuçlarla kararsız hale getirebilir.

Örneğin, okyanuslardaki tuz miktarı olumsuz bir geri beslenme sisteminden etkilenir. Dünyanın dört bir yanındaki nehirler tuzu (sodyum klorür, NaCl, mineral halit) okyanusu çevreleyen kayalardan çözer ve denize taşır, ancak zamanla daha fazla tuzlu hale gelmesini beklerken, okyanusların tuzluluğu (tuzluluk) aynı kalır (yaklaşık% 3,4 tuz). Tuzu ortadan kaldıran negatif geri beslenme sistemi, deniz suyu alanları kıyı havzalarında sıkışıp kaldığında gerçekleşir. Deniz suyu buharlaştıkça, tuz çöker ve tortul bir kaya olarak biriktirilir, böylece tuz okyanuslardan uzaklaştırılır.

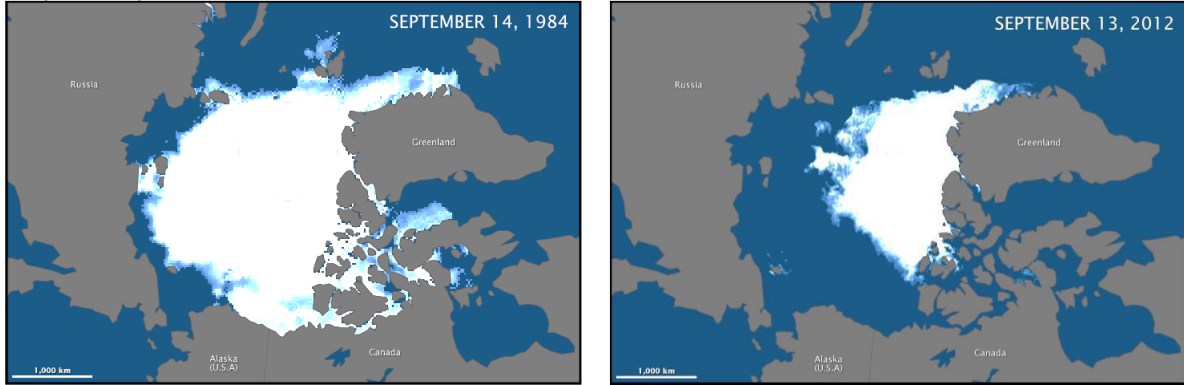
**Şekil 1.3.** Tunus'ta bir kıyı tuz lagününden çıkarılan tuz



Vücudumuzdaki negatif geri beslenim sistemleri her şeyi sabit tutar. Canlılarda birlikte çalışan bu süreçlere homeostaz denir.

Pozitif geri beslenim olduğunda sistem kararsız hale gelebilir. Güneş ışığı buz tabakalarına çarptığında çoğu geri yansıtılır ve bu nedenle Dünya üzerinde çok az ısınma etkisi olur. Güneş ışığının buz gibi soluk renkli yüzeylerden yansımaya **albedo** denir. Güneş ışığının bu geri yansımaya, Dünya'nın sıcaklığını sabit tutan faktörlerden biridir. Bununla birlikte, pozitif geri beslenimin iki farklı yönde etkisi olabilir. Dünya soğursa, buzullar büyür ve albedo etkisini artırarak Dünya'nın daha da soğumasına neden olur; bu bir buz çağını tetikleyebilir. Ancak Dünya ısınırsa, buzullar eriyecek ve albedo yansımaya azaltacak ve böylece Dünya'nın daha da ısınmasına neden olacaktır. Sonunda buz tamamen eriyebilir ve Dünya'yı çok daha sıcak bir duruma getirebilir.

**Şekil 1.4.** 1984 ve 2012'de Arktik buz tabakası. Geçmişte, büyük buz tabakasının büyük bir albedo etkisi vardı. Dünya ısındıkça buz tabakası küçüldü; bu, albedoyu azalttı ve pozitif geri beslenim yoluyla Dünya'nın ısınmasına katkıda bulundu.



Bir sistemde pozitif geribeslenim olduğunda, bu bir "**dönüm noktasına**" ulaşıncaya ve sistem yeni bir sabit konuma geçene kadar devam edebilir. Geçmişte, Dünya'nın bazı kısımları buzla kaplıyken ("**buz evi koşulları**"), soğuk sabit bir duruma ve hiç buz tabakası olmadığında ("**sera koşulları**") sıcak bir sabit duruma sahipti.

## 1.4 Süreçler ve Ürünler

### 1.4.1 Döngüler

Bir kupayı kaynar suyla doldurun ve bardağın ısınması için bir dakika kadar bekleyin. Daha sonra suyu dökün ve kupaya yaklaşık 1 cm derinlikte kaynar su ekleyin, üstüne bir cam bardağı ters çevirin (Şekil 1.5'de gösterildiği gibi) ve ne olduğunu izleyin.

Su iç yüzeyde yoğunlaşırken cam bardağın bulanıklaştığını daha sonra da kupaya akan su damlacıkları göreceksiniz.

Olan şey şudur; su, sıcak su yüzeyinden buharlaşarak kupa / bardak içindeki havada görünmez su buharı haline gelir. Daha sonra su buharı, daha soğuk bardağın içinde damlacıklar halinde yoğunlaşarak damlalar aşağı akacak ölçüde büyük hale gelene kadar bardağı bulanıklaştırır.

Gördüğünüz şey, süreçlerin ve ürünlerin bir kombinasyonudur. Buharlaşma süreci, ürün olarak su buharı üretir. Yoğuşma işlemi, cam bardağın içinde küçük damlacıklar halinde sıvı su üretir. Akış süreci daha sonra suyu kupaya geri taşır - bu yeni ürün daha sonra kupadaki sıvı suya eklenir.

**Süreçler** bir şeyin olmasına neden olur; **ürünler** sonuçtur.

Bu, bir döngünün basit bir versiyonudur. Bu durumda su bardağın içinde sıvı su olarak başlar, buharlaşarak su buharına dönüşür ve ardından tekrar bardağa akmak üzere birleşen su damlacıkları halinde yoğunlaşır. Bu aynı zamanda su için kapalı olan basit bir sistemdir (su sistemden çıkmaz veya sisteme eklenmez).

Tüm Dünya materyalleri bir şekilde döngülüdür. Önemli örnekler su, karbon ve kaya döngülerini içerir.

### 1.4.2 Su döngüsü

Doğal **su döngüsü**, Şekil 1.5'teki kupa ve bardak gösteriminden daha karmaşıktır ve su döngüsü süreçleri ve ürünlerini her zaman çevremizde görebiliriz.

Yağmur yağdığı anda, su yerde su birikintileri oluşturur. Su birikintileri daha sonra havada görünmez su buharına dönüşür. Hava soğuduğunda, su buharı bulutlar halinde su damlacıklarına yoğunlaşır. Bulutlar soğumaya devam ettikçe, su damlacıkları bir araya gelerek, yeterince büyük olduklarında yağmur olarak yağın yağmur damlaları oluşturur. Bu basit dış mekan sistemi bile daha birçok faktör nedeniyle karmaşıktır. Yoğuşan su buharı sadece bulutları değil, aynı zamanda duman ve sis de üretir. Su bulutlardan sadece yağmur olarak değil, aynı zamanda kar ve dolu olarak da düşer. Yere ulaşan su sadece su birikintileri oluşturmaz, aynı zamanda genellikle oluklara, derelere, nehirlere ve nihayetinde göllere ve denize akar. Su, tüm bu su döngüsü ürünlerinden her zaman buharlaşır. Bitkiler gelişirken, köklerinden aldığı suyu yapraklarından su buharı olarak havaya bırakır. Buharlaşma ve **terlemeden** gelen su buharı, hava akımları ile farklı alanlara taşınır.

Şekil 1.5. Basit bir su döngüsü gösterimi

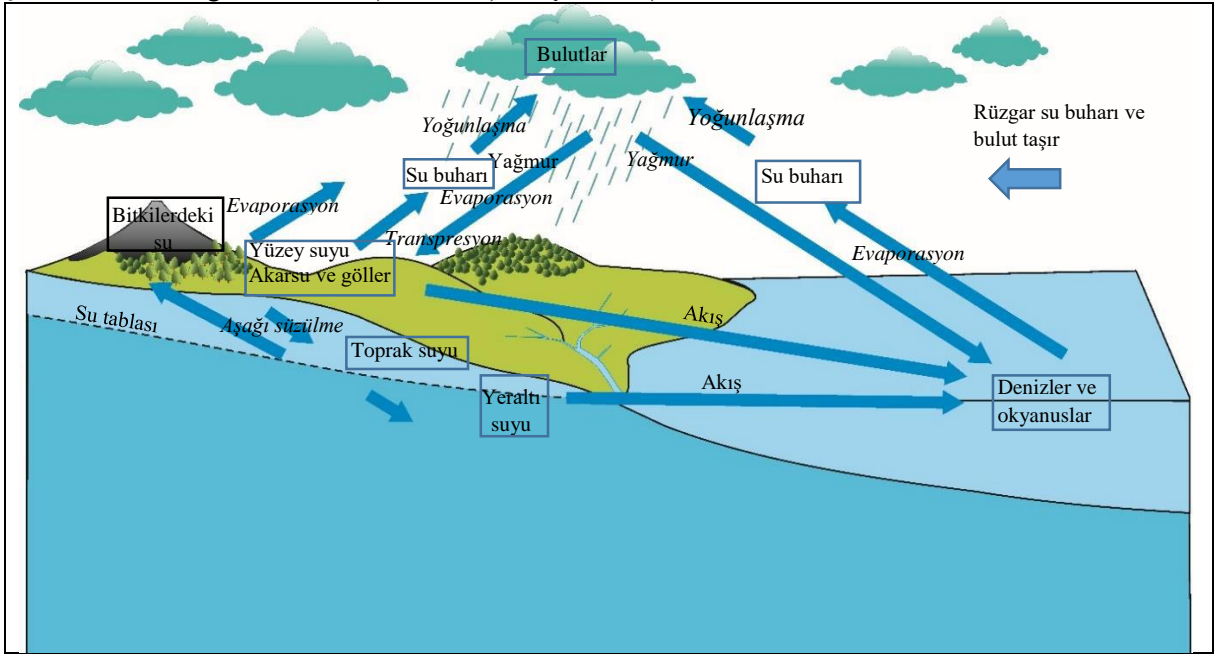


Bir miktar yağmur ve nehir suyu aşağıya doğru toprağa ve altındaki kayaya süzülür ve gözenekli kayaların gözenek boşluklarında yeraltı suyunun bir parçası haline gelir. Bu su yeraltındaki geçirgen kayalardan aşağı yönde akar ve sonunda pınarlardan dışarı akar.

Soğuk bölgelerde, kar olarak düşen su, buzullarda ve buz örtülerinde birikebilirken, yeraltı suyu da donmuş toprakta (**permafrost**; kalıcı olarak donmuş toprak) donabilir. Buz da akabilir veya eriyerek tekrar su haline gelebilir.

Ana su döngüsü süreçleri, buharlaşma, yoğunlaşma, hava ile yanal hareket (rüzgar), yağma (yağmur vb.) ve yerin üzerinde veya altında akmadır. Soğuk bölgelerde buzun donması, erimesi ve akışı da önemlidir. Bu işlemlerin ve ürünlerin çoğu Şekil 1.6'da gösterilmektedir.

**Şekil 1.6.** Su döngüsü ürünleri (kutularda) ve işlemler (*italik olarak*).



**Kutu 1.3.** Arka bahçenizdeki su döngüsünün bir parçası



Kendi arka bahçenizde su döngüsünün bir kısmını hareket halinde görebilirsiniz. Yağmur bulutlarından gelen yağmur damlaları su birikintilerine düşer; su oluklardan aşağı akar ve sonunda göllere ulaşır. Göllerden ve diğer su alanlarından gelen buharlaşma havada görünmez su buharı üretir. Bu su buharı soğuduğunda yoğunlaşarak yağmur oluşturan bulutları oluşturur.



### 1.4.3 Akışlar, depolar ve kalış süreleri

Döngü süreçleri ve ürünlerine aynı zamanda akılar ve depolar da denir. **Akılar**, akış hızları olarak ölçülen süreçler boyunca olan malzeme akışıdır. Su döngüsü akıları, çok hızlıdan (sellenme esnasında nehirlerdeki su akışı gibi) çok yavaş (buz tabakalarının akışı) ve çok büyükten (küresel buharlaşma oranları) çok küçüğe (buz tabakalarına kar yağışı) kadar değişir. Depolar ürünlerdir; su döngüsü ürünleri aynı zamanda çok büyükten (okyanuslar) küçüğe (kendi vücudunuzda depolanan su) kadar çeşitlilik gösterir. **Kalış süreleri**, bir deponun yenisiyle değiştirilmesi için geçen sürelerdir. Su buharının atmosferde depolandığı süre gibi bazı kalış süreleri kısadır, sadece birkaç gündür. Kutuplardaki buz tabakalarında onbinlerce yıllık buz depolanması gibi diğer kalış süreleri çok uzundur.

### 1.4.4 Kaya döngüsü

Kaya döngüsünün yer yüzeyi kısmı, su döngüsü ile yakından bağlantılıdır. Akan su sedimanı uzaklaştırır ve taşır. Durgun suda, sedimanlar birikir ve kalın sedimanter istifler halinde birikebilir. Sedimanlar, genellikle yeraltının derinliklerinde sedimanter kayalara dönüşür. Bu kayalar yükselir ve üstündeki malzemeler kaldırılırsa, yer yüzeyinde açığa çıkarlar ve döngünün yeniden başlaması için hazır hale gelirler.

**Kutu 1.4.** Yakınlarda bir yerde kaya döngüsünün bir bölümü



Ne zaman rüzgar eserse veya su kara üzerinden akarsa, kaya döngüsünün bazı kısımlarını hareket halinde görebilirsiniz. Esen rüzgar, tozu, yaprakları ve çöpü alır, taşır ve biriktirir; akan su da öyle. Bu kum birikintisi üzerindeki akan su, fotoğrafın üst kısmındaki küçük kanallardan kumu uzaklaştırdı, daha büyük kanallardan aşağıya taşıdı ve alttaki küçük deltaalarda biriktirdi, hepsi kumsalın sadece bir metre kadar genişliğinde küçük bir alanda gerçekleşti.

Kaya döngüsünün bu sedimanter kısmı, kayalar dağ oluşumu olaylarına dahil olduğunda daha karmaşık hale gelir. Muazzam sıcaklıklar ve basınçlar, kıvrımlanmaya ve kırılmaya (faylanmaya) neden olur ve ayrıca kayaları metamorfik kayalara dönüştürebilir.

Sıcaklık artışı kayaların kısmen erimesine, ergimiş kayac veya magma oluşturmasına neden olursa değişiklikler daha da ileri gidebilir. Magma, çevreleyen kayadan daha az yoğundur ve bu nedenle yükselir. Ya yeraltında yavaş yavaş soğuyarak katılaşır ya da volkanik faaliyetle yüzeye çıkar. Magmadan oluşan tüm kayalar magmatik kayalardır. Tüm gömülü kayalar yükseltilebilir ve yeniden kaya döngüsünün bir parçası haline getirilebilir.

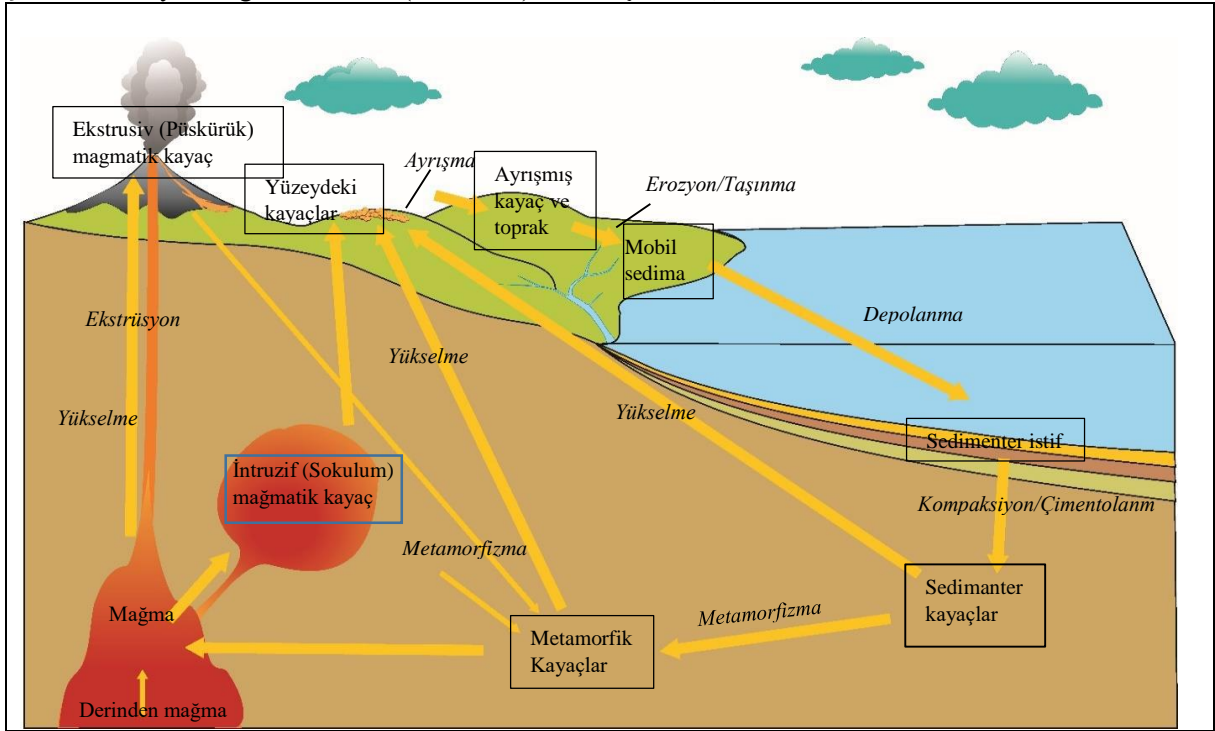
Şekil 1.7. Kaya döngüsü ürünlerinin (kutular içinde) ve süreçlerin (italik olarak) birbirine nasıl bağlandığını gösterir. Yerkürenin yüzeyindeki kayalar ayrışarak altere kayalara ve toprağa dönüşür. Bu malzeme aşındığında ve taşındığında mobil sedimanlar haline gelir. Mobil sedimanların çökmesi ile sedimanter istifler oluşturur. Bunlar, sıkıştırma / çimentolanma yoluyla sedimanter kayalara dönüştürülerek daha sonra yükseltilerek kayaç olarak tekrar yer yüzeyine getirilebilir. Bununla birlikte, metamorfizmaya da uğrayarak metamorfik kayaçlar haline gelebilir ve daha sonra yükseltilerek kayaç olarak tekrar yer yüzeyine getirilebilir.

Metamorfik kayaçlar ergiyerek akışkan magmaya dönüşebilir ve bu da intrusiv(sokulum) magmatik kayaçlar oluşturmak için (bu daha sonra yüzey kayaları haline gelmek üzere yükseltiler) intruzyon yoluyla yükselebilir veya magma, volkanik olarak ekstrüvizif (püskürük)magmatik kayaçlar olarak yüzeye çıkarılır. Magma da bu sisteme aşağıdan eklenebilirken, magmatik kayaçlar da metamorfizmaya uğrayabilir.

Kaya döngüsü sisteminde ürünler veya depolar, tortul, metamorfik ve magmatik kayalardır. Bu depolar arasındaki akışlara veya akılara neden olan süreçler, metamorfizma, erime, katılma ve sedimanın uzaklaştırılması, taşınması, birikmesi ve **taşlaşması** (sedimanın sedimanter kayaya dönüşmesi) ile ilgili tüm süreçlerdir. Kayaların ikamet süreleri genellikle milyonlarca yıldır.

4.1.2 numaralı bölümde açıklandığı gibi kaya döngüsünün bu basit görünümü, ayrıntıda daha karmaşıktır.

Şekil 1.7. Kaya döngüsü ürünleri (kutularda) ve süreçlerler (italik olarak).



### 1.4.5 Karbon döngüsü

Nefes aldığımızda, verdiğimizden daha fazla karbondioksit solursunuz. Bunun nedeni, vücut süreçlerinden birinin, oksijenin vücudunuzdaki karbon bileşikleriyle reaksiyona girdiği, enerji açığa çıkardığı ve karbondioksit ürettiği solunum olmasıdır. Solunum süreci, atmosfere her zaman az miktarda karbondioksit ekleyen (yaklaşık% 0.04) bir karbondioksit akışı salgılar.

Tüm hayvanlar solunum yoluyla karbondioksit salarlar. Ayrıca karbon bileşiklerini boşaltım yoluyla, öldüklerinde ve çürüdüklerinde atmosfere salarlar.

Karbondioksitin atmosferde kalma süresi kısadır, çünkü çoğunlukla bitkilerin fotosenteziyle hızla uzaklaştırılır. Fotosentez sürecinde güneş ışığından gelen enerji, karbondioksitin su ile reaksiyona girerek bitkileri oluşturan karbon bileşiklerini oluşturmasına neden olur. Dolayısıyla Dünya'daki bitkiler, özellikle okyanuslardaki algler büyük bir karbon deposu oluşturur. Bu karbon, canlı öldüğünde (ya da hayvanlar tarafından yenilerek) ya da kara bitkilerin kasıtlı olarak ya da orman yangınları yoluyla yakıldığında salınır.

#### **Kutu 1.5.** Karbon döngüsü iş başında



Bu yürüyüşçü Alaska tundrasında dinlenirken atmosfere karbondioksit veriyor. Bu arada yeşil bitkiler güneş ışığında fotosentez yapıyor, karbondioksiti alıyor ve yeni bitki hücrelerine dönüştürüyor. Yürüyüşçü meyveleri yerse, bu da karbon döngüsünün bir parçası olur. Bu karbon döngüsü akıları (akışları), pencerenizin dışındaki hayvanlar ve bitkiler de dahil olmak üzere, Dünya'nın neresinde olursa olsun gerçekleşir.

Bu, birçok biyolog tarafından incelendiği üzere **kısa karbon döngüsüdür**. Fotosentez ve solunumu, dışarı çıkmayı ve çürümeyi içerir. Bu, atmosferden alınan kadar atmosfere karbon eklenmesinin olduğu dengeli bir döngü gibi görünüyor. Bununla birlikte, karbon döngüsünün çok daha uzun kısımları da vardır; örneğin, atmosferdeki karbondioksitin bir kısmı, binlerce yıllık ikamet süresiyle okyanusta çözünebilir.

Bazı hayvanlar ve bitkiler, kalsiyum karbonattan yapılmış "sert parçalar" içerir. Kalsiyum karbonatın kimyasal formülü  $\text{CaCO}_3$ 'tür ve formüldeki ikinci element "C" karbondur ve kütlece kalsiyum karbonatın yaklaşık % 12'sini oluşturur. Kemikleriniz ve çoğu hayvanın kemikleri kalsiyum karbonat içerir.

Hayvan kabukları kalsiyum karbonattan oluşur ve bazı mikroskobik bitkiler ayrıca kalsiyum karbonat içerir. Bu hayvanlar ve bitkiler öldüğünde, bunların bir kısmı sediman olarak çökelir ve milyonlarca yıllık oturma süresiyle sedimaner kayaların parçası olabilir. Çoğunlukla deniz hayvanı kalıntılarından oluşan kalsiyum karbonat bakımından zengin kayaya kireçtaşı denir; Çoğunlukla mikroskobik kalsiyum karbonat bitki kalıntılarından yapılan kayaç tebeşirdir.

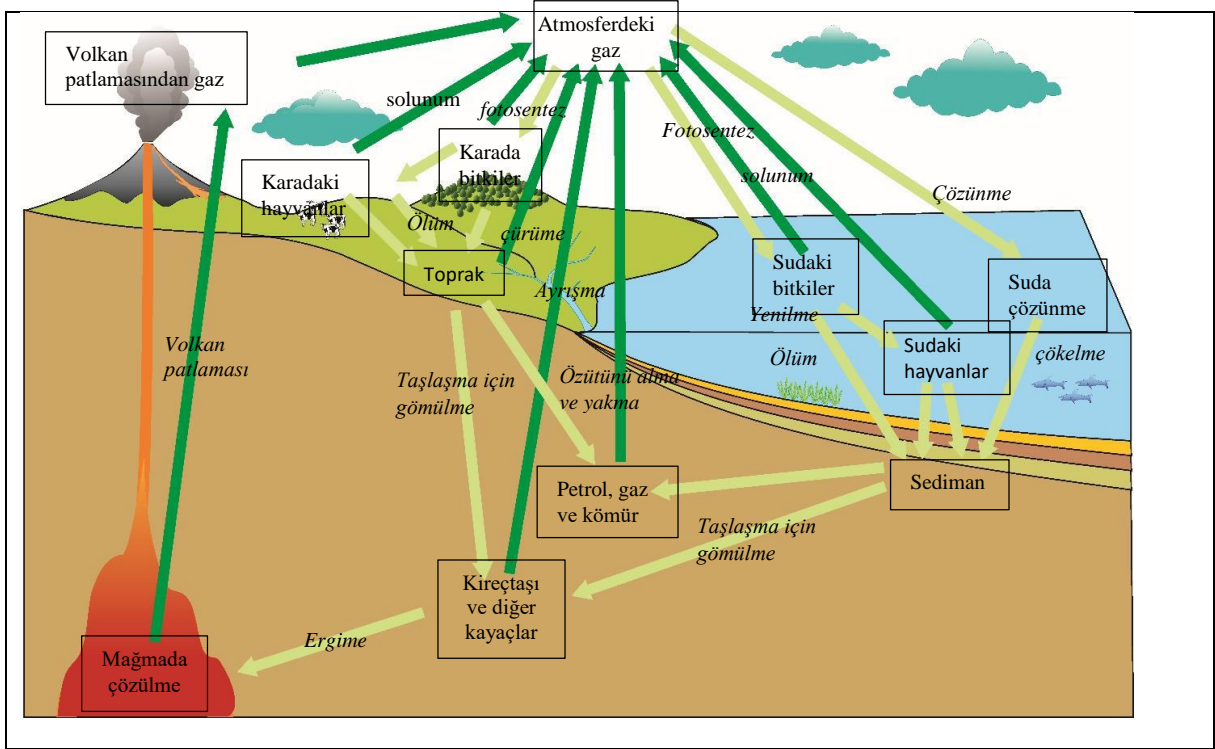
Bitkiler öldüğünde genellikle çürürler, ancak sedimanlar tarafından gömülürlerse ve korunurlarsa, içlerindeki karbon da korunur. Kara bitkileri korunduğunda, kalın tabakalar kömür oluşturarak olgunlaştıkça doğal gaz açığa çıkarabilir. Okyanuslardaki mikroskobik hayvanlar ve bitkiler öldükçe, tortularda da korunabilir ve daha sonra petrol ve doğal gaza dönüştürülebilirler. Doğal süreçler bu

karbon depolarını milyonlarca yıl içinde atmosfere geri bırakır. Derinlerdeki petrol ve gaz yüzeye sızabilir ve derinlerdeki kömür yükseltilerek yüzeye çıkarılıp yüzey süreçleri ile uzaklaştırılabilir.

Kireçtaşı, tebeşir, kömür, petrol ve doğal gaz içeren sedimanter kayalar dağ oluşumu olaylarına karışabilir ve metamorfizma uğrayabilir veya hatta kısmen eriyebilir. Daha sonra, kısmi ergime ile üretilen magma, yüzeye getirilebilen ve volkanik püskürmelerle salınabilen çözünmüş karbon içerecektir. Birçok volkanik patlama, atmosfere çok büyük miktarlarda karbondioksit gazı salmaktadır.

Karbon döngüsünün bu uzun süreli kısımları da dengede görünüyor. Ancak insan faaliyetleri, kömür, petrol ve doğal gazı çıkarıp yakarak bu dengeyi değiştiriyor olabilir. Bu, Bölüm 4.3.3'te açıklanmıştır. Kısa ve uzun karbon döngülerinin süreçleri ve ürünleri Şekil 1.8'de gösterilmektedir.

**Şekil 1.8.** Karbon döngüsü ürünleri (kutular içinde) ve süreçler (*italik olarak*) - karbonu 'sabitleyen' süreçler, koyu yeşil oklarla karbon salan süreçler, soluk yeşil oklarla gösterilmiştir.



## 1.5 Enerji kaynakları

Güneş ışığı fotosentez için enerji sağlar ve su döngüsünü ve kaya döngüsünün yeryüzündeki süreçlerini harekete geçiren enerjinin çoğunun orijinal kaynağıdır.

Karbon döngüsünde, fotosentez yoluyla oluşturulan bitki hücrelerinde depolanan enerjinin bir kısmı, hayvanlar bitkileri yediğinde serbest bırakılabilir. Bu, Dünya'daki tüm bitki yiyen hayvanlar için enerji sağlar; avcı hayvanlar(predator) daha sonra enerjilerini diğer hayvanları yemekle elde ederler. Bu enerjinin bir kısmı gömülü bitki ve hayvan kalıntılarında depolanabilir ve daha sonra doğal süreçlerle veya insan faaliyetleriyle serbest bırakılabilir. Sadece karbon döngüsünün yükselme, metamorfizma ve magmatik süreçleri, Güneş'ten kaynaklanan enerji tarafından yönlendirilmezler. Bu süreçler Dünya'nın iç enerjisi tarafından yönlendirilirler.

Güneşten gelen enerji, su döngüsünün bir parçası olarak buharlaşmaya neden olur. Ayrıca bitki terlemesi ile de su buharı atmosfere salınır ve bitkiler fotosentez olmadan var olamazlar. Güneşten gelen enerji aynı zamanda hava hareketine de neden olur. Hava, daha sıcak bölgelerde yükselir ve daha serin

bölgelerde alçalır, rüzgar dediğimiz yatay hava hareketini üretir. Güçlü buharlaşma veya terleme alanlarından gelen su buharı, rüzgarın etkisiyle başka bir yere taşınır. Su döngüsünün Güneş'ten gelen enerjiye bağlı olmayan ana kısımları, Dünya'nın yerçekimi altındaki soğumuş havasının aşağı akışı ve Dünya'nın dönüşünden kaynaklanan atmosfer ve okyanustaki akımların dairesel hareketidir.

Kaya döngüsünde, Güneş'in enerjisi, Dünya'nın yüzeyindeki kaya ve toprağı parçalamada önemlidir. Sedimanı taşıyan ve biriktiren su döngüsünün Güneş tarafından yönlendirilen kısımları su ve buz akışını kapsarken, Güneş kaynaklı hava hareketi de sediman taşır. Sediman taşınmasının Güneş tarafından yönlendirilmeyen kısımları, kayaların, suyun, buzun ve hava akımlarının Dünya'nın yerçekimine bağlı olarak aşağıya doğru hareketi ve yine yerçekimi etkisiyle sedimanların üzerinde biriken malzemeler tarafından sıkıştırılmasıdır.

Dünya'nın iç kısmı, Dünya'nın Güneş'ten aldığı enerjiden çok daha az bir enerji katkısında bulunur. Yine de, Dünya'nın iç enerji kaynakları, özellikle jeolojik zaman içinde hareket ettiklerinde hayati öneme sahiptir.

Dünya'nın ilk oluştuğundan hemen sonraki tamamen ergimiş olduğu zamandan itibaren çekirdekte bir miktar enerji kalmıştır; bu ilksel enerji hala yavaşça salınmaktadır. Diğer bir önemli enerji kaynağı, yeryüzünün derinliklerindeki katı kısımlarındaki radyoaktif bozunmadır. Dünya'nın iç enerjisi sedimanların taşlaşmasına, faylanmaya (depremlere neden olur), kıvrımlanmaya, metamorfizmaya, yükselmeye ve volkanik aktiviteye neden olan kaya döngüsünün yer icindeki aşamalarının gerçekleşmesini sağlar.

Yani Dünya'yı etkileyen enerjinin çoğu Güneş'ten geliyor. Diğer enerji kaynakları, yukarıda açıklanan ilksel enerji ve radyoaktif bozunmadan kaynaklanan enerjidir. Ek olarak, yerçekimi potansiyel enerjisi ve dönme kinetik enerjisi vardır. Güneş'in, Dünya'nın ve Ay'ın çekim kuvveti ve Dünya'nın dönüşü, Ay'ın Dünya etrafında dönmesi ve Dünya ve Ay'ın birlikte Güneş etrafında dönmesi, 'gelgit ısıtması' adı verilen termal enerjiye dönüştürülür.

## 2 Dünya, güneş sistemi içinde, evrenin içinde bir sistemdir

### 2.1 Kökenler

Yaklaşık 300.000 km/ saniye'lik (saniyede 300.000 km giderken) ışık hızı muazzam bir hız olsa da, Güneş'ten gelen ışığın bize ulaşması 8 dakika ve yakındaki yıldızlardan gelen ışığın gözümüze ulaşması birkaç yıl sürüyor. Yani gece gökyüzüne bakmak, zamanda geriye baktığımız anlamına gelir. Güçlü teleskoplarla galaksileri veya milyarlarca ila yüz milyarlarca yıldızdan oluşan kozmik "adaları" uzak geçmişe bakarken görebiliriz. Çalışmalarımız, evrenin yaklaşık 14 milyar yıl önce başladığını göstermektedir.

Başlangıçta yıldızlar veya galaksiler yoktu, ancak tüm evren yüksek enerjili radyasyonla doluydu. "**Büyük patlama (Big bang)**" da evren genişlemeye başladı ve radyasyon maddeye dönüştü. En yaygın madde türü hidrojendi - en basit atom. Bununla birlikte, kendi bedenlerimiz de dahil olmak üzere Dünya üzerindeki ve ötesindeki neredeyse her şey, ilk olarak yıldızların çekirdeklerinde oluşan diğer atom türlerinden yapılmıştır. Evrendeki materyal soğudukça yıldızlar oluşmaya ve gruplaşarak galaksiler oluşturmaya başladı. Güneşimiz de dahil olmak üzere yıldızları harekete geçiren enerji, daha büyük atomlar yapmak için bir araya gelen (füzyon) hidrojen atomlarından gelir. Böylece yıldızların çekirdeklerinde dünyada bol miktarda bulunan silikon, oksijen, karbon, nitrojen ve demir gibi atomlar oluşmaya başladı. Zamanla yıldızlar, bu yeni oluşan atomlar da dahil olmak üzere birçok maddeyi uzaya fırlattı. Böylece, yaklaşık 4.6 milyar yıl önce, Güneşimizin güneş sistemi, orijinal hidrojenden ve eski yıldızların "küllerinden" oluşmaya başladı. Dünyamızın sistemi, güneş sistemimizin bir parçasıdır.

**Şekil 2.1.** Hubble teleskopu ile fotoğraflanan galaksiler. Görsellerin temel özelliklerini vurgulamak için toplanan verilere dayalı olarak renkler eklendi.



#### **Kutu 2.1.** Kendi arka bahçenizden evren.

Evrenin yıldızlarını ve güneş sisteminin bazı gezegenlerini kendi arka bahçenizden görebilirsiniz, ancak aysız bir gecede yakındaki sokak veya diğer ışıkların olmadığı bir kırsal bölgeye giderseniz, çok daha fazlasını görebilirsiniz. Gözleriniz karanlığa alıştıkça, daha fazla yıldız görünecektir. Yıldızlar titreyerek parlar, ancak görüş alanında bir gezegen varsa, daha sabit bir ışıkla parlayacak. Gökyüzünde sürekli hareket eden bir ışık görürseniz, bu Güneş'i yansıtan bir uydudur. Gerçekten karanlıksa, tepenizde kavisli bir yıldız şeridi görebilirsiniz; bu Samanyoludur, uçtan uca gördüğünüz kendi galaksimizin yıldızları. Objektifi açık bırakılabilen bir kameranız varsa ve onu sabit bir yere koyarsanız, evrenin bu manzaralarını yakalayabileceksiniz.

Objektifi bir saat veya daha uzun süre açık bırakmak, aynı zamanda Dünya dönerken yıldızların gökyüzünde nasıl döndüklerini de yakalayacaktır.

**Kutu 2.1.** Kendi arka bahçenizden evren. Devam



Samanyolu'nun altında Fransa'da bir şapel








Açık bir objektif tarafından yakalanan yıldız hareketi, Şili

**Tablo 2.1.** Güneşten itibaren gelen sırayla güneş sisteminin gezegenleri

Ad	Görüntü (Ölçeksiz)	Güneşten uzaklık milyon km	Çapı, km	Kütle, $10^{24}$ kg	Ortalama yüzey sıcaklığı, °C	Diğer özellikler
Merkür		57.9	4879	0.33	167	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ay yok</li><li>• Kraterli yüzey</li><li>• katı karasal gezegen</li></ul>
Venus		108.2	12,104	4.87	464	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ay yok</li><li>• Bulutlarla kaplı</li><li>• Kraterli yüzey</li><li>• katı karasal gezegen</li></ul>
Dünya		149.6	12,756	5.97	15	<ul style="list-style-type: none"><li>• bir ay</li><li>• Okyanuslar</li><li>• Bilinen bazı kraterler</li><li>• katı karasal gezegen</li><li>• LevhaTektoniği tanımlanmış</li></ul>

**Tablo 2.1.** Güneşten itibaren gelen sırayla güneş sisteminin gezegenleri, devam

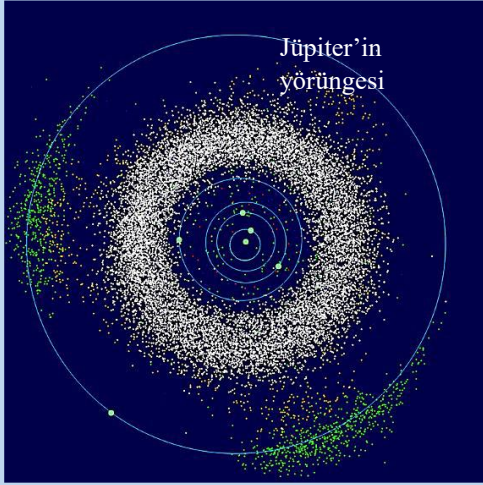
Ad	Görüntü (Ölçeksiz)	Güneşten uzaklık milyon km	Çapı, km	Kütle, $10^{24}$ kg	Ortalama yüzey sıcaklığı °C	Diğer özellikler
Mars		227.9	6792	0.64	-65	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 ay</li><li>• Kraterli yüzey</li><li>• Büyük volkan</li><li>• Eski sedimanter işlevler</li><li>• Kıtasal gezegen</li></ul>
Jupiter		778.6	142,984	1898	-110	<ul style="list-style-type: none"><li>• 67 ay</li><li>• Halka sistem</li><li>• Bulut kuşakları</li><li>• Geniş kırmızı fırtına lekesi</li><li>• Dev gaz gezegen</li></ul>
Satürn		1433.5	120,536	568	-140	<ul style="list-style-type: none"><li>• 62 ay</li><li>• Halka sistem</li><li>• Bulut kuşakları</li><li>• Dev gaz gezegen</li></ul>
Uranus		2782.5	51,118	86.8	-195	<ul style="list-style-type: none"><li>• 27 ay</li><li>• halka sistem</li><li>• Dev gaz gezegen</li></ul>
Neptun		4495.1	49,528	102	-200	<ul style="list-style-type: none"><li>• 14 ay</li><li>• Halka sistem</li><li>• Dev gaz gezegen</li></ul>
<b>Plüton artık bir gezegen olarak kabul edilmiyor; cüce gezegenlerden biridir</b>						



Güneş sistemimiz yalnızca gezegenler ve cüce gezegenleri değil, aynı zamanda **asteroit** ve **kuyruklu yıldızlar** kuşaklarını da içerir. Dünya'ya ve diğer gezegenlere çarpan göktaşlarının çoğu asteroit kuşağından veya kuyruklu yıldızlardan gelir. Zaman içinde göktaşlarının ve daha büyük cisimlerin çarpması, Dünya'yı ve diğer gezegenleri etkileyen felaket olaylarına sebep olmaktadır, bkz. Bölüm 3.4.

**Kutu 2.2. Asteroit kuşağı.**

Asteroit kuşağı, milyarlarca ve milyarlarca kaya ve taş yığını içeren Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında yer alır. Bazıları karbon, bazıları silikon ve bazıları nikel-demir bakımından zengindir. En büyük asteroit yaklaşık 1000 km genişliğindedir, ancak çoğu çakıl boyutunda veya daha küçüktür. Çok sayıda asteroit olmasına rağmen, birbirlerinden o kadar uzaktırlar ki, birçok uzay aracı herhangi bir hasar görmeden içlerinden güvenli bir şekilde geçmiştir. Güneş sisteminin diğer kısımlarında, bunun gibi uzay enkazları bir gezegen oluşturmak için çarpışırken, yakınlardaki büyük Jüpiter'in bu kuşağı etkilediği ve gezegen oluşumunun gerçekleşmesini durdurduğu görülüyor.



Mars ve Jüpiter arasındaki asteroit kuşağı



Galileo uzay aracından çekilmiş asteroit Gaspra

**Kutu. 2.3. Kuyruklu yıldızlar.**

Kuyruklu yıldızlar, Güneş'e yaklaştıklarında genellikle beyaz bir kuyruk oluşturan gazları serbest bırakan güneş sistemindeki buzlu cisimlerdir. Kuyruk, güneş rüzgarı yönünde akar ve daima Güneş'ten uzağa doğrudur. Birçok kuyruklu yıldız, onları uzayın derinliklerinden güneş sisteminin kalbine ve tekrar dışarıya götüren devasa oval yörüngelere sahiptir.



Hale-Bop kuyruklu yıldızı, 1997'de Hırvatistan'dan görüldü



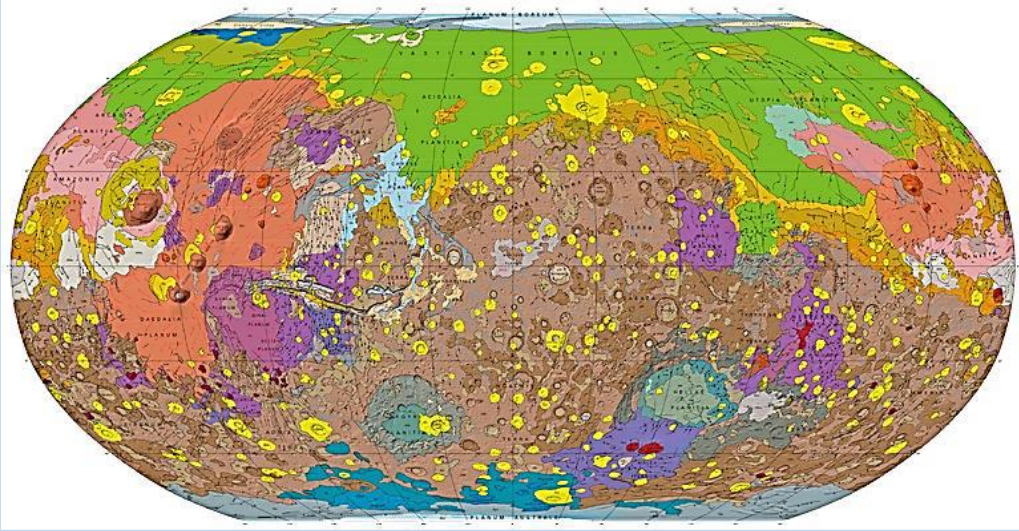
Churyumov-Gerasimenko Kuyruklu Yıldızı, Philae'nin yüzeyine inmeden önce Rosetta uzay aracı tarafından Eylül 2014'te fotoğraflandı.

Güneş sistemindeki şu ana kadar araçları güvenli bir şekilde indirebildiğimiz tek cisim, Dünya'nın ayı, Churyumov-Gerasimenko kuyruklu yıldızı, Mars ve Venüs gezegenleri ve Satürn'ün ayı Titan'dır.

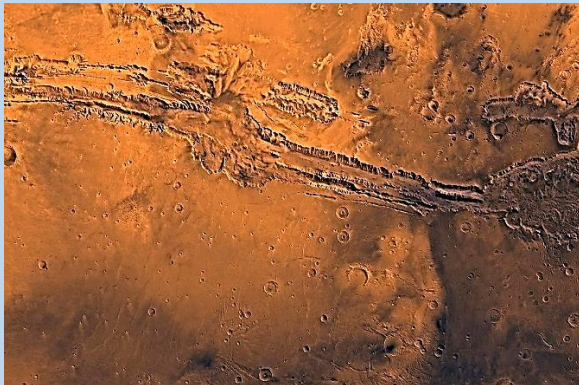
#### **Kutu 2.4. Gezegen jeolojisi - Mars**

Araçları Mars'a indirmeden önce, gezegenin jeolojisi hakkında çok iyi bir fikrimiz vardı, çünkü Dünya'da geçerli olan jeolojik ilkeler diğer gezegenlerde de geçerli. Teleskoplar ve yörüngedeki uydulardan yapılan gözlemler, güneş sistemindeki en büyük yanardağlar (haritada kırmızı ve mor) olan üç devasa yanardağ da dahil olmak üzere yüzeyin% 25'ini kaplayan devasa bir volkanik bölge olduğunu göstermiştir. Çarpmalarla üretilen, en büyüğü 1800 km çapında (haritada sarı) yükseltilmiş kenarları ve merkezi çöküntüleri olan çok büyük kraterler de vardır. Ekvatorun yakınında, uzak geçmişte faylanmanın oluşturduğu 4000 km'den daha uzun derin bir kanyon sistemi vardır. Yüzeyin bazı kısımlarında sel suları tarafından kesilmiş vadi sistemleri vardır. Göl tabakaları ve deltalarla birlikte 4000'den fazla suyla oyulmuş vadilerin haritası çıkarılmıştır.

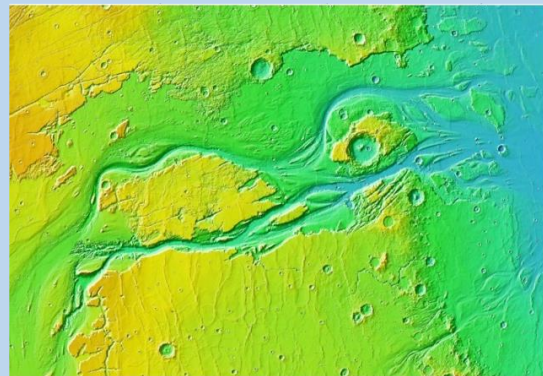
Lander uzay araçları, sediman tabakalar ve yuvarlak çakıl taşları da dahil olmak üzere su akışına dair daha da fazla kanıt sağladı. Uzay araçları, Mars'ın çoğunun kayalar ve tozla kaplı kraterli çöl olduğunu da göstermiştir. Eskiden yüzeyin üzerinden akan su neredeyse, şu anda orada değildir.



Mars'ın jeolojik haritası. Yeşil alanlar ova jeolojisidir; kırmızılar ve morlar volkanik kayalardır; maviler kutupsal jeolojiye sahiptir, kahverengi ve turuncu renkler dağlık kaya alanlarıdır; sarı çarpma kraterleridir

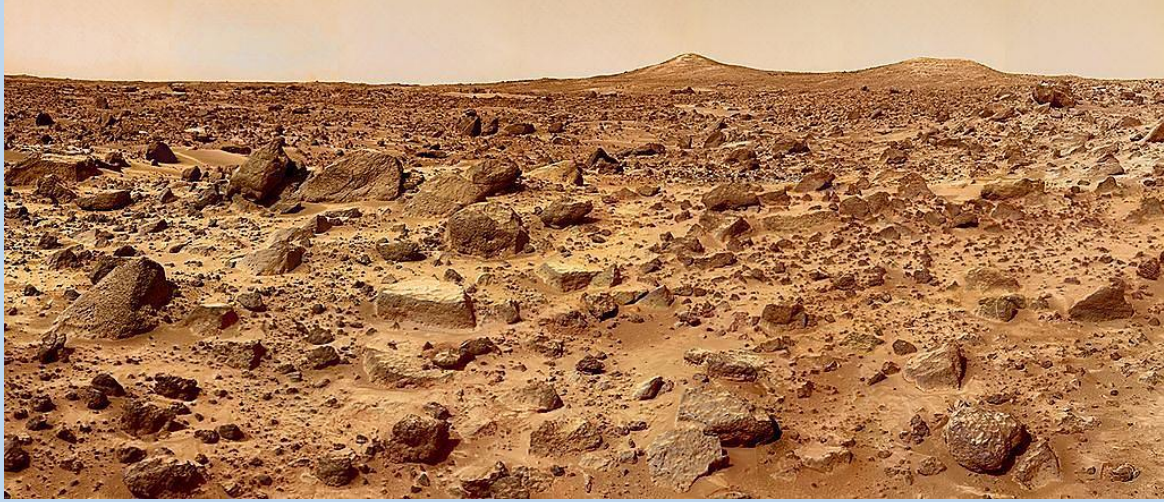


Ekvator yakınındaki faylı kanyon sistemi



Kasei Valles akış kanalı

#### Kutu 2.4. Gezegen jeolojisi – Mars, devam

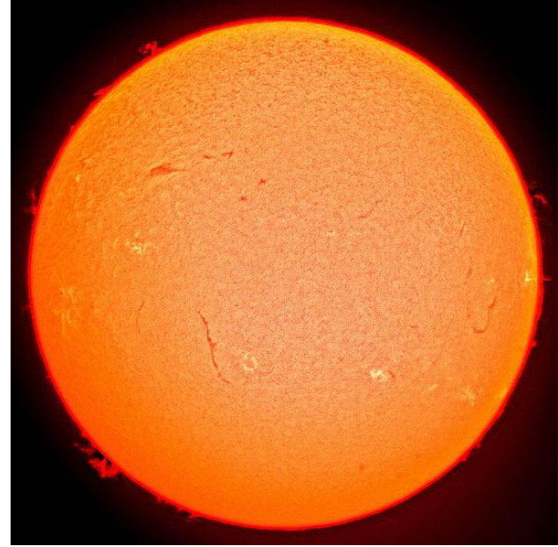


Mars'taki Pathfinder bölgesinden görünüm - ön planda kayalar ve alçak arka plan tepeleri olan toz

## 2.2 Güneş

Güneş bizim yıldızımızdır. Güneş sistemi boyunca ve ötesinde enerji sağlar. Güneşten gelen enerji, çoğunlukla görünür ışık, kızılötesi ve ultraviyole radyasyon olarak uzaydan geçer. Bu enerji karayı ve okyanus yüzeylerini ısıttığında, bir kısmı geri yayılır ve atmosferi ısıtır. Enerji gün boyunca Güneş'ten alınır ve geceleri uzaya geri gönderilir. Bu enerji akışları dengededir, böylece tüm Dünya'nın sıcaklığı günlük olarak aynı kalır. 1970'lerde başlayan Güneş'in enerji üretiminin uzay temelli gözlemleri, bu enerji çıktısının birkaç döngüye göre değiştiğini, ancak yalnızca yaklaşık% 0,1 oranında değiştiğini göstermektedir.

Şekil 2.2. Güneş - ana enerji kaynağımız



## 2.3 Güneş, Dünya ve Ay

### 2.3.1 Gündüz / gece

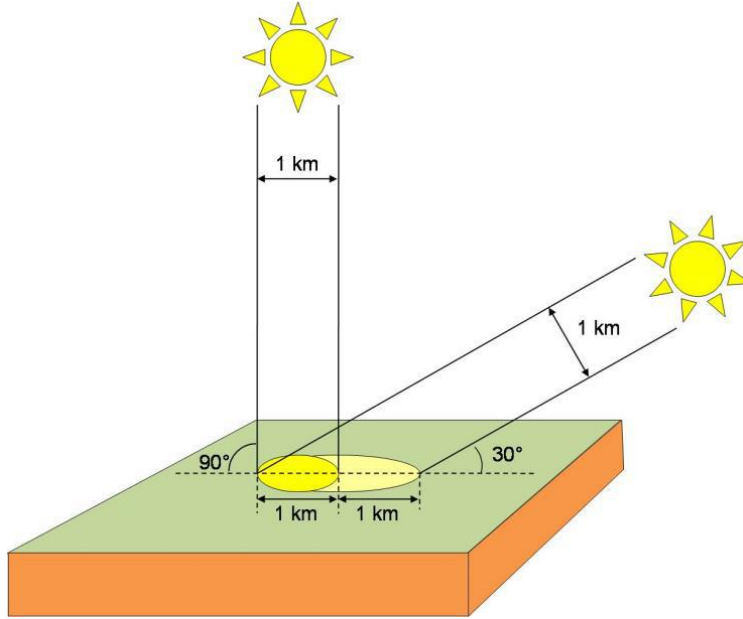
Dünya, Güneş'ten gelen enerjiyi ultraviyole, görünür ve dünyayı ısıtan kızılötesi radyasyon olarak alır. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, Güneş gökyüzünde en yüksek görüldüğünde ısıtma en yüksek seviyededir. Güneş doğrudan tepede görüldüğünde, 1 km genişliğindeki bir radyasyon ışını Dünya'nın 1 km genişliğindeki bir bölgesini ısıtır, ancak Güneş'in açısı 30° olduğunda, benzer 1 km genişliğindeki bir ışın Dünya'nın 2 km genişliğindeki bir bölgesini ısıtır ve böylece her noktada ısınma miktarının yarısı alınır.

Kutu 2.5. Günün saati ile değişen gölgeler.



Gün ortasında Güneş gökyüzünde en yüksek görüldüğünde, gölgeler kısadır. Güneş batarken gölgeler uzar. Güneş'in gökyüzündeki değişen konumu, Dünya'nın dönüşünün bir sonucudur. Burada soldaki fotoğraf 13.00'da ve sağdaki fotoğraf 16.00'da Nijerya'da Ibadan'da çekildi.

Şekil 2.3. Gökyüzündeki Güneş açısının ısıtma etkisi



Dünyanın ısınması zaman alır, böylece günün en sıcak kısmı genellikle Güneş'in gökyüzünde en yüksek olduğu zamandan daha geç olur. Alınan ısı miktarı yüzeyin neye benzediğine bağlıdır. Koyu renkli yüzeyler, soluk renkli yüzeyler radyasyonun daha fazlasını yansıttığı için, soluk renkli yüzeylerden daha fazla ısıyı emer ve yeniden yayar; bu albedo etkisidir. Kara sudan daha hızlı ısınır, çünkü su aldığı ısıyı su kütlelerinin derinliklerine dolaştırır. Ancak toprak da sudan daha hızlı soğur - çünkü dolaşan suyun ısınıp kaybetmesi zaman alır. Bu, geniş bir su alanının yakınında yaşıyorsanız, sıcaklıklar sanki sudan çok uzakta yaşıyormuşsunuz gibi yükselmeyeceği, ancak o kadar da düşmeyeceği anlamına gelir. Bu nedenle, kıyı bölgeleri normalde iç bölgelere göre daha ılımlı yüksek ve düşük sıcaklıklara sahiptir.

Dünya, gün içinde aldığı enerjiyi gece boyunca kızılötesi radyasyon olarak uzaya geri yayar. Gecenin en soğuk kısmı, genellikle şafak söktükten hemen sonra, giden radyasyonun gelen radyasyonla yeniden dengelenmeye başladığı zamandır.

### 2.3.2 Mevsimler

Güneş'in gökyüzünde görünen yüksekliğinin ısıtma etkisi Şekil 2.3'te. Tablo 2.2'de gösterildiği gibi Dünya'nın mevsimlerini etkiler. Günlerin ve gecelerin uzunluğu da önemli bir etkiye sahiptir.

**Tablo 2.2.** Mevsimlere neden olan Dünya'nın eğimi

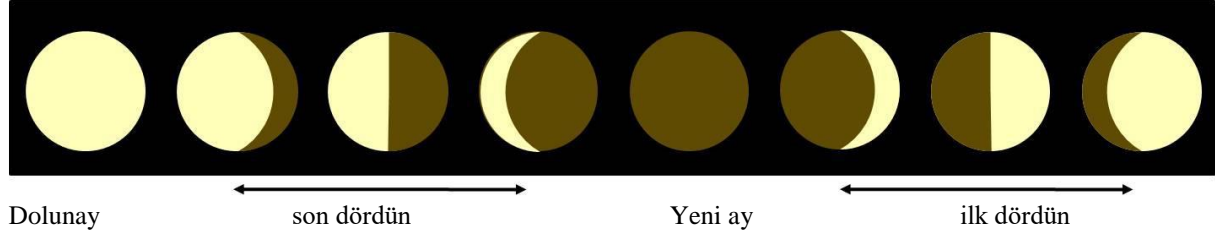
Yarımküre	Mevsim	Diagram	Işık açısı	Gündüz/gece uzunluğu
<b>Mart</b>			<b>Mart</b>	
<b>Kuzey</b>	İlkbahar		Dünyanın her yerinde aynı ışın açısı ve gündüz / gece uzunluğu	
<b>Güney</b>	Sonbahar		<b>Haziran</b>	
<b>Haziran</b>			Kuzey ılık çünkü: Gökyüzünde yüksek güneş için uzun günler	
<b>Kuzey</b>	İlkbahar		Güney soğuk çünkü: Gökyüzünde alçak güneş için uzun geceler	
<b>Güney</b>	Sonbahar		<b>Eylül</b>	
<b>Eylül</b>			Dünyanın her yerinde aynı ışın açısı ve gündüz / gece uzunluğu	
<b>Kuzey</b>	İlkbahar		<b>Aralık</b>	
<b>Güney</b>	Sonbahar		Kuzey serin çünkü: Gökyüzünde alçak güneş için uzun geceler	
<b>Aralık</b>			Güney ılık çünkü: Gökyüzünde yüksek güneş için uzun günler	
<b>Kuzey</b>	İlkbahar			
<b>Güney</b>	Sonbahar			

Güneş her zaman gökyüzünde yüksekte görüldüğü için Ekvator yakınlarında çok fazla mevsimsel değişiklik olmaz; bu nedenle tüm yıl sıcak kalır. Mevsimsel değişiklikler, günlük sıcaklıklarla aynı şekilde yakındaki su kütleleri tarafından hafifletilir. Bu nedenle, kıyı bölgeleri normalde yazın iç bölgelere göre daha soğuk kalır, ancak kışın daha sıcaktır.

### 2.3.3 Ay'ın evreleri

Dünya gibi, Ay'ın yarısı Güneş tarafından aydınlatılır ve yarısı her zaman karanlıktadır. Ay'ın Dünya'nın etrafında dönmesi veya yörüngeye girmesi yaklaşık 27 gün sürer. Güneş tarafından aydınlatılan Ay'ın yarısı Dünya'ya baktığı zaman, bütün Ay'ı görebiliriz - buna dolunay denir. Ay yörüngesinde dönmeye devam ettikçe, ayın aydınlık tarafı gittikçe daha az, karanlık tarafı giderek daha fazla görüyoruz. Yaklaşık 13 gün sonra, ayın karanlık yüzü bizim tarafımızda olur, bu yüzden onu hiç göremiyoruz - bu yeni ay evresi. Bundan sonra, Şekil 2.4 ve 2.5'teki gibi, dolunay evresine geri dönerken, ayın aydınlık tarafını gittikçe daha fazla görürüz.

Şekil 2.4. Ayın evreleri



Şekil 2.5. Ay dolun ay oluyor - üç fotoğraftan oluşan bir kolaj

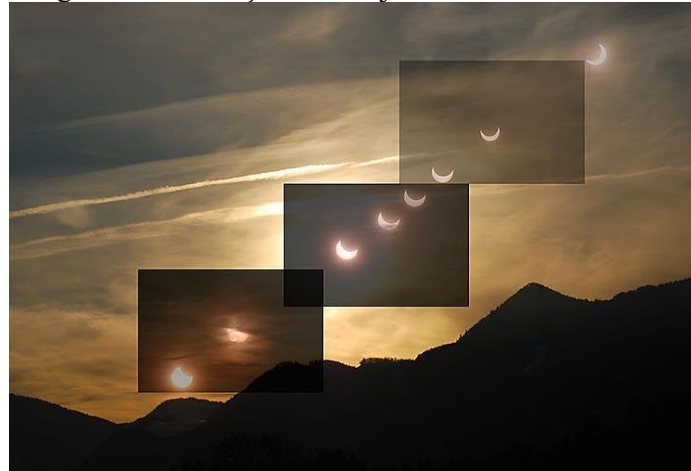


### 2.3.4 Tutulmalar

Ayın yörüngesi, Dünya'nın yörüngesine göre belli bir açıdadır, bu nedenle genellikle ay, Dünya ile Güneş arasında ve Dünya da, Ay ile Güneş arasında hareket etmez.

Ancak bazen Ay, Dünya ile Güneş arasında hareket eder; bu Dünya'da **Güneş tutulması** olarak görülüyor. Ay, Güneş'ten çok daha küçük olmasına rağmen, Dünya'ya çok daha yakındır, bu yüzden arada olduğunda Güneş'i tamamen kaplayabilir. Böyle bir güneş tutulması sırasında, Ay'ın Güneş'i sadece Dünya'nın bazı bölgelerinden kapattığı görülür; diğer alanlarda, Şekil 2.6'da olduğu gibi kısmi tutulma görülmektedir.

Şekil 2.6. Almanya'dan görülen kısmi Güneş tutulması fotoğraflarından oluşan bir kolaj



Güneş tutulmasını izlemek istiyorsanız, özel tutulma gözlükleri takarak gözlerinizi korumalısınız. İzledikçe, yavaş yavaş Güneş'i kaplarken ayın şeklini göreceksiniz, Dünya giderek daha da karanlıklaşır. Sonra ay hareket eder ve normal gün ışığı yavaşça yeniden belirir.

Ay Dünya'nın arkasında hareket ettiğinde ve Güneş, Dünya ve Ay bir sırada dizildiğinde, Dünya'nın gölgesi Ay'ı kaplar (**Ay tutulması**). Dünya'nın gölgesi, tüm Ay'ı kaplayana ve Ay artık görülemeyene kadar ilerler. Sonra gölge hareket eder ve Ay yeniden belirir. Bu gerçekleşirken, Dünya'nın atmosferi tarafından ışığın kırılması, ayı bir süre kırmızımsı-turuncu renklendirebilir, Şekil 2.7.

Şekil 2.7. Ay tutulmasının fotoğraf kolajı



## 3 Dünya, zamanla değişen bir sistemdir

### 3.1 Jeolojik zaman aralığı


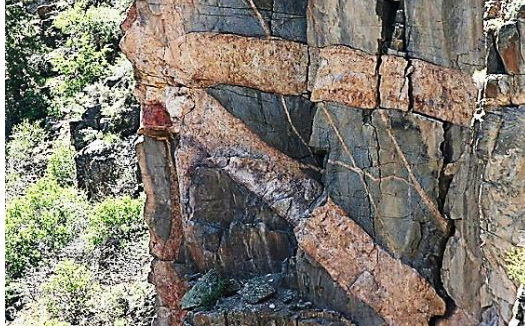
Radyometrik tarihlendirme ile ölçülen Dünya'nın yaşı, 4.6 milyar yıllık (4600 milyon yıl) güneş sistemiyle aynı yaşıdır. Radyometrik tarihlendirme mevcut hale gelmeden önce, bazı jeologlar Dünya'nın yaşını tahmin etmeye çalışmıştır. Dünya'nın gerçekten de çok yaşlı olduğu sonucuna varmışlar ve Dünya üzerinde çalışmanın, 'bir başlangıç izine sahip olmayan - son ihtimali olmayan' bir 'zaman uçurumuna' (1805'te John Playfair) bakmak gibi olduğunu yazmışlardı (James Hutton 1795'te).

O zamanlar, herhangi bir Dünya olayının yıl cinsinden (veya milyonlarca yıl) yaşını belirlemek mümkün olmasa da, jeolojik olayları sıraya koymak mümkündür. Olayların sıralanmasına **göreceli tarihleme** denir, çünkü hangi olayın daha eski hangisinin daha genç olduğunu söylememize izin verir.


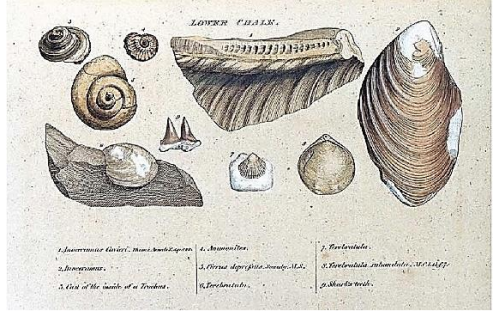

### 3.2 Göreceli tarihleme

**Göreceli tarihleme**de birkaç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar uzun zaman önce keşfedildi ve o zamandan beri jeologlar tarafından kullanılmakta ve Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Yöntemlerden bazıları prensiplerdir, çünkü çoğu zaman işe yararlar, ancak uygulanamadıkları belirli jeolojik koşullar da olabilir; diğerleri, gözlemler dikkatlice yapıldığı sürece her zaman işe yarayan yasalardır.

**Tablo 3.1.** Göreceli tarihleme yöntemleri

Göreceli tarihlendirme metodu	İlk tanımlayan	Metodun detayları	Görsel
<b>Katmanların Süperpozisyon kuralı</b>	Nicholas Steno, 1669	Kayalar üst üste geldiklerinde, üsttekiler en genç olanlardır (istisnalar, örneğin, bir istif deformasyona bağlı olarak devrildiğinde veya faylanma daha yaşlı bir istif daha genç bir istif üzerine ittiğinde)	 <p>Kıbrıs'ta eğimli tebeşir tabakaları - üstte en genç</p> <p>Grönland'da kıvrımlı kaya - Adanın tepesindeki tabakalar ters çevrilmiş, üstte yaşlı kaya</p>
<b>Kesme kesilme kuralı</b>	Nicholas Steno, 1669	Başka herhangi bir şeyi kesen her şey (örn. Kırık, kaya, damar, erozyon yüzeyi) daha gençtir.	 <p>Colorado, ABD'deki Dayklar; en yaşlı gri kaya, önce yataya yakın dayk tarafından çapraz daha sonra eğimli dayk - en genç ile kesilmiş</p>





**Tablo 3.1.** Göreceli tarihleme yöntemleri, devam

Göreceli tarihlendirme metodu	İlk tanımlayan	Metodun detayları	Örnek
<b>Bileşen Kuralı</b>	William Smith, 1816	Bir kayacın yaşı onu oluşturan bileşenlerin en gencinden daha gençtir.	 <p>Herm, Channel Adaları, İngiltere; soluk granit içindeki koyu kayanın ksenolitleri (parçaları dahil) daha yaşlıdır</p>
<b>Faunal süksesyon Kuralı</b>	William Smith; 1816	Fosil grupları, kaya dizisinde bilinen bir sırayla birbirini takip ederek kayaları zaman sırasına göre yerleştirmemizi sağlar.	 <p>William Smith'in bir kayaya tarih vermek için kullanılan bir grup fosil çizimlerinden biri</p>
<b>Deformasyona uğramış / başkalaşmış kayalar, hiç deformasyona uğramayandan daha yaşlı olmalıdır - bir yasa</b>	Bilinen kimse yok (anonim)	Deformasyon ve bölgesel metamorfik olaylar bir bölgedeki tüm kayaları etkilediğinden, herhangi bir deforme olmamış veya metamorfizmaya uğramamış kayalar daha gençtirler.	 <p>Almanya, Bochum'da bir uyumsuzluk. Deforme olmamış üstteki kayaç, altındaki deforme olmuş ve eğimli gri kayadan daha gençtir.</p>

Bu göreceli tarihleme yöntemlerinden bazıları, Tablo 3.2'de gösterildiği gibi, ilk olarak Nicholas Steno tarafından açıklanan diğer iki önemli ilkeye dayanmaktadır.



**Tablo 3.2.** Sedimanların, lavların ve volkanik külün dizilim ilkeleri

Kayaç oluşturma prensipleri	İlk tanımlayan	Metodun Detayları	Örnek - Prensibe uyanlar	Örnek - Prensibi uymayan
Orijinal yataylılık kuralı	Nicholas Steno; 1669	sediman katmanları orijinal olarak yatay olarak depolanır (lavlar ve volkanik kül gibi) - ancak bazen bir açıyla depolanırlar.	 Yatay olarak çökelmiş Miyosen sedimanları - Drahomyrchany, Ukrayna	 Başlangıçta yatay olarak çökelmemiş sedimanlar - buzul çağında çökelmiş çapraz tabakalı (katmanlı) kumlar. Estonya
Yanal devamlılık kuralı	Nicholas Steno; 1669	Sedimanter tabakalar geniş alanlarda yanal olarak devam ederler(lav ve kül birikintileri gibi) - ancak bunun böyle olmadığı olağan dışı durumlar da vardır	 Yanal olarak süreklilik gösteren sedimanter kayalar; Büyük Kanyon, Arizona, ABD	 Sürekli sedimanlar; İzlanda'da vadi kenarlarında sonlanan akarsu çökelleri

Bu ilkeler ve yasalar, kayaların gerçek yaşını bilmeden bir bölgenin jeolojik geçmişini çözmek için kullanılabilir.

**Kutu 3.1.** İsrail'deki Negev Çölü'ndeki bu kaya dizisinde, Kayaların jeolojik geçmişini bulmak için göreceli tarihlendirme yöntemlerini kullanma;



- Yatay sedimanter kayaçlar sırayla çökelerek oluştu, bu nedenle "Süperpozisyon Prensibi" ne göre en eski kayalar en alttakidir.
- Kayalar, "Orijinal yataylık ilkesi" ve "yanal süreklilik ilkesi" nde olduğu gibi, başlangıçta yatay olarak ve sürekli olarak geniş bir alan üzerine çökelmişlerdir.
- İstifin tabanına yakın daha kalın olan katman, çakıl içeren bir konglomeraştır; "Bileşen yasasına" göre, çakıllar buldukları katmandan daha yaşlı olmalıdır.
- Kayalar, "Kesme-kesilme yasasına" göre, kestiği yatay sedimanlardan daha genç olması gereken dikey bir magmatik kaya dayıyla kesilmiştir.
- Her şey, bugünün yamaç yüzü olan erozyon yüzeyi tarafından kesilmiştir, bu nedenle "Kesme-kesilme" na göre bu son olay.

**Kutu 3.1.** Kayaçların jeolojik geçmişini bulmak için göreceli tarihleme yöntemlerini kullanmak,devam





Yani kayaların tarihi:

- Son olay -
- \* güncel uçurumun üstü ve yüzü aşınmış
  - \* kaya istifli, bir dayk şeklinde katılaştıran bir sıvı magma tabakasıyla kesilmiş
  - \* kalan katmanlar çökelmiş, yukarı doğru gençleşir
  - \* uçurumun yüzündeki en alttaki tabaka çöktü, ardından
  - \* çakıl içeren konglomera

En erken olay - \* daha sonra aşınması ile çakıl oluşturan bir kayaç oluştu





William Smith, fosilleri kullanarak kayaların göreceli tarihlemesini yaptı ve yöntemini "Faunal süksesyon yasası" olarak tanımladı. Pek çok sedimanter kayaç katmanının belirli fosil grupları içerdiğini ve bunların geniş alanlarda izlenebileceğini fark etti. Bu, belirli bir grup fosili içeren bir kaya bulunduğu her yerde, aynı yaşta bir kaya olduğunu bilmek anlamına geliyordu. Bu yöntem **korelasyon** denir. Ayrıca William Smith, belirli fosil gruplarını içeren katmanların her zaman aynı sırada bulunduğunu fark etti. Bu, bir grup fosil içeren bir kaya bulunduğu, diğer fosil gruplarıyla birlikte kayaların her zaman Tablo 3.3'te gösterildiği gibi yukarıda veya aşağıda bulunacağını bilindiği anlamına geliyordu. Smith, yöntemini kayaları ilişkilendirmek ve istiflere yerleştirmek için kullansa da, fosillerin neden hep aynı sırada bulunduğunu bilmiyordu. Charles Darwin, bu düzenin nedeninin **evrim** olduğunu ancak daha sonra fark etti.

**Tablo 3.3.** William Smith'in "Faunal Süksesyon Yasası" nı uygulayan yöntemi






William Smith'in istifi		Smith'ten sonra tanınan jeolojik zaman ölçeğinin dönemleriyle ilgili yaş	William Smith'in orijinal fosil grubu çizimi
<b>En genç</b>	Alt tebeşir	Geç Kretase yaşı	
	Yeşil Kum	Erken Kretase yaşı	
	Oak Tree Kili (Şimdi Kimmeriden Kili)	Geç Jura, Kimmeriden yaşı	
<b>En yaşlı</b>	Kelloways taşı	Orta Jura yaşı	

Belirli fosillerin yalnızca belirli yaşlardaki kayaçlarda bulunduğunu bildiğimiz için, Smith'in yöntemini artık daha geniş bir şekilde uygulayabiliriz. Böylece fosilleri tanıyarak kayaların jeolojik yaşını Tablo 3.4'deki gibi biliriz.





**Tablo 3.4.** Farklı yaşlardaki kayalarda bulunan tipik fosiller

Kayacın jeolojik yaşı	Fosil sadece bu yaştaki kayalarda bulundu	Fosil görüntüsü
<b>Kuvaterner</b>	<i>Argopecten gibbous</i> deniz tarağı kabuğu - deniz dibinde yaşar, ancak yırtıcılardan hareket etmek ve kaçmak için kabuklarını çırpabilir; Neojen, Kuvaterner ve modern sedimanlarda bulunan; bu modern bir örnek	
<b>Neojen</b>	Kayalık deniz kıyılarında yaşayan <i>Crassostrea titan</i> istiridye kabuğu; bu örnek Santa Margarita Formasyonu, Kaliforniya, ABD'den	
<b>Paleojen</b>	Soyu tükenmiş kum kaplan köpekbalığı <i>Carcharias tingitana</i> 'nın fosil dişleri: Bu köpekbalığının dişleri yalnızca Paleojen'de bulunur; Bu örnekler Khouribga, Fas'tan	
<b>Kretase</b>	<i>Micraster leskei</i> echinoderm, deniz tabanı tortusu üzerinde ve içinde yaşayan bir deniz kestanesi; diğer Micraster formları Paleojen'de bulunmasına rağmen bu tür yalnızca Kretase'de bulunur; bu örnek Puys, Dieppe, Fransa yakınlarındaki Chalk'tan.	

**Tablo 3.4.** Farklı yaşlardaki kayalarda bulunan tipik fosiller, devam

Kayacın jeolojik yaşı	Fosil sadece bu yaştaki kayalarda bulundu	Fosil görüntüsü
<b>Jura</b>	Denizde yüzen, kabuklu bir ahtapot gibi yaşayan <i>Calliphylloceras</i> ammonite; bölmeler arasındaki duvarlar, burada siyah boya ile gösterilen çok karmaşık şekillere sahipti; bu derece yoğun desenler sadece Jura ve Kretase ammonitlerinde bulunur 	 10mm
<b>Triyas</b>	<i>Ceratites</i> ceratite ammonoid; denizde kabuklu bir ahtapot gibi yüzerek yaşadı; kabuğun ağzına doğru düzgün bir şekilde kavisli, ancak diğer yönde karmaşık olan odalar arasında duvarlar vardı; bu örnek, Oberer Muschelkalk Hohenlohe, Almanya'dan	
<b>Permiyen</b>	Goniatite ammonoid (aynı zamanda Karbonifer ve geç Devoniyen yaşlı kayalarında da bulunur); kabuklu küçük bir ahtapota benzer; okyanusta yüzerek yaşadı - basit zikzak şekilleriyle odalar arasında duvarlar vardı	 10mm
<b>Karbonifer</b>	Deniz dibinde köklü olarak yaşayan <i>Caninia</i> tek rugosa mercanlar; bu örnekler Kansas, ABD'deki Lecompton Kireçtaşı'ndan alınmıştır.	

Tablo 3.4. Farklı yaşlardaki kayalarda bulunan tipik fosiller, devam

Kayacın jeolojik yaşı	Fosil sadece bu yaştaki kayalarda bulundu	Fosil görüntüsü
<b>Devoniyen</b>	<i>Phacops</i> trilobite - muhtemelen aktif bir avcı olarak deniz tabanında yaşadı; bu örnek orta Devoniyen yaşlı Silis Şeyli, Ohio, ABD'dendir.	
<b>Siluriyen</b>	Graptolit hayvanlarından oluşan bir koloniyi taşıyan tek kollu <i>Monograptus</i> graptolite; okyanusta yüzdü	
<b>Ordoviziyen</b>	Dört kollu <i>Tetragraptus</i> graptolite*; kolların her biri küçük graptolit hayvanlarından oluşan bir koloniyi taşıyordu; koloni okyanusta yüzerdi; bu örnek, Bendigo, Victoria, Avustralya alt Ordovisiyen Bendigoian Serisinden • fotoğraftaki dört koldan (stipes) sadece üçü görülebiliyor	
<b>Kambriyen</b>	<i>Paradoxides</i> trilobite; bunlar deniz tabanında yaşıyordu ve muhtemelen yırtıcılardı	

Jeologlar, kayaları korele etmek ve sıralamak için fosilleri kullanırken, fosil kayıtlarının belirli yerlerinde fosil gruplarında ani değişiklikler olduğunu keşfettiler. Artık bunun, o zamanlarda büyük yok olma olaylarının olmasından kaynaklandığını biliyoruz, ancak ilk jeologlar en çok bu değişikliklerin kayaları bölmek için nasıl kullanılabileceğiyle ilgilendiler. Fosiller, jeolojik dönemleri tanımlamak için kullanıldı (Tablo 3.4'ün ilk sütununda gösterilen isimlerle).

### Kutu 3.2. Jeolojik döneme bir örnek - Triyas

Triyas dönemi, Mezozoyik'in ('Orta yaşam' Çağı) ilk dönemidir ve Freidrich von Alberti tarafından 1834'te bulunan Almanya genelinde ve kuzeybatı Avrupa'da üç ana katmanından (tri = üç) dolayı adlandırılmıştır. Bunlar altta kırmızı tabakalar, ardından bir kireçtaşı, üstte çamurtaşı / kumtaşı istifli. O istifin tabanında ve tepesinde bulunan fosillerdeki büyük değişiklikler nedeniyle Triyas kayalarını alttan ve üstteki kayalardan ayırt edebildi. Artık bunların büyük ölçekli kitlesel yok olma olaylarının sonuçları olduğunu biliyoruz.

Günümüzde, mümkün olan her yerde, jeolojik sütundaki ana sınırların konumları bir "Küresel Sınır Stratotip Kesiti ve Noktası" (GSSP) ile tanımlanmaktadır. Dünya'nın herhangi bir yerinde, sınırın kesin konumunun bulunabileceği, doğru yaşta bir dizi fosil yataklarının bulunduğu bir yer bulunur. Bu önemli referans noktasını işaretlemek için o noktaya bir "altın çivi" yerleştirilir.

Triyas'ın tabanındaki (ve dolayısıyla önceki Permiyen döneminin tavanındaki) "altın çivi", *Hindeodus parvus* adlı bir konodont mikrofosilinin ilk jeolojik istifde görüldüğü Çin'in Zhejiang Eyaletindeki Meishan'dadır.

Triyas'ın tepesi (ve bu yüzden Jura döneminin tabanı), ammonit *Psiloceras spelae tirolicum*'un ilk bulunduğu Avusturya'nın Tirol bölgesindeki Kuhjoch'ta "altın çivi" ye sahiptir.



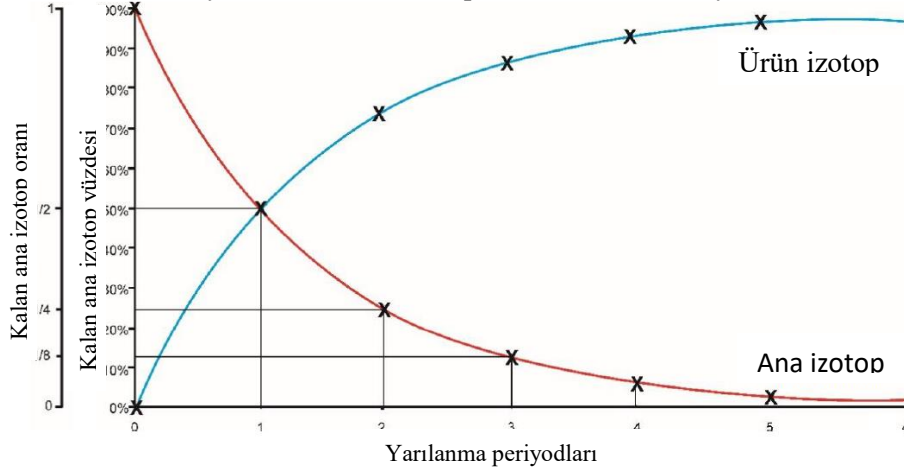
Triyas Dönemi'ndeki jeolojik sınırlardan birinde bronz "altın çivi" işareti - sınırın ilk olarak işaretlendiğinde oradaki jeolojik kayıta görünen ammonitin alçı dökümü

Uzun yıllardır kayaların ve jeolojik dönemlerin göreceli yaşlarını hesaplamak için göreceli tarihleme yöntemleri kullanılmıştı, ancak radyometrik tarihleme mevcut olana kadar dönemlerin ya da dönemler arasındaki sınırların yaşlarının ne kadar eski olduğunu bilmiyorduk.

### 3.3 Mutlak tarihleme

Radyometrik tarihleme, bazı kayaların ve minerallerin içerdiği radyoaktif elementlerin diğer elementleri oluşturmak için parçalandığı keşfedildiğinde mümkün oldu. Zamanla bozulmaları, bir grafikte gösterilebilecek tahmin edilebilir bir şekilde gerçekleşir; buna genellikle **radyoaktif bozunma eğrisi** adı verilir (Şekil 3.1).

**Şekil 3.1.** Tüm radyoaktif malzemelerin parçalanması için radyoaktif bozunma eğrisi



Bozunan radyoaktif element, **ana izotop** olarak adlandırılır; bozunmanın ürettiği yeni unsur **ürün izotoptur**. Grafik, belirli bir süre sonra, ana izotopun yarısının ürün izotop üretmek için parçalandığını göstermektedir; bu süreye **yarılanma ömrü** denir. Başka bir yarı ömürden sonra, ana izotopun başka bir yarısı bozunur, bu yüzden ana izotopun sadece dörtte biri kalır; madde daha sonra ana izotopun % 25'ini ve ürün izotopun % 75'ini içerir. Üçüncü yarılanma süresi geçtikten sonra, ana izotopun sekizde biri (% 12,5) parçalanır, bu nedenle madde % 12,5 ana izotop ve % 87,5 ürün izotoptur. Ürün izotop sayısı arttıkça ana izotop yüzdesi gittikçe azalırken, bozunma devam eder.

Tüm radyoaktif materyaller bu modele göre bozulsa da, yarı ömürlerinin uzunlukları milyarlarca yıldan mikrosaniyelere ve daha azına kadar değişen çok büyük farklılıklar gösterir. Bozunma oranı bilinen bir radyoaktif element seçersek, elementin ilk olduğu yaşı bize vermek için ana ve ürün izotopların miktarlarını ölçebiliriz. Bu, daha sonra içinde bulunduğu mineral veya kayanın yaşını verir. Bu yöntem **mutlak tarihlendirme** denir çünkü yaşı yıllar, binlerce, milyonlarca veya milyarlarca yıl olarak verir. Ölçümler hesaplanan az miktarda hata içerdiğinden, radyometrik tarih ölçümleri her zaman gösterilen potansiyel hata ile birlikte verilir.

### **Kutu 3.3.** Radyometrik mutlak tarihlerle verilen hata aralığı



İskoçya'daki Edinburgh şehri eski bir volkanın etrafına inşa edilmiştir. Patlamayı tarihlemek için volkanik kayalardan gelen feldspat mineralleri kullanıldı. Feldspatta argonun radyoaktif bozunması ile verilen tarih 349 ±4 milyon yıldır ve bu da yanardağın 353 ile 345 milyon yıl önce Karbonifer dönemlerinde patladığını gösteriyor.

Mutlak tarihlendirme, yalnızca doğru tipte radyoaktif elementler içeren ve o kayanın ilk olduğu tarihi veren kayalar veya mineraller için kullanılabilir. Bu, çoğu magmatik ve bazı metamorfik kayalar için işe yarar. Sedimanter kayalar için o kadar uygun değildir, çünkü sediman taneleri aşınmadan ve çökmeden önce oluşmuştur. Fosiller, sedimanter kayalarda bulunduğu için, radyometrik tarihler ile fosil korelasyon tarihleri arasında bağlantı kurulmasını zorlaştırır. Jeolojik sütündeki dönemler arasındaki sınırlara kesin tarihler tahsis etmenin uzun zaman almasının nedenlerinden biri budur. Bununla birlikte, bu tarihlerin neredeyse tamamı onaylanmış olup, Tablo 3.5'te gösterilen tarihlerle

jeolojik sütunu üretmemize izin vermektedir. Jeolojik tarihteki önemli olaylar bu tablonun son sütununa eklenmiştir.

**Tablo 3.5.** Uluslararası Stratigrafi Komisyonu tarafından yayınlanan en son Uluslararası Kronostratigrafi Çizelgesine dayanan jeolojik zamanın ana alt bölümleri \*

Eon	Era	Period	Simge	yaş	Önemli olaylar	
Fanerozoyik	Senozoyik	Kuvaterner	Q	0		
		Neojen	N	2.6	3.3 En eski taş alet	
		Paleojen	Pg	23	50 Himalaya dağı	
	Mezozoyik	Kretase	K	66	66 K-Pg toplu yokolma	
			Jura	J	145	130 İlk çiçekli bitkiler
		Triyas	T	201	160 İlk kuslar	
			P	252	190 Atlas okyanusunun açılışı	
			P	252	220 İlk memeliler	
		Paleozoyik	Permian	P	252	252 En büyük toplu yok olma
				C	299	299 Süper kıta Pangea oluştu
	Devoniyen		D	359	315 İlk sürüngenler	
			Siluriyen	S	419	370 İlk anfibiler
	Prekambriyen	Proterozoyik	Ordovisiyen	O	444	400 İlk böcekler
			Kambriyen	Cm	485	430 İlk karasal bitkiler
				541	530 İlk balık	
Prekambriyen	Arkeen			2,000	541 Kabuklu/kemikli yaşam	
				2,100	2,000 İlk çok hücreli organizma	
				2,700	2,100 İlk ekaryotlar	
Prekambriyen	Hadeen			3,500	2,700 Atmosferde ilk oksijen	
				4,000	3,500 İlk bakteri ve algler	
				4,600	4,000 Bilinen en yaşlı kayaç	
				4,600	4,600 Dünyanın orijini	

\* Kaya tarihlendirme yöntemleri geliştikçe tablodaki bazı tarihler zamanla değişti. Tablo 3.5 en son sürümü göstermektedir.

### 3.4 Süreç oranları/hızları

Bir zamanlar, çoğu jeolojik sürecin yavaş ve istikrarlı bir şekilde gerçekleştiği düşünülüyordu. Şimdi biliyoruz ki, bazıları gerçekten çok yavaş ve sabitken, diğerleri çok hızlı ve yıkıcı olabilir. Örneğin, bir sedimanter kaya istifinin çökmesi milyonlarca yıl alır, ancak tek tek katmanlar saniyeler içinde biriktirebilir. Benzer şekilde, yeraltındaki sıvı magmanın katı bir magmatik kaya haline gelene kadar soğuması milyonlarca yıl sürebilirken yanardağlar saniyeler içinde patlayabilir. Kayalar, üstteki buzun erimesi ve toprağın yükselmesi gibi, yavaşça veya depremlerde olduğu gibi aniden yükselebilir.

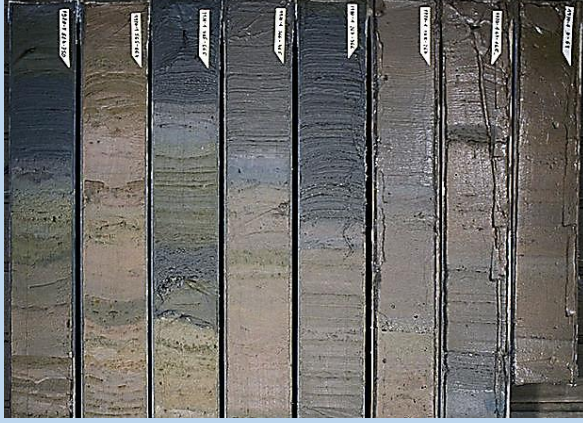
Şimdi öyle görünüyor ki, aynı zamanda istikrarlı bir süreç olarak da düşünülen evrim, genellikle ani patlamalarla gelişmiştir. Benzer şekilde, kitlesel yok oluşlar da genellikle ani felaketler olarak görünmektedir. Bu yüzden, milyarlarca yıllık jeolojik kayıtların, şiddetli felaketler ile serpiştirilmiş son



derece yavaş süreçlerin ve aralarında her zaman faaliyet gösteren diğer süreçlerin kombinasyonunun bir kaydı olduğu ortaya çıkmıştır

**Kutu 3.4.** Çok, çok hızlıdan çok, çok yavaş süreçlere

Derin denizde, ince çamurlar deniz suyundaki süspansiyondan çok çok yavaş bir şekilde çökler, böylece bir sediman istifi oluşturmak milyonlarca yıl alabilir. Bununla birlikte, bazen karada, kıyı bölgelerinde ve okyanus derinliklerinde, fırtına heyelanları veya diğer doğal afetlerle sediman katmanları günler hatta saatler içinde çok daha hızlı bir şekilde çökebilir.



Grönland yakınlarındaki derin deniz ortamından alınan derin deniz çökeltilerinin karotları; sediman katmanları uzun zaman aralıklarında oluşmuştur



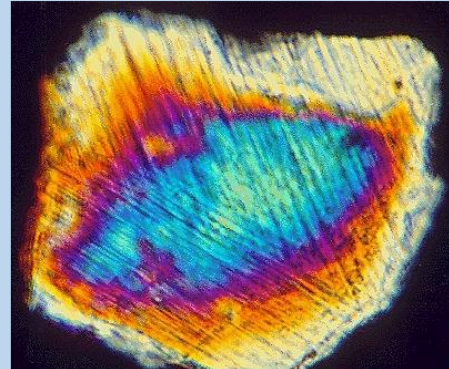
İskoçya'da 8.000 yıl önce çökelen gri renkli tsunami tabakası, üstte ve altta koyu turba katmanları arasında dakikalar içinde çökemiştir.

**Kutu 3.5.** Yıkıcı etkili olayları (Katastrofik çarpma olayları)

Uzaydan gelen nesnelere genellikle Dünya ve diğer gezegenlerle çarpışır, ancak bunların çoğu çok küçüktür ve algılanmaz. Bununla birlikte, 1 km çapındaki asteroidler ortalama olarak her yarım milyon yılda bir Dünya'ya çarparken, 5 km çapındaki asteroidler yaklaşık her 20 milyon yılda bir Dünya ile çarpışmaktadır. Birçok küçük asteroid atmosferde parçalanır, ancak daha büyük olanlar Dünya'ya çarpar ve kraterler oluşturur. Çarpışmanın boyutu, çarpışan gövdenin çapına, yoğunluğuna, hızına ve açısına bağlıdır. Volkanik kraterler genellikle çarpma kraterlerine çok benzeyebilir, ancak yalnızca çarpma kraterleri, çarpma sırasında kuvarsin deformasyonu ile üretilen tektitler ve "şoklanmış kuvars" adı verilen küçük camı boncuklara sahiptir. Bazı çarpmalar, iridyum katmanlarının yanı sıra kurum ve kül katmanları da üretir.



Yaygın tektit şekilleri - dambıl ve gözyaşı



Mikroskop altında çapraz polarize ışıkta görülen deformasyon düzlemleriyle şoklanmış kuvars

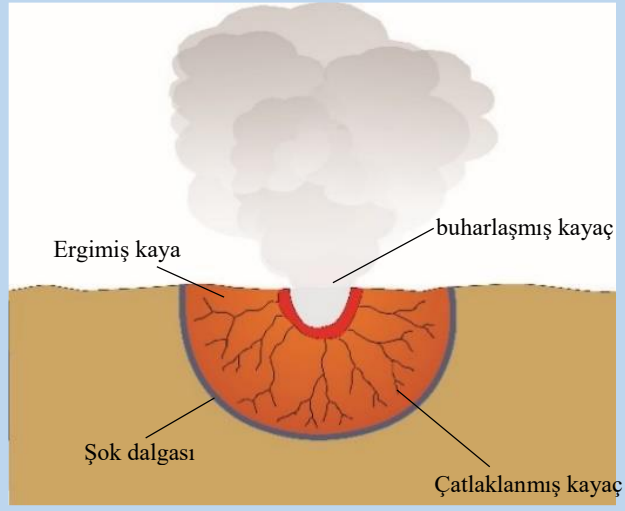
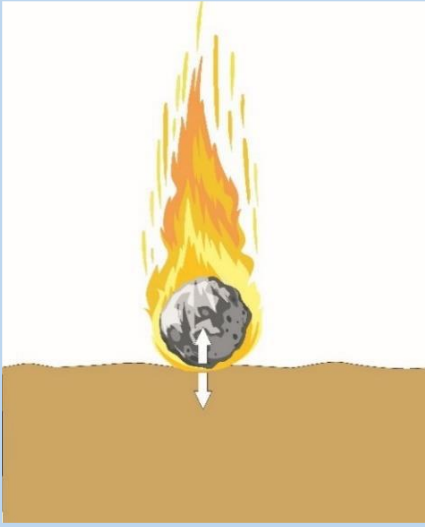
**Kutu 3.5.** Yıkıcı etki olayları (Katastrofik çarpma olayları) devam



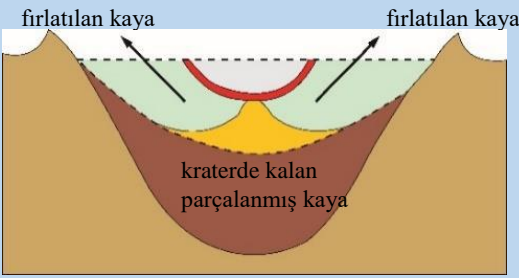
Hindistan'daki Lonar krateri - yaklaşık 52.000 yıl önce meydana geldiği düşünülen bir meteor çarpması sonucu oluştu.



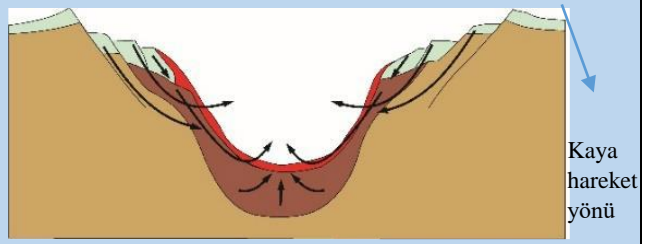
Uluslararası Uzay istasyonundan görülebilen 215 milyon yıl önceki bir çarpma ile oluşan Kanada'nın Québec kentindeki Côte-Nord bölgesindeki 100 km genişliğindeki Manicouagan Krateri.



Safha 1: temas ve sıkıştırma safhası



Safha 1: kazı safhası



Safha 1: değişiklik safhası



ABD Arizona'daki Flagstaff yakınlarındaki Meteor (Barringer) Krateri, yaklaşık 50.000 yıl önce oluşmuş yüksek krater kenarı ile çevrili, yükseltilmiş bir merkezle tipik bir çarpma depresyonu gösteriyor.

## 4 Dünya'nın sistemi, etkileşim halindeki kürelerden oluşur

Tüm Dünya sistemi birçok alt sistemden oluşur. Bölüm 1'de gösterildiği gibi, bu farklı alt sistemler arasında birçok etkileşim ve geri beslenme olmasına rağmen, bunlar jeosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosfer olarak gruplandırılabilir.

### 4.1 Jeosfer

**Jeosfer** katı Dünya'dır. Çekirdeği, mantosu, kabuğu, kayaları, mineralleri, fosilleri ve toprakları ile tüm Dünya'yı kapsar. Aynı zamanda katı Dünya'yı ve malzemelerini etkileyen tüm süreçleri de kapsar.



#### 4.1.1 Dünya malzemeleri ve özellikleri

Dünya'nın dış kısmı kayalardan oluşur ve bunlar da minerallerden veya diğer kayaların parçalarından oluşur ve genellikle toprakla örtülür.



##### 4.1.1.1 Mineraller

Mineraller, belirli bir kristal yapısına ve özelliklere sahip, doğal olarak oluşan organik olmayan maddelerdir. Tek bir elementten oluşabilir, ancak çoğu iki veya daha fazla elementten oluşan kimyasal bileşiklerdir. Doğal olarak oluşan maddeler genellikle laboratuvarında üretilen kimyasallar kadar saf olmadığından, minerallerin kimyası, kristal yapısı ve fiziksel özelliklerinde küçük farklılıklar olabilir. Farklı mineraller özellikleri ile tanınabilir - temel özellikler renk, kristal şekli, sertlik ve kırılma şeklidir. Bazı mineraller, kalsitin seyreltik hidroklorik asitle reaksiyonu, halitin tuzlu tadı veya galenit gibi cevher minerallerinin yüksek yoğunluklu ve metalik parlaklığı gibi tanımlanmalarına yardımcı olan belirli özelliklere sahiptir. Yaygın mineraller Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Yaygın mineraller, onların kimyası, şekli ve fiziksel özellikleri

Ad	Görüntü	Kimya	Kristal şekli	Fiziksel özellik
<b>Kuvars Kristallerin lokasyonu : Bilinmeyen bölge</b>		Silisyum dioksit; SiO <sub>2</sub>	Yaklaşık altıgen (6 taraflı) şekiller	Genellikle beyaz, gri veya renksizdir ancak başka soluk renklere sahip olabilir; sert; kırılması zor
<b>Feldispat Kristallerin lokasyonu: Rock Creek Kanyonu, Sierra Nevada, Kaliforniya, ABD</b>		Kalsiyum / sodyum / potasyum silikat; CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ile (K, Na) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> aralığında	Genellikle kutu şeklinde	Genellikle beyaz veya gri, bazen pembe; sert; düz yüzeyler boyunca kırılır

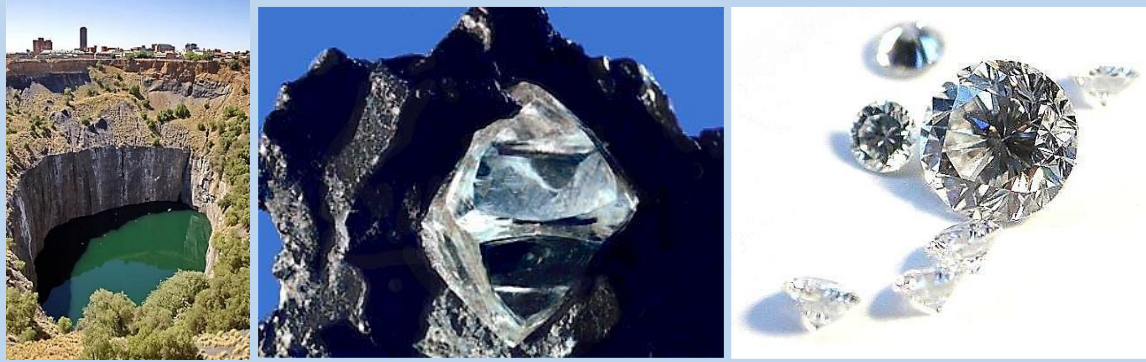
**Tablo 4.1.** Yaygın mineraller, onların kimyası, şekli ve fiziksel özellikleri

Ad	Görüntü	Kimya	Kristal şekli	Fiziksel özellik
<b>Kristallerin lokasyonu :</b> <b>Bilinmeyen bölge</b>	  10mm	Kalsiyum,sodyum , potasyum, alüminyum, magnezyum ve / veya demir içeren kompleks silikon ve oksijen silikati	Yaklaşık altıgen (6 taraflı) plakalar	Genellikle renksiz veya siyah; düşük sertlikte; kolayca düz tabakalara ayrılır
<b>Kalsit Kristallerin lokasyonu:</b> <b>Nkana Madeni, Zambiya</b>		Kalsiyum karbonat; $\text{CaCO}_3$	Köpek dişi spar yaygın bir formdur, köpek dişleri gibi şekillenir	Beyaz veya renksiz; oldukça düşük sertlikte; kolayca ezilmiş küp şekillerine ayrılır; seyreltik hidroklorik asit ile reaksiyona girer
<b>Halit kristaller:</b> <b>Wieliczka tuz madeni, Polonya</b>	  10mm	Sodyum klorit; $\text{NaCl}$	Küp şeklinde	Renksiz, beyaz veya pembe; düşük sertlik; küp şekillerine kolayca ayrılır; tuzlu tat
<b>Jips,Alçıtaşı Kristallerin lokasyonu :</b> <b>Bilinmeyen bölge</b>	   10mm	Kalsiyum sülfat; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	İnce kristaller, resimdeki gibi"çöl gülleri" oluşturur	Renksiz, beyaz veya pembe; düşük sertlik; düz yüzeyler boyunca kolayca kırılır
<b>Pirit Kristallerin lokasyonu :</b> <b>Bilinmeyen bölge</b>	  50mm	Demir sülfür; $\text{FeS}_2$	Genellikle küp şeklinde	Parlak pirinç sarısı renkte; sert; kırılması zor; yüksek yoğunluklu

**Tablo 4.1.** Yaygın mineraller, onların kimyası, şekli ve fiziksel özellikleri,devam

<b>Galenit</b> <b>Kristallerin</b> <b>lokasyonu:</b> <b>Cebelitarık</b> <b>Madeni,</b> <b>Naica,</b> <b>Chihuahua,</b> <b>Meksika</b>	  10mm	Kurşun sülfür; PbS Bir kurşun cevheri	Often cubeshaped Genellikle küp şeklinde	Parlak gri; düşük sertlikte; kolayca küp şekillerine ayrılır; yüksek yoğunluklu
--	--	--	---	--

**Kutu 4.1.** Sıradışı bir mineral- Elmas



Elmaslar, karbon elementinden Dünya yüzeyinin derinliklerinde büyük bir basınç altında oluşur. Kimberlit adı verilen sıra dışı volkanik kayalarda yüzeye çıkarılırlar. Magma, kabuktan yukarı doğru dairesel damarlar şeklinde büyük bir hızla yükselerek elmasları taşır. Elmaslar, fotoğrafta gösterilen Güney Afrika'daki Kimberley'deki "Büyük Delik" gibi kimberlit damarlarında çıkarılıyor. Kimberlitler aşındığında, elmaslar akarsular tarafından taşınır ve alüvyal çökeltelerde biriktirilir; Çok miktarda elmas bu yataklardan çıkarılır.

Elmaslar çok özeldir, çünkü güçlü atomik karbon bağları onları dünyadaki en sert mineral yapar. Ayrıca çok ışıltılı ve parlak bir yüzeye sahiptirler. Ortadaki fotoğrafta gösterilen gibi kaba elmaslar, ışığı daha da fazla yansıtılmaları sağlamak için kesilebilir ve bu da onları mücevherlerde yaygın olarak kullanılan en değerli mücevher taşlar haline getirir.

Daha küçük elmaslar endüstriyel kesim ve cilalamada kullanılır çünkü çok serttirler ve sıklıkla diş hekimlerinin matkaplarında da kullanılırlar

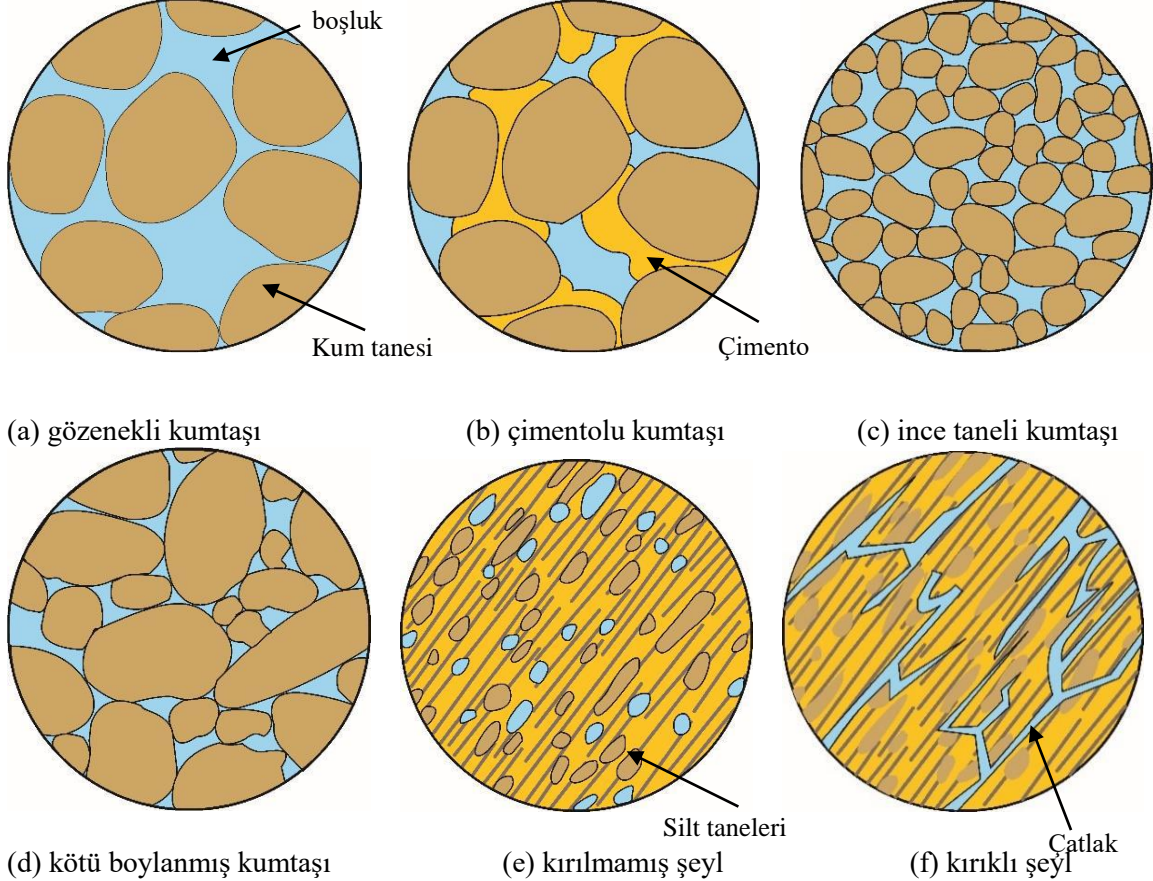
#### 4.1.1.2 Kayaçlar

**Kayaçlar** doğal olarak oluşan maddelerdir. Minerallerden, diğer kaya parçalarından veya fosillerden oluşurlar ve Bölüm 1.4.4'te açıklanan kaya döngüsü süreçleriyle oluşturulurlar. Kayaçlar, kimyasal bileşimlerine ve fiziksel yapılarına göre tanımlanır. Kimyasal bileşim, kayayı oluşturan minerallerle bağlantılıdır, kayanın dokusu ise parçacıkların türlerine, boyutlarına ve nasıl düzenlendiğine bağlıdır. Bu özellikler sırasıyla kayaların aşınmaya karşı direncine ve gözeneklilik ve geçirgenliklerine bağlıdır.

**Gözeneklilik**, bir kayaçdaki yüzde olarak ölçülen boşluk veya gözenek miktarıdır. % 15 gözeneklilik kayalar için yüksek bir gözenekliliktir; çoğu kayacın gözenekleri bundan çok daha düşüktür. Kayacın **geçirgenliği**, sıvıların kayalardan ne kadar hızlı akabileceğini ölçer. Gözeneklerin sıvıların akması için yeterince büyük olması ve gözeneklerin birbirine bağlanması durumunda yüksek gözenekliliğe sahip kayalar yüksek geçirgenliğe sahiptir. Killer gibi çok küçük gözenek boşluklarına sahip kayaçlar sıvıların geçmesine izin vermez ve bu nedenle gözeneklidir ancak geçirimsizdir. Benzer şekilde, bazı lavlardaki gaz kabarcığı boşlukları bağlantısız olduğundan kaya yine gözeneklidir ancak **geçirimsizdir** (Şekil 4.1). Birbirine kenetlenen kristallerden yapılmış veya iyi çimentolanmış veya çok ince taneli kayalar, sıvıların

akışını durdurur ve çatlak ve kırık içermedikleri sürece geçirimsizdir. Gözeneklilik ve geçirgenlik, kayaların içinde depolanabilen ve kayaların içinden akabilen su, petrol ve gaz gibi doğal akışkanların miktarlarını kontrol eder.

**Şekil 4.1.** Kayalarda gözeneklilik ve geçirgenlik. (a) 'daki gözeneklilik ve geçirgenlik (b) 'deki çimento ile azaltılmıştır; (c) 'deki geçirgenlik oldukça düşüktür çünkü gözenek boşlukları küçüktür; (d) 'deki geçirgenlik de düşüktür, çünkü daha büyük taneler arasındaki gözenek boşlukları daha küçük olan taneler tarafından doldurulmuştur; (e) 'deki kırılmamış şeyl, (f) 'de olduğu gibi çatlayana kadar geçirimsizdir.



(d) kötü boylanmış kumtaşı (e) kırılmamış şeyl (f) kırıklı şeyl

Sıkıştırılmış ve / veya doğal olarak birbirine çimentolanmış tanelerden oluşan kayalar **sedimanter kayaçlardır** - bunlar bir dizi bileşene ve dokuya sahip olabilir. En yaygın sedimanter kayaçlar kuvars, feldispat ve kil mineralleri bakımından zengindir. Bunlar, iri taneli çakıltaşlarından (yuvarlak taneli) ve breşlerden (köşeli taneli) orta taneli kumtaşlarına, çamurtaşı, şeyl ve kil / kıltaşı gibi ince taneli sedimanter kayaçlara kadar değişen çeşitli tane boyutlarına sahip olabilir. Kireçtaşları da yaygın sedimanter kayaçlardır ve çoğunlukla kalsit gibi kalsiyum karbonat minerallerinin parçalarından, çoğunlukla kırık kabuklardan oluşur. Kireçtaşları, kalsiyum karbonatın seyreltik asitle reaksiyona girmesinden dolayı kolayca tanımlanabilir - kireçtaşı üzerine bir damla hidroklorik asit, köpürme reaksiyonu oluşturacaktır. Kireçtaşları aynı zamanda kaba taneliden ince taneliye ve gri renginden krem rengine, ince taneli beyaz tebeşirlere kadar değişir. Magmatik ve metamorfik kayaçlar, normalde onları aşınmaya karşı çok dirençli hale getiren ve kırılmadıkları sürece onları geçirimsiz kılan birbirine kenetlenen kristallerden oluşur. Daha iri taneli örneklerde, birbirine kenetlenen kristaller, gözle veya bir el merceği ile görülebilir.

**Magmatik kayaçlar** bir zamanlar magma adı verilen ergimiş kayaçlardır ve genellikle magmanın soğumasıyla oluşmuştur. Magma soğudukça, kaya katılaştıkça mineral kristalleri birbirine kenetlenene kadar büyür. Farklı bileşimlerin mineralleri farklı renklere sahiptir ve farklı sıcaklıklarda kristalleşir, bu nedenle magmatik kayaçlar farklı renk, şekil ve boyuttaki minerallerin karışımlarıdır. Kristaller normalde rastgele yönlendirmelere sahiptir. Magmanın soğumasıyla oluşan magmatik kayaçların tek istisnası, magmanın patlayarak volkanlardan katı bloklar veya volkanik kül olarak püskürmesidir.

**Metamorfik kayalar**, sedimanter, magmatik veya daha eski metamorfik kayaların sıcaklık, basınç veya her ikisindeki artışların neden olduğu başkalaşım (metamorfizma) ile oluşan kayalardır. Katı halde oluşurlar, bu nedenle ergime olmaz (ergiyerek oluşan kayalar magmatik kayalardır). Sıcaklıktaki artış ya yakındaki bir magma tarafından ısıtılmasından ya da derine gömülmesinden kaynaklanmaktadır. Basıncın söz konusu olduğu yerlerde, metamorfik kayalar sadece üste depolanan kalın kaya istiflerinin gömülme basıncıyla değil, yalnızca levha çarpışması durumlarında da oluşabilirler. Tek başına artan sıcaklıkla oluşan metamorfik kayalar, rastgele yönlendirilmiş birbirine kenetlenen kristallere sahipken, artan plaka tektonik basınçları tarafından oluşturulan metamorfik kayalar, basınçlara dik açılarda yönlendirilen birbirine kenetlenen kristallere sahiptir. Kalsiyum karbonat kristallerinden oluşan metamorfik bir kaya olan mermer, kireçtaşı ile aynı şekilde seyreltik hidroklorik asit ile reaksiyona girer.

Bu özellikler, üç büyük kaya grubunun birbirinden ayırt edilmesini sağlar: taneleri veya kristalleri inceleyerek, geçirgenliği test ederek (yüze su damlatarak veya numuneleri suya bırakarak ve kabarcıkları yükselterek) ve kayaları tırnak veya bozuk para gibi bir metal parçası ile çizerek. Sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Kireçtaşı ve mermer ayrıca seyreltik hidroklorik asit ile reaksiyona girer.

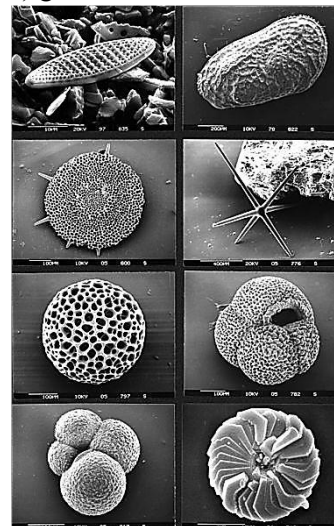
**Tablo 4.2.** Üç ana kaya grubunu ayırt etmek için basit testlerin sonuçları

Kaya grubu	Tanelerin / kristallerin incelenmesi	Geçirgenlik testi	Çizik testi
<b>Sedimenter</b>	çimentolanmış veya sıkıştırılmış taneler	İnce taneli veya iyi çimentolanmamışsa, numuneye su girer yada numuneden su kabarcıkları veya kabarcık katarı yükseliyor	İyi çimentolanmadıkça kolayca çizilir
<b>Mağmatik</b>	Kristaller birbirine kenetlenmiş, rastgele yönlendirilmiş	Su yüze nüfuz etmez; numuneden kabarcıklar yükselmez	İyi ayrılmadıkça çizilmesi zordur
<b>Metamorfik</b>	Kristaller birbirine kenetlenmiş, esas olarak ısı ile oluşturulmuşsa rastgele yönlendirilmiş; basınç ve ısı ile birlikte oluşturulmuşsa paralel veya yarı paralel		

#### 4.1.1.3 Fosiller

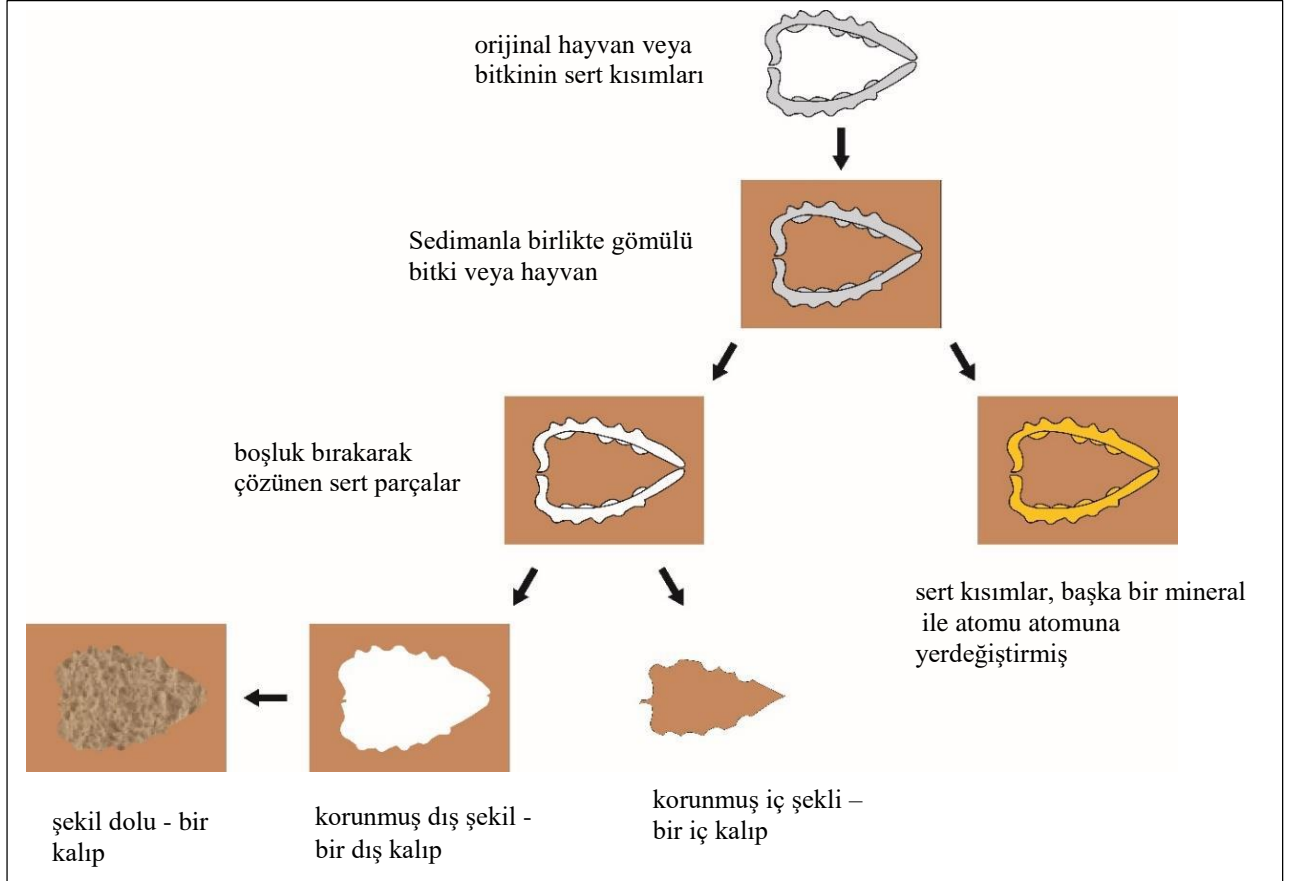
**Fosiller**, korunmuş herhangi bir yaşam izini kapsar ve genellikle 10.000 yıldan daha yaşlı olduğu varsayılır. Boyutları en büyük dinozorlardan en küçük mikrofosillere kadar değişir (Şekil 4.2.).

**Şekil 4.2.** Şu ana kadar bilinen en büyük dinozor türü olan Arjantin'deki Argentinosaurus ve küçük deniz mikrofosillerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.



Fosiller sedimanter kayalarda ve bazı düşük dereceli (büyük ölçüde metamorfik olmayan) metamorfik kayalarda bulunur. Kabuklar veya kemikler gibi organizmaların sert kısımlarının ve çok nadiren yumuşak organik kısımlarının (deri, kürk, tüy vb. dahil) korunmuş kalıntılarıdır. Bazı durumlarda, orijinal malzemeler, tüm orijinal özellikleri koruyabilen veya koruyamayan diğer mineraller tarafından atom yerine atom olarak yer değiştirmişlerdir. Bazen fosiller, etrafındaki kayada oyuntular (kalıp) bırakarak çözülmüştür. Kalıplar daha sonra orijinal fosillerin kalıplarını oluşturacak şekilde başka malzemelerle doldurulmuş olabilir (Şekil 4.3.).

**Şekil 4.3.** Fosilleşme





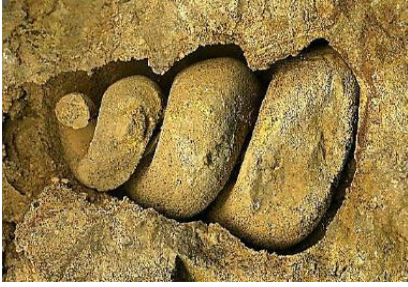

Canlılara ait korunmuş parçalar **fosil** olarak adlandırılırken, ayak izleri, yuvalar, oyuklar ve kök izleri gibi sedimanlarda organizmaların bıraktığı işaretler **iz fosiller** olarak adlandırılır. Önemli fosilleşme biçimleri Tablo 4.3'te gösterilmektedir.



**Tablo 4.3.** Fosilleşmenin önemli süreçleri

Fosilleşme süreci	Resim	Fosil grubu
<b>Gömülme - yumuşak ve sert parçalar korunmuş</b>	<p>[10mm]</p>	Kemikleri ve kürkü korunmuş küçük fareye benzer memeli fosili - Yixian Formasyonu, Çin'in Liaoning Eyaleti, erken Kretase yaşı



**Tablo 4.3.** Fosilleşmenin önemli süreçleri, devam

Fosilleşme süreci	Görsel	Fosil grubu
<b>Gömülme - sadece sert parçalar korunmuş</b>	 1mm	Bir <i>Calymene</i> trilobit fosili, Henryhouse Formasyonu, Oklahoma, ABD Silüriyen yaşı
<b>Yer değiştirme - orijinal mineral yeni bir mineralle yer değiştirmiş</b>	 1mm	Başlangıçta kalsiyum karbonattan oluşan ammonit, şimdi pirit Bully Calvados, Fransa, Jura dönemi
<b>Kalıplanma</b>	 1mm	Salyangoz benzeri gastropodun iç ve dış kalıbı (fosilin kendisi çözülmüş geriye kabuğun iç ve dış kalıbı kalmış) Ordovisiyen yaşı Galena Formasyonunu, Iowa, ABD
<b>iz oluşumu</b>		Bir dinazor ayak izinin dökümü; dinazor çamurda, kumla dolmadan önce sertleşen bir ayak izi bırakmış; kumla doldurulan bu iz daha sonra çamur uzaklaştırıldığında ve kumtaşı ters çevrilince iz fosil olarak ortaya çıkmıştır. Ashdown Formasyonu, Fairlight, Sussex, İngiltere, Kretase yaşı

Fosilleşme süreci	Resim	Fosil grubu
İz Fosiller - yuvalar ve yürüme yolları		Oyuklar ve bir trilobitin dinlenme yeri Gog Formasyonu, Louise gölü, Alberta, Kanada Kambriyen yaşı
İz fosilleri - kök izleri		Bir fosil <i>Lepidodendron</i> bitkisinin (vücut fosili) kök izleri (kalıplar - iz fosilleri) Kuzeydoğu Ohio, ABD Karbonifer yaşı

#### 4.1.1.4 Sedimanter kayaçlar

Sedimanter kayaçlar sediman olarak çökelirler ve mineral bileşimleri ve tane boyutları kullanılarak tanımlanmıştır (Tablo 4.4). Sedimanter kayaçlar, iyi çimentolanmadıkları veya ince taneli olmadıkları sürece genellikle geçirgendir ve çoğunun çizilmesi kolaydır. Kum boyutlu kayaçlarda taneciklerin görülmesi kolaydır, ancak genellikle bir el merceği ile bile çamurlu kayaçlarda tanelerin görülmesi imkansızdır.



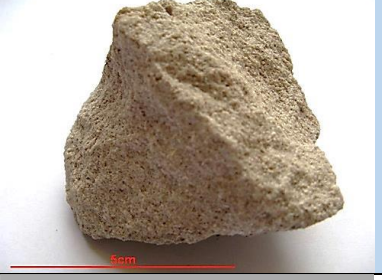





**Tablo 4.4.** Sedimanter kayaçların sınıflandırılması

Kimyasal Bileşim	Silice zengin	Kalsiyum Karbonatca zengin	Sodyum Kloritçe zengin	Karbonca zengin
Özellikler	En yaygın tortul kayaçlar; iyi çimentolanmışsa dayanıklı, aksi takdirde çizilmesi kolay; genellikle koyu veya soluk gri, kahverengi, krem veya kırmızı	Seyreltik hidroklorik asit ile reaksiyona girer; çizilmesi kolay; genellikle soluk gri, krem veya beyaz	Tuzlu tadı olan halitten yapılmıştır; kübik kristaller; çizilmesi çok kolay; pembe, beyaz veya renksiz	çizilmesi çok kolay; genellikle kübik şekillere bölünür; siyah; bitki fosilleri içerebilir
Yaygın kayaç tipleri Tablo 4.5 e bakınız				
Tane boyutu	İnce < 0.0625 mm	Çamurtaşı; Şeyl; Kil; Kiltası	Kireçtaşı; tebeşir	
	Orta 0.0625 – 2 mm	Kumtaşı; silttaşı	Kireçtaşı	Kaya tuzu
	İri > 2 mm	Konglomera, breş		Kömür





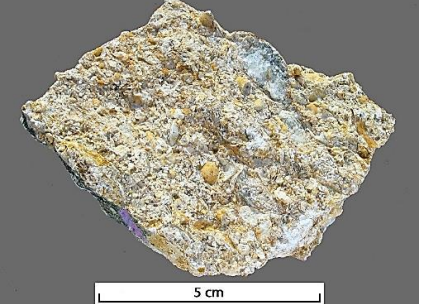


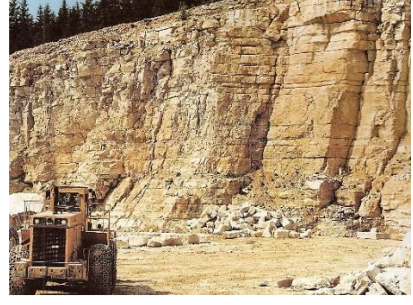
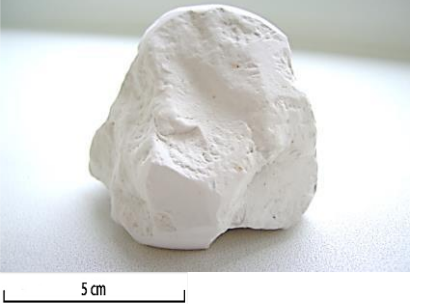

Kum boyutlu sedimanların çoğu tabakalar şeklinde depolanırken, çamurlar laminasyon adı verilen daha ince tabakalar şeklinde biriktirilir. Sediman gömüldükçe, çamurlar sıkıştırılarak daha sıkı çamurtaşları, şeyller veya kil / kilttaşları haline geliri ve kireç çamuru, sıkıştırıldığında suyu dışarı atarak kireçtaşı veya tebeşir haline gelir.

Bu arada su, çakıl tabakaları, kumlar ve kabuk kumları gibi daha iri sedimanların gözenekli boşluklarından akar ve su içerisindeki iyonlardan mineraller doğal bir çimento olarak kristalize olur ve bu da taneleri birbirine bağlar; bu sedimanlar, Tablo 4.5'te gösterildiği gibi iri taneli çakıltaşları ve orta taneli kumtaşları veya kireçtaşları halinde taşlaşır. Dolayısıyla tortul kayalar için iki ana kayaç oluşturma süreci **sıkıştırma**(kompaksiyon) ve **çimentolanma**dır.

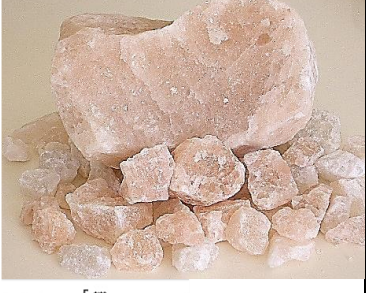

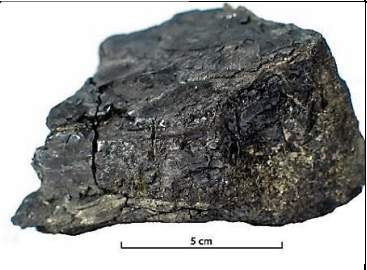

**Tablo 4.5.** Yaygın sedimanter kayaçlar

Sedimater Kayaç	Örnek Görsel	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
Konglomera			Konglomera yüzleği, San Sebastian yakını, İspanya Kretase yaşlı
Krem renkli kumtaşı			Krem renkli çapraz tabakalanmalı kumtaşı; Isle of Bressay, Shetland adaları, UK Devoniyen yaşlı
Kırmızı Kumtaşı			Antelope kanyonu, Arizona, ABD, daki Kırmızı Navajo Kumtaşı. Kırmızı renk hematit demir çimentodan dolayıdır. Triyas/Jura yaşlı
Çamurtaşı			Soluk silttaşı tabakalı Permiyen yaşlı kırmızı çamurtaşı; Bassin de Lodève, Hérault, la Lieude, Mérfons, Fransa

**Tablo 4.5.** Yaygın sedimanter kayaçlar, devam

Sedimater Kayaç	Örnek görsel	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
Şeyl			Denizel şeyl; Slate Hill Road, Marcellus, New York, ABD Devoniyen yaşlı
Kiltaşı			Kiltaşı; Estonya Kuvaterner yaşlı
Fosilli Kireçtaşı			Galler kemer ve yığının Green Köprüsü'nün fosilli kireçtaşı, Pembrokeshire, Galler Karbonifer yaşlı
Oolitik kireçtaşı			Rothenstein III Taşocağındaki Oolitik Jura kireçtaşı; Jura bölgesi, Fransa Jura yaşlı
Tebeşir			Mon yüksek tebeşir uçurumları, Danimarka Kretase yaşlı

**Tablo 4.5.** Yaygın sedimanter kayaçlar,devam

Sedimater Kayaç	Örnek Görsel	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
Kaya tuzu			Colonel tuz mağarası, İsrail. Tuz, suda çözüldüğünden, doğal tuz yüzlekleri yalnızca yeraltında bulunur.
Kömür			Eski bir maden ocağı girişinde eğimli kömür damarları, Stellarton Formasyonu, Nova Scotia, Kanada Karbonifer yaşı

**Kutu 4.2.** Yaygın olmayan sedimenter kayaç - çört (veya çakmaktaşı)



Çört, ince taneli kireçtaşında yumru adı verilen topaklar halinde bulunur (sağdaki fotoğraf). Tebeşir tabakaları içinde bulunduğu, çakmaktaşı (soldaki fotoğraf) olarak adlandırılır ve tarih öncesi zamanlarda ok uçları ve diğer keskin aletler yapmak için kullanılırdı. Deniz tabanında duraylı koşullarda ince kireç çamurunun çökmesi ve aynı zamanda amorf silisden (silikon dioksit) oluşan ölü mikroskopik organizmaların birikmesi sonucu çört ve çakmaktaşı oluşur. Kireç çamuru sıkıştırılarak kireçtaşı veya tebeşir haline getirilirken, silika parçacıklar arasındaki suda çözünür. Daha sonra zamanla kayaçta büyüyen çok ince taneli çört / çakmaktaşı yumruları halinde yeniden kristalleşir. Nodüller değişik yuvarlak şekillere ve boyutlara sahiptir ve genellikle katmanlar halinde bulunur. Tebeşir, deniz tarafından aşınırken, tebeşir kayalıkların altındaki plajlar genellikle çok sert çakmaktaşı çakıllarla kaplıdır.

#### 4.1.1.5 Mağmatik kayaçlar





Mağmatik kayaçlar, bir zamanlar erimiş olan magmanın derinlerde soğuyup kristalleşmesi veya bir volkandan patlayarak püskürmesi ile oluşan kayaçlardır. Mağmatik kayaçların çoğu geçirimsizdir ve birbirleriyle kenetlenen kristalleri nedeniyle çizilmeye karşı dirençlidir; kristal boyutları ve kimyasal bileşimleri kullanılarak tanımlanırlar. İri taneli kayalardaki kristalleri görmek kolaydır, orta taneli kayalardakiler bir el merceğine ihtiyaç duyar ve ince taneli kayalardaki kristalleri mikroskop olmadan görmek genellikle imkansızdır. Yüzeğin derinliklerinde magmanın yavaş soğumasıyla oluşan iri taneli kayaçlara **plütonik kayaçlar** denir; magmanın yüzeye püskürtülmesi ile oluşan ince taneli mağmatik kayaçlar **volkanik kayaçlardır**.

Kayacın kimyasal bileşimi, mevcut minerallerle ilişkilidir ve bunlar, kayanın genel rengini oluşturur. Demir ve magnezyum yönünden zengin kayalar koyu renkli demir / magnezyum yönünden zengin minerallere sahipken, silis bakımından zengin kayalar esas olarak feldspat ve kuvars gibi açık renkli minerallere sahiptir. Bu, Tablo 4.6'daki sınıflandırma sistemini verir.

**Tablo 4.6.** Magmatik kayaların sınıflandırılması

Kimyasal bileşim		Demir/magnezyum'ca zengin	Ortaç	Silisçe zengin
Özellikler		Koyu mineraller; koyu renkli; yüksek yoğunluklu (ağır hissedilir)	Orta özellikler	Açık renkli mineraller; koyu renkli, normal kayac yoğunluğu
Yaygın kayac tipleri – Tablo 4. bakınız				
Kristal Boyu	ince (<1mm)	Bazalt	Andezit	Volkanik kül
	orta (1-3mm)	Dolerit	Yaygın değil	Yaygın değil
	iri (>3mm)	Gabro	Yaygın değil	Granit

**Tablo 4.7** Yaygın magmatik kayalar

Magmatik Kayac	Örnek Görseli	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
<b>Granit</b>			Granit yüzlekleri, Mount Hope, Victoria, Avustralya Devonian yaşı
<b>Gabro</b>			Ukrayna'daki Botanik Folk Parkta jeolojik bir duvardaki Gabro; Blankenfelde Pankow, Berlin, Almanya
<b>Dolerit</b>			Bir nehir kıyısındaki dolerit daykı; Agwa Rock, Superior gölü Provincial Park, Kanada

**Tablo 4.7** Yaygın magmatik kayaçlar, devam

Mağmatik Kayaç	Örnek Görseli	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
<b>Bazalt</b>			Bazalt kolonları (bazalt soğudukça oluşur); Giant's Causeway, Kuzeyİrlanda Tersiyer yaşlı
<b>Andezit</b>			Andezitik lav akıntıları, Stewart Peak volkanı, Kolorado, ABD Tersiyer yaşlı
<b>Volkanik kül</b>			Sicilya yakınlarında Aelian adalardaki tuf tabakaları olarak çökelen volkanik kül; Kuvaterner yaşlı

**Kutu 4.3.** Yaygın olmayan bir magmatik kayaç- volkanik cam



Diğer magmatik kayaçlar gibi, volkanik cam magmanın soğumasıyla oluşur. Magma yeraltında yavaşça soğuduğunda, büyük kristallerin oluşması için zaman vardır. Yüzeyde lav olarak püskürtüldüğünde çok daha hızlı soğur ve böylece ince taneli lav, bazalt gibi çok daha küçük kristallere sahiptir. Daha hızlı soğursa sıvının içindeki atomların kristaller halinde bir araya gelmesi için zaman kalmaz ve cam oluşur. Bu lav akıntısındaki volkanik cam, numune ve tarih öncesi bıçak böyle oluşmuştur. Pencere ve şişe camı erimiş silikanın aynı şekilde soğutulmasıyla yapılır.

### 4.1.1.6 Metamorfik kayaçlar

**Metamorfik kayaçlar**, tortul, magmatik veya daha eski metamorfik kayaçların, artan ısı ve / veya basınç altında katı halde yeniden kristalleştiğinde oluşur. Kayalar metamorfizma sırasında ergimez, aksi takdirde magmatik kayaç olur.

Çoğu metamorfik kayaç, plaka çarpışmasından kaynaklanan dağ oluşumu sırasında artan ısı ve basınç sonucunda gelişir. Bu **bölgesel metamorfizmadır**. Yoğun koşullar altında, bazı mineraller diğer minerallere dönüşür, bazı mineraller daha ince ve daha uzun hale gelmek üzere yeniden kristalleşirken, diğer mineraller basınç yönüne dik açılarla sıralanana kadar dönerler.

Metamorfik kayaçlar, kayaçların yakındaki sıcak magmatik kütleler tarafından ısıtıldığında da oluşur. Buradaki mineralin yeniden kristalleşmesi esas olarak ısı ile gerçekleştiğinden ve tektonik basınç olmadığından, yeni kayalardaki kristaller rastgele yönlendirilir.

Isı ve basınçla (bölgesel metamorfizma) veya esas olarak ısıyla (**termal metamorfizma**) oluşan metamorfik kayacın türü, Tablo 4.8'de olduğu gibi, başlangıçtaki kayanın yapısına bağlıdır.

**Tablo 4.8.** Metamorfik kayaçların sınıflandırılması

Mineral bileşimi		Çamurtaşı yada şeyl içerisinde kuvars ve kil mineralleri	Kumtaşı içinde kuvars	Kireçtaşında kalsit
<b>Yaygın rejyonel metamorfik kayaç tipleri Tablo 4.9 a bakınız</b>				
<b>Isı ve basınçta yükselme</b> ↓	Düşük-derece	Sleyt	Metakuvarsit (yada kuvarsit)	Mermer
	Orta-derece	Şişt		
	Yüksek-derece	Gnays		
<b>Yaygın termal metamorfik kayaç tipleri</b>				
<b>Isı da yükselme</b>		Hornfels	Metakuvarsit (yada kuvarsit)	Mermer



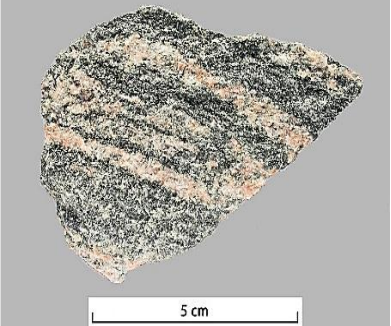





Metamorfik kayaçlar birbirine kenetlenen kristallerden oluştuğundan, genellikle geçirimsizdirler ve çoğu sedimanter kayaçtan daha fazla çizilmeye karşı dirençlidirler. Bölgesel metamorfik kayaçlar, sıralanmış minerallerinden tanımlanabilir. İnce taneli arduvazda, kayada zayıflıklar veya ayrılma düzlemleri boyunca ince tabakalara ayrılabilen zayıflıklar üretirler. Daha iri taneli şişte, sıralanmış mineraller, bir numune hareket ettirildiğinde flaşlarla ışığı yansıtarak görülebilir. Mineraller, gnayslarda bantlar oluşturur; bazen bantlar karmaşık kıvrımlar halinde deforme olur. Meta-kuvarsit veya mermerde herhangi bir mineral dizilimi görmek zordur, bundan dolayı termal metamorfik meta-kuvarsit ve mermeri bölgesel metamorfik meta-kuvarsit ve mermerden ayırt etmek çok zordur. Meta-kuarsit, geçirimsiz sert, şekerli kumtaşı gibidir; mermer ayrıca şekerli görünebilir, ancak seyreltik hidroklorik asit ile reaksiyona girer. Hornfels de serttir ve termal bir metamorfik kaya olarak rastgele yönlendirilmiş minerallerden oluşur, ancak bunları bu ince taneli kayaçada görmek genellikle imkansızdır.

**Tablo 4.9.** Yaygın metamorfik kayaçlar

Metamorfik Kayaç	Örnek Görseli	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
Sleyt			Kaya dübelleri ve tel örgü ile korunan bir yol kesiminde kayrak, Rothaar Dağları, Kuzey Ren, Almanya Devoniyen yaşlı



**Tablo 4.9.** Yaygın metamorfik kayalar, devam

Metamorfik Kayaç	Örnek Görseli	Yüzlek görseli	Yüzlek görselinin lokasyonu
Şist			Mika şist, La Pierre Blanche, Groix adası, Brittany, Fransa Devonyen yaşı
Gnays			Sugarloaf Dağı'nın şeritli gnaysı, Rio de Janeiro, Brezilya Prekambriyen yaşı
Mermer			Carrara ocağındaki mermer blok, İtalya - yapı taşı olarak ve heykelleri şekillendirmek için yaygın olarak kullanılır Jura yaşı
Metakuvarsit (Kuvarsit)			Metakuvarsit yüzleği, El Castellar, Zaragoza, İspanya Ordovisiyen yaşı

#### 4.1.1.7 Toprak

**Toprak**, yaşam ve Dünya'nın yüzey malzemeleri arasındaki etkileşimden kaynaklanır - yani hayatın olmadığı yerde toprak da olmaz. Toprak, katı jeosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosfer arasındaki etkileşimler yoluyla oluşur. Topraklar, nehir veya buzul çöktürmeleri gibi gevşek yüzeyli malzemeler üzerinde veya ana kayanın biyolojik ayrışmasıyla oluşur. Oluşabilecek birçok farklı toprak, iklim, rakım, eğimin dikliği ve ana kaya türü veya diğer yüzey malzemesi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Topraklar hemen hemen her zaman genellikle koyu renkli bir yüzey katmanına veya üst toprağa sahiptir. Yüzey tabakası bitki köklerinin ana bölgesidir; orada birçok mikroorganizma ve solucan gibi hayvanlar yaşar ve çürüten organik materyallerin veya humusun çoğunun bulunduğu yerdir. Bu nedenle üst toprağın ana bileşenleri: hayvan ve bitki yaşamı, humus, sediman veya kaya parçaları, su ve havadır. Az miktardaki bir üst toprak örneğinde, milyarlarca mikroskobik bitki ve binlerce farklı türe ait hayvan bulunur.

Çoğu toprakta yüzey tabakasının altında, toprak suyuyla aşağıya doğru taşınan ince taneli malzemenin biriktiği bir toprak altı bölgesi vardır; kimyasal değişikliklerin çoğu burada gerçekleşir. Bir toprağın tabanı ana kaya veya diğer orijinal yüzey malzemesidir.

Toprak, Dünya ekosisteminin esas parçasıdır; tüm büyük bitkiler toprakta büyür. Çok çeşitli diğer bitki ve hayvanlar için önemli bir yaşam alanıdır ve tüm tarımın temelidir. Besin maddelerini ve organik atıkları geri dönüştürür ve içinden akan suyun kalitesini etkiler. Toprak ayrıca atmosferdeki gazlarla etkileşime girer. Bitki büyümesi için en iyi üst toprak, su veya hava ile doldurulmuş yaklaşık yarı katı malzeme ve yarı boşluktan oluşur. Katı malzeme kum, silt ve organik humus karışımıdır; farklı kum, silt, kil ve humus karışımları bir dizi farklı toprak türü oluşturur.

Çiftçiler, farklı bileşenler ekleyerek toprakları daha verimli hale getirmeye çalışırlar. Toprakların asitli olduğu alanlarda onları nötralize etmek için kireç (kalsiyum oksit / hidroksit -  $\text{CaO} / \text{Ca}(\text{OH})_2$ ) eklenir. Diğer alanlarda kil eklemek toprağı iyileştirirken, başka yerlerde hayvan gübresi veya potasyum ve azotlu gübreler eklemek toprak verimliliğini artırır.

**Şekil 4.4.** Altenberg, Almanya'dan bir toprak istifi



**Box 4.4.** Charles Darwin ve toprak



Charles Darwin, solucanların toprak oluşumu için ne kadar önemli olduğunu anlayan ilk insanlardan biriydi. Yıllar önce bir İngiliz tarlasında toprağı konan beyaz kalsiyum karbonat kireç tabakasının yerin birkaç santimetre altında bir tabaka oluşturduğunu fark etmişti. Bunun solucanların hareketinden kaynaklanması gerektiğini anladı ve fikrini araştırmak için kendi solucanlığını inşa etti. Solucanların toprak oluşumundaki önemi hakkındaki fikirlerini 1881'de yayınladı.

Kesik plastik bir şişede ev yapımı bir kurtçuğun fotoğrafları - solucan ekmeden önce ve birkaç günlük solucan aktivitesinin ardından

#### 4.1.2 Dünya'nın süreçleri ve gözlemlenen özellikleri

Yeryüzü süreçleri, Şekil 1.7'de gösterilen kaya döngüsü aracılığıyla birbirine bağlıdır. Kaya döngüsü, su döngüsünün yüzey bölümüyle yakından bağlantılı olan aşınma, erozyon, taşınma ve depolanma yüzey süreçlerini içerir. Sedimanlar depolandıktan sonra, bu sedimanlar üstüne gelen sedimanlar tarafından gömülürken sıkıştırılma ve doğal çimentonun kristalizasyonu ile sedimanter kayalara dönüştürülür.





Levha tektoniği süreçleri kaya döngüsünün iç kısmını harekete geçirerek kayaları deforme eder, metamorfizmaya, magmatik aktiviteye sebep olur ve yükselen kayaları yüzeye çıkarır ve burada yüzey süreçleri tarafından tekrar etki altına alınır.

### 4.1.2.1 Yüzey işlemleri



Atmosfer, hidrosfer ve biyosfer, jeosferle etkileşime girerek manzarayı şekillendirir ve sediman oluşturup biriktirir. Yüzey kayaları, ayrışmaya ve erozyona maruz kalır. **Ayrışma**, katı madde uzaklaştırılmadan yeryüzeyindeki malzemenin parçalanması (fiziksel parçalanma) ve bozunmasıdır (kimyasal parçalanma). **Erozyon**, daha sonra daha uzağa taşınabilen katı malzemenin taşınmasıdır.

Ayrışma süreçleri birlikte hareket etme eğiliminde olmasına rağmen, Tablo 4.10'da gösterildiği gibi ayrı fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere bölünebilir.

**Tablo 4.10.** Yaygın ayrışma süreçleri

İşlev	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
Fiziksel	Donma / çözülme Su çatlaklara girer, donar, genişler, sonra çözülür ve daha derine süzülür; donma / çözülme döngüleri devam ettikçe çatlak genişler. Dağ tepelerinde olduğu gibi donma / çözülmenin yaygın olduğu yerlerde önemlidir	  10cm	Kırık kaya blokları, güney İzlanda
	Isınma / Soğuma Kayalar gündüzleri çok ısınır ve geceleri çok soğuk olur; Mineraller farklı oranlarda genişleyip büzüldüğü için kaya zayıflar ve çatlar. Geceleri çok soğuk olan sıcak bölgelerde önemlidir.	  10cm	Isınma / soğuma nedeniyle kırılan granit levhaları, Half Dome, Yosemite Milli Parkı ABD
Kimyasal	Kireçtaşı ve mermer üzerinde asidik su Yağmur suyu atmosferdeki karbondioksiti çözer ve topraktan akarken bünyesine daha fazla CO <sub>2</sub> alır. Zayıf karbonik asit, kalsiyum karbonatı çözer. Kireçtaşı eklemler boyunca çözüldüğünde genişler ve mağaralar oluşabilir.	  10cm	Genişletilmiş çatlaklara sahip Karbonifer yaşlı kireçtaşı basamağı (grykes), Doolin Quay, İrlanda
	Kumtaşı ve kuvarsitin oksidasyonu Yağmur suyu eklemler boyunca akar, demir minerallerini oksitleyerek (paslanır) parlak sarı, kahverengi ve kırmızı renklere dönüşür.	  10cm	Rushikonda plajındaki Khondalite Rock formasyonundaki bir ekleimde kimyasal ayrışma, Visakhapatnam, Hindistan

**Tablo 4.10.** Yaygın ayrışma süreçleri, devam





İşlev	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
Biyolojik	Likenler ve yosunlar Likenler, çıplak kayada kolonileşen ilk bitkilerdir. Küçük kökçükleri kaya taneleri arasındaki gözeneklere doğru büyür ve liken kuruyup büzüldükçe kayayı zayıflatır. Biyokimyasal etkileri de vardır. Likenleri genellikle yosunlar, ardından toprak oluşumu takip eder		Çıplak kayada büyüyen likenler, ABD
	Toprak oluşumu Ayrışmanın ana kaya üzerindeki biyolojik etkileri toprak üretir		Almanya, Rastatt yakınlarındaki Ren Vadisi'ndeki toprak katmanları

Erozyon, katı materyalin uzaklaştırılmasıdır. Topoğrafya oyulur ve sedimanlar Tablo 4.11'de vurgulandığı gibi dört ana erozyon süreci ile oluşur.

**Tablo 4.11.** Önemli erozyon süreçleri.

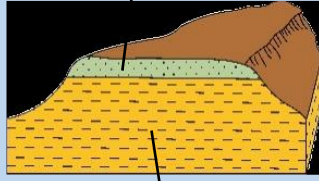

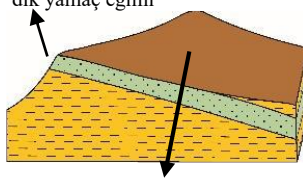

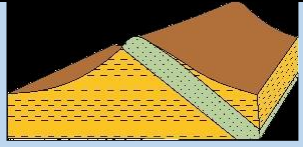
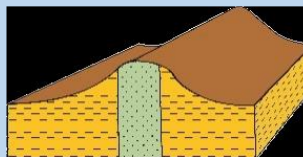

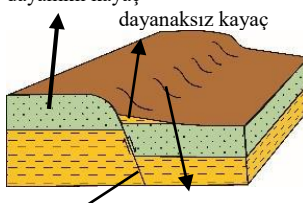

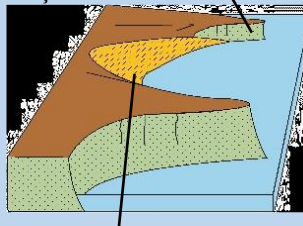

İşlev	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
Hareketli su (nehirlerde ve denizde)	Akan su, parçacıkları toplar ve aşındırır ve ayrıca ana kayayı aşındıran tortuları taşır. Çoğu erozyon, nehir kıyılarının felaketle sonuçlanabileceği taşkınlar sırasında meydana gelir.		Erozyon, Tista Nehri, Sundarganj Thana, Bangladeş tarafından yapılan kesinti nedeniyle nehir seti çökmesi
	Dalgalar ve taşıdıkları sediman, kıyı kayalıklarının eteğini aşındırarak genellikle kaya düşmelerine neden olur. Bunlar daha sonra dalgalar tarafından parçalanır		Sahil, kıyı erozyonu kaya düşmesi ile kapatılmış, Oddicombe, Devon, İngiltere

**Tablo 4.11.** Önemli erozyon süreçleri, devam.

İşlev	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
<b>Gravite</b>	Genellikle ayrışmayla zayıflayan kaya parçaları yerçekimi nedeniyle düşer. Büyük ölçekli kaya düşmesi, olukların altında koni biçimli eğimli yığınlar üretir. Yerçekimine bağlı erozyon, kaya düşmesini ve heyelanlarla gelen kayalarını içerir.		Yamaç molozu konileri, Crowfoot Dağı yakınlarındaki Bow Gölü, Alberta, Kanada
<b>Esen Hava (Rüzgar)</b>	Rüzgar kum, silt ve çamur boyutundaki parçacıkları aşındırır; kum yerel kum tepeleri oluşturabilir ancak silt ve çamur, toz bulutları olarak uzağa taşınabilir		Al Asad, Irak üzerinde ilerleyen kum fırtınası bulutu
	Bir kayaç yüzleğinin rüzgar erozyonu; kuvvetli bir rüzgarda, yüzleğin tabanına tepeden daha fazla kum tanesi çarpar ve aşınır, bu yüzden taban çok dardır		Árbol de Piedra ('taş ağaç'), Eduardo Avaroa Andean Fauna Ulusal Koruma Alanı, Bolivya
<b>Hareket eden Buz</b>	Buzun kendisi ana kayayı aşındırmasa da taşıdığı sediman yapabilir. Buz tabakaları veya buzullar hareket ettikçe, ana kaya buzlanma yönünde aşınır, çizik izleri veya çizgiler kesilir. Buzun taşıdığı moloz aynı zamanda öğütülür		Buzul hareketinin çizdiği ana kaya. Ölçek üzerindeki kişi, Gorner Buzulu, Zermatt, İsviçre

Ayrışma ve erozyon birlikte topoğrafyayı şekillendirir. Kayaçların ayrışma ve erozyona karşı direnci, minerallerin yeryüzeyinde kimyasal olarak ne kadar kararlı olduğuna ve kaya taneciklerinin nasıl birbirine bağlı olduğuna bağlıdır. Birbirine kenetlenen kristallerden ve iyi çimentolanmış tanelerden oluşan kayaçlar erozyona direnme eğilimindedir ve daha yüksek kara, kıyı kayalıkları ve burunları oluştururken, daha az dirençli kayaçlar vadiler ve koylar oluşturur. Dirençli kayaçların eğim açısı ve diğer jeolojik özellikler genellikle topoğrafyanın şeklini kontrol ederek çeşitli yeryüzü şekilleri ve kıyı özellikleri üretir (Tablo 4.12).

**Tablo 4.12.** Dayanıklı kaya katmanlarının oluşturduğu yer şekilleri

Arazi Şekli	Açıklama	Çizim	Görüntü	Lokasyon
<b>Plato</b>	Platoların tepeleri düz ve kenarları daha diktir. Dirençli kayalar yatay veya yataya yakın olduğunda oluşurlar (platolar, farklı kayalar üzerinde erozyon yüzeyleri olarak da gelişebilir)	dayanıklı tabaka, Örneğin. Kumtaşı veya kireçtaşı  dayanaksız tabaka kil yada şeyl gibi		Table Mountain platosu, Cape Town, Güney Afrika
<b>Kuesta</b>	Kuesta'nın bir yönde daha dik bir eğimi ve diğer yönde daha az bir eğimi vardır. Dirençli kayaların az bir eğime sahip olduğu zaman oluşurlar (eğim)	dik yamaç eğimi  az eğimli yamaç		Victoria Adası feribotu, Vancouver, Kanada'dan görülen Kuesta
<b>Sırt</b>	Sırtların iki yönde dik yamaçları vardır ve dirençli kayalar çok eğimli bir şekilde daldığında veya düşey olduğunda oluşur.	 		Sırt, Mount Rundle, Banff yakını, Alberta, Kanada
<b>Fay şevi</b>	Fayın bir tarafındaki kayalar diğer taraftakine göre daha dayanıklı olduğunda, genellikle bir fay şev oluşur.	dayanıklı kayaç dayanaksız kayaç  Fay düzlemi Fay yüzeyi		Abert Rim fay şevi, Oregon - ABD'nin en yükseklerinden biri
<b>Burun ve koy</b>	Bazı kıyı kayalıkları diğerlerinden daha dayanıklı olduğunda, burunlar ve koylar oluşur.	daha dayanıklı kayalar burun oluşturur  daha az dirençli kayaların erozyonuyla koy oluşur		Burunlar arasında bir koy, Cabo de la Vela, Kolombiya

**Tablo 4.12.** Dayanıklı kaya katmanlarının oluşturduğu yer şekilleri, devam




Arazi Şekli	Açıklama	Çizim	Görüntü	Lokasyon
<b>Kıyı uçurumu</b>	Dirençli kayaların yatay veya denizin ters yönünde eğimli (eğimli) olduğu yerlerde, genellikle kemerler ve yığınlar gibi özelliklerle normalde dik uçurumlar oluşur.			Dik kayalıklar ve bir kemer, Ada Kemer, Büyük Okyanus Yolu, Victoria, Avustralya
<b>Kıyı yamacı</b>	Dirençli kayaların olmadığı veya kaya katmanlarının denize doğru eğimli (eğimli) olduğu yerlerde, genellikle az eğimli kıyı yamaçları gelişir.			Kayan Sahil kayalıkları, Shippards Chine, Isle of Wight, İngiltere

Fırtına gibi yüksek enerji koşullarında erozyon çok aktiftir. Sedimanlar yerçekimi, hareket eden su, rüzgar veya buzla aşındıktan sonra taşınırlar; sedimanlar taşınma sırasında bir çok kez çökmekte ve aşınmaktadır. Kalıcı birikimin çoğu daha sakin, düşük enerji koşullarında gerçekleşir. Bazı topoğrafya özellikleri, Tablo 4.13'te olduğu gibi, altındaki kayaların özelliklerinden daha çok erozyon ve çökelmeye bağlıdır.

**Tablo 4.13.** Esas olarak erozyon ve çökelme ile oluşan topoğrafya özellikleri

	İşlev	Tanımlama	Görüntü	Lokasyon
<b>Erozyon</b>	Hareketli su	Akan su, yüksek vadilerin dibindeki ana kayayı aşındırarak vadileri daha derin hale getirir. Malzeme yanlardan kayarken genellikle V şeklinde olurlar		V-şekilli akarsu vadisi, Goriot, Pakistan
	Hareketli buz	Yüksek yerlerdeki vadilerden aşağı akan buzullar vadilerin hem kenarlarını hem de tabanını aşındırarak U şeklinde vadiler oluşturur.		Orcières yakınlarındaki U şeklindeki Prapic buzul vadisi, Hautes-Alpes, Fransa

**Tablo 4.13.** Esas olarak erozyon ve çökeltme ile oluşan topoğrafya özellikleri devam

	Süreç	Tanımlama	Görüntü	Kaynak
Depolanma	taşkın ovalarında su ile.	Nehirler sular altında kaldığında, su her iki taraftaki taşkın ovalarından akarak çamur ve silt katmanlarını biriktirir. Çamur katmanları, nehir kanalları boyunca kıvrımlı geniş düz taşkın ovalarına dönüşür.		Namibya'daki Zambezi taşkın yatağının havadan görülen kıvrımlı kanalları; sağ alt uçak pisti
	Deniz ve göllerde su ile	Göllere ve durgun denizlere sediman taşıyan nehirler, sedimanları biriktirir, genellikle yelpaze şeklinde göllerde ve denizlerde su ile deltalar oluşturur		Silvaplana deltası, İsviçre'nin Silvaplana Gölü'ne doğru oluşuyor
	Buzun erimesiyle	Eriyen buz, buzulların önlerinde ve yanlarında ve eriyen buz tabakalarının olduğu yerlerde (till) bloklar ve kil karışımlarını biriktirir. Hamak şekilli sedimanlara moren denir.		Arka plandaki Isunnguata Sermia buzulu, ön kesimde moren bırakmıştır, Kangerlussuaq, Grönland

Günümüzde insanlar, madencilik, taş ocaklığı, inşaat ve tarım yoluyla her yıl dünyanın tüm nehirlerinin bir araya getirdiğinden daha fazla sediman taşıyabilir. Buna rağmen, çoğu topoğrafyanın şekillenmesi doğal olarak meydana gelir ve bu her zaman böyle olacaktır.



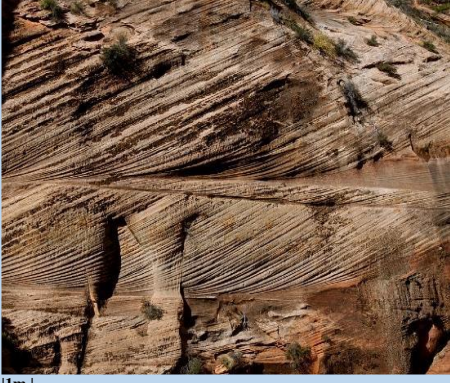


#### 4.1.2.2 Sedimanter süreçler

Ayrışma ve erozyon, taşınma sırasında parçalanan sediman üretir. Kayaç parçaları yuvarlanır. Daha az duraylı mineraller, genellikle kil minerallerine dönüşürken, kuvars gibi daha duraylı mineraller ufaltılır. Daha sakin koşullar altında kaya parçaları, kuvars, kil ve diğer mineraller birikir ve sedimanlar yığılır. Kalsiyum karbonat minerallerinden oluşan kireç kumları ve çamurları genellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde ılık sığ denizlerde birikir ve daha sonra kireçtaşına dönüşebilir.



Sedimanlar çökeldikçe bir dizi sedimanter yapı oluşturur ve bu da Tablo 4.14'te gösterildiği gibi nasıl depolandıklarına dair kanıtlar sunar.



**Tablo 4.14.** Önemli sedimanter yapılar

Sedimanter yapı	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
<b>Tabakalanma</b>	sedimanlar genellikle sabit bir şekilde çökmez, ancak çoğu zaman her katman, daha sessiz zamanlar ve hatta arada erozyon ile hızlı bir şekilde çökler. Orta ve iri taneli sedimanlardaki katmanlara <b>Tabaka</b> adı verilir; kayalar tabakalıdır		Tabakalanmış kumtaşları ve silttaşları, Quebrada das Conchas, Salta, Arjantin
<b>Laminasyon</b>	Çamurlar da genellikle katmanlar halinde çökler, ancak bunlar <b>laminasyon</b> adı verilen çok daha ince katmanlardır.		Laminalı çamurtaşı, Hesselberg, Almanya; Alt Jura
<b>Çapraz tabakalanma</b>	Kum, kum tepelerinde depolandığında çapraz tabaka oluşur. Kum, kumulun bir tarafında yukarı taşınır ve aşağı akıntıya doğru eğimli bir dizi katman olarak önden aşağıya doğru akar. Suda oluşan kum tepeleri, genellikle 1 metreden daha az kalınlıkta küçük ölçekli çapraz yataklar üretirken, rüzgarlar birkaç metre kalınlığında olabilen çapraz tabakalanma oluşturur		Büyük ölçekli (rüzgarla oluşan) çapraz tabakalı kumtaşı, Angels Landing Trail, Zion Ulusal Parkı, Utah, ABD; rüzgar sağdan esmiştir
<b>Asimetrik rıplı mark</b>	Çapraz tabaka oluşturanlardan daha yavaş olan kum üzerindeki su akıntıları bunun yerine asimetrik rıplı marklar oluşturur. Su sığ taraftan akar ve rıplıların daha dik tarafında kum biriktirir. Suda oluşan rıplı marklar, loblar veya düz çizgiler halinde olabilir, ancak rüzgarla oluşan asimetrik rıplı marklar genellikle düzdür		Asimetrik rıplı marklı Kambriyen kumtaşı, Wiśniówka Duża, Polonya; su akış yönü tabakalanma düzleminin yukarisından aşağıya doğru
<b>Simetrik rıplı marklar</b>	Sığ suda dalgalarla simetrik rıplı marklar oluşur. Rıplı marklar her iki tarafta da eşit eğime sahiptir ve genellikle düz paralel çizgiler halinde oluşur. Rıplı markları oluşturan dalgaların sırtları onlara paraleldir ve genellikle kıyıya da paraleldir.		Simetrik rıplı marklı ince kumtaşı, Sierras Bayas, Olavarria, Arjantin. Dalga sırtları sol üstten sağ alta hareket etmiştir

**Tablo 4.14.** Önemli sedimanter yapılar, devam

Sedimanter yapı	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
<b>Dereceli tabakalanma</b>	Karışık boyutlarda çöktürülen taşıyan bir akıntı yavaşladığında, en büyük parçacıklar önce biriktirilir ve daha sonra daha ince taneler üstte çöktürülür, altta kaba dan üstte ince olana doğru değişen tek bir sediman tabakası oluşturur; dereceli tabakalanma, bir çöktürme istifinin devrilerle ters dönmediğini göstermek için kullanılabilir.		Dereceli tabakalanma - Katalonya, İspanya'da Besalú yakınlarındaki bir bahçe duvarında Eosen kum
<b>Kuruma çatlakları (Çamur çatlakları)</b>	Çamur kurduğunda çokgen şekillere ayrılır; çatlaklar daha sonra kumla dolarsa genellikle korunurlar. Bu kuruma çatlakları, çamurun kurumuş olması gerektiğini, dolayısıyla derin deniz çamuru olamayacağını göstermektedir.		Çamur taşındaki bir dinazor ayak izi etrafında kuruma çatlakları, Loulle, Franche-Compte, Fransa

Sedimanlar çökmekte olan bölgelerde depolanırsa, kalın sedimanter istifler haline gelebilir. Gömüldükten sonra, ince sedimanlar sıkıştırılarak ve daha kaba sedimanlar sıkıştırılarak ve çimentolanarak sedimanter kayalara dönüştürülür.

Çok daha sonra, levha tektoniği hareketi sedimanter kayaç istiflerini yüzeye yükseltebilir. Yükselen sedimanter kayaçlar aşındıkça, sediman tekrar sedimanter döngünün bir parçası haline gelir. Sedimanter döngü, kaya döngüsünün bir parçasıdır.

### 4.1.2.3 Magmatik süreçler

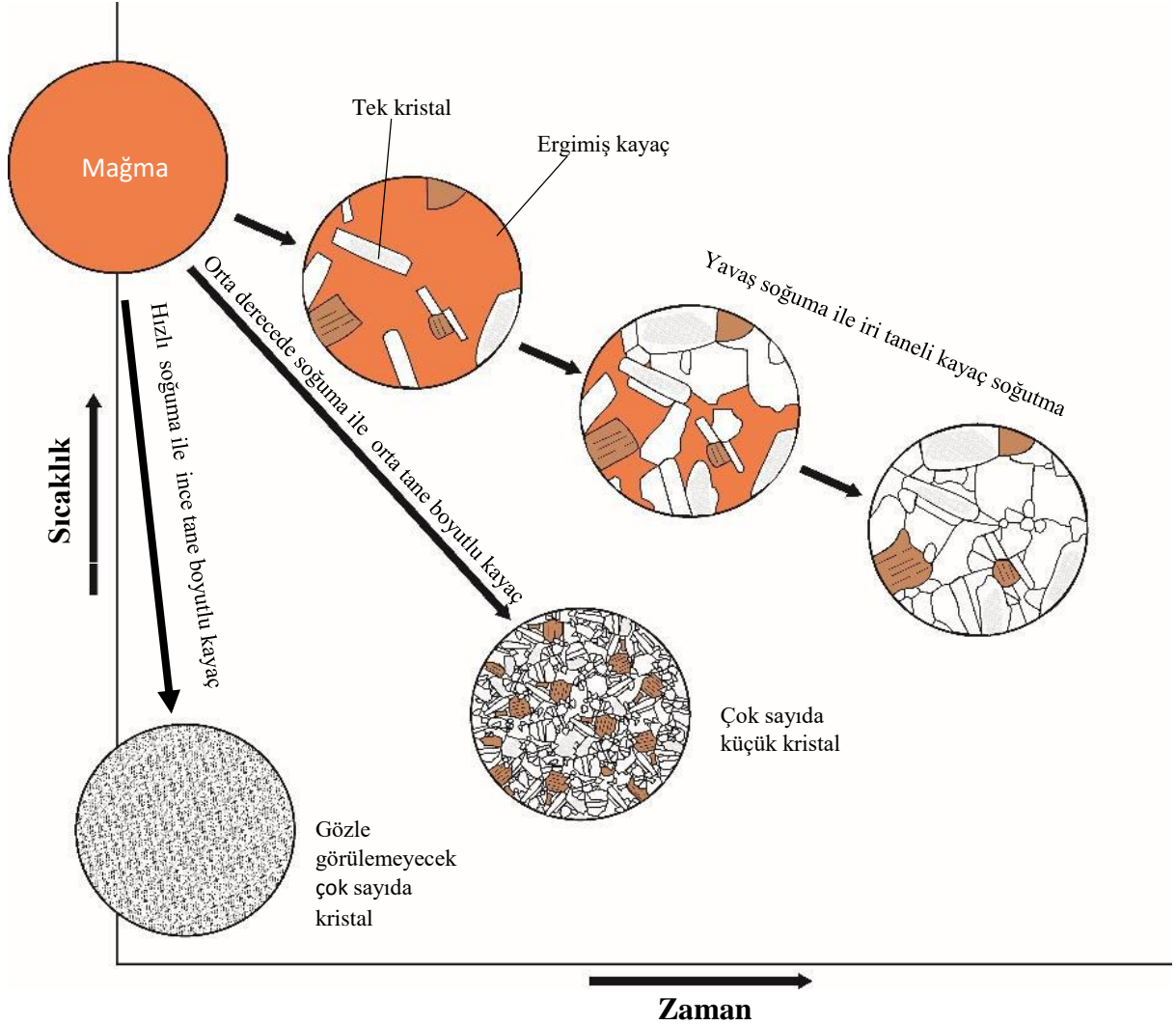
Kayaçlar yeterince ısındığında ergirler. Kayaçlar, genellikle bir mineral karışımı olduklarından, genellikle tamamen erimezler, ancak yalnızca kısmen ergirler, en düşük ergime noktasına sahip mineraller önce erir. **Kısmi ergime** ile üretilen magma, orijinal kayaçtan farklı bir kimyasal bileşime sahiptir, çünkü yüksek ergime noktasına sahip mineraller ise ergimedenden kalır. Kısmi ergime süreçleri, farklı bileşimlere sahip bir dizi farklı magma üretir.

Demir ve magnezyum açısından zengin ergiyikler, en yüksek erime noktalarına sahip minerallerden oluşur ve bu nedenle, genellikle 1000°C'nin çok üzerindeki yüksek sıcaklıklarda kristalleşir. Bununla birlikte, silis açısından zengin ergiyikler daha düşük ergime noktalı minerallere sahiptir ve bu nedenle daha düşük sıcaklıklarda, genellikle 1000°C'nin altında kristalleşir. Bu, ergiyiklerin ne kadar akıcı olduğunu (viskozitelerini) ve meydana gelen magmatik süreçleri etkiler. Ergimiş magma yeraltının derinliklerinde oluşur ve çevredeki kayadan daha sıcak ve daha az yoğun olduğu için yükselir.

Kayaçların ergidiği sıcaklık, yalnızca minerallerin ergime noktalarına değil, aynı zamanda mevcut su miktarına ve üzerlerindeki kayaçların basıncına da bağlıdır. Kayaçlar, "ıslak" olduklarında ve basınç azaldığında daha düşük sıcaklıklarda ergir. Magmatik süreçler hem okyanusal hem de kıtasal alanlarda aktiftir, ancak magma, basınç, su içeriği ve diğer faktörler farklılıklar gösterir ve bu nedenle üretilen magmatik ürünler de farklılık gösterir.

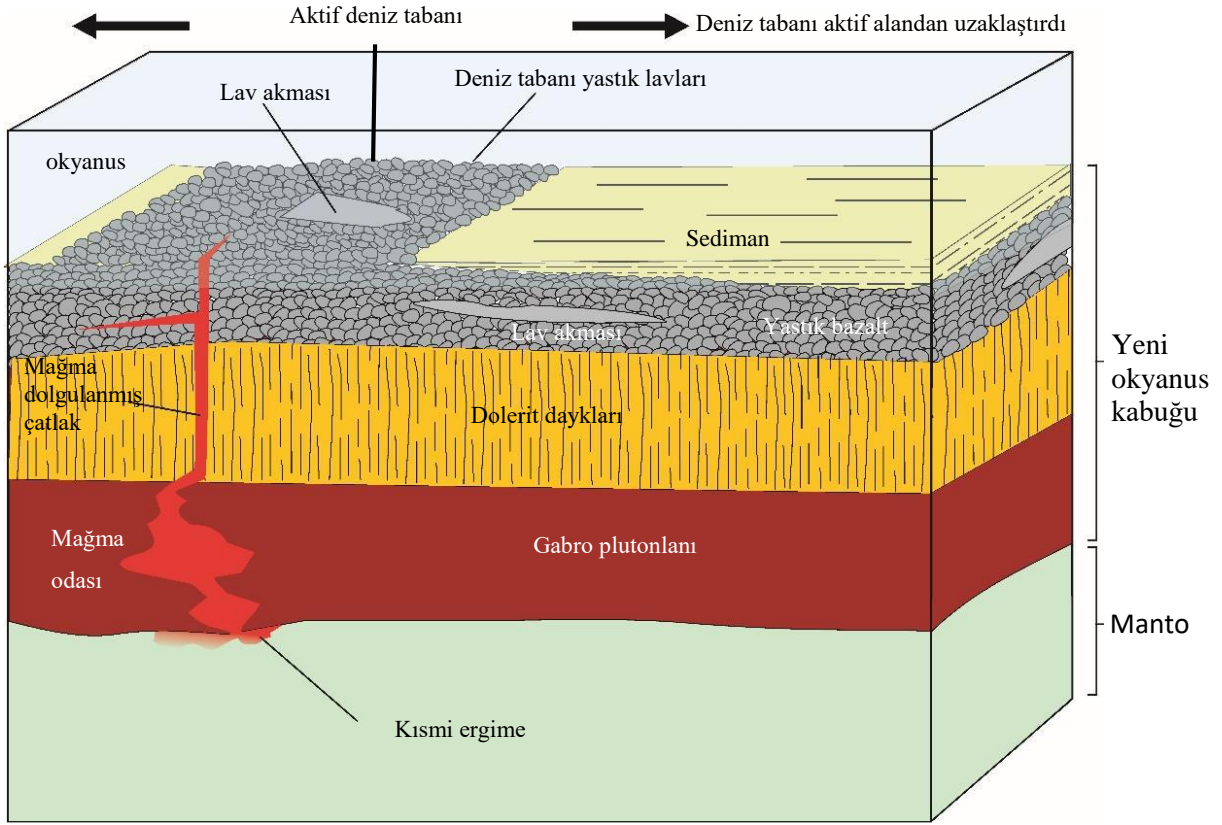
Yükselen magmalar yeraltının derinliklerinde kalabilir, soğuyabilir ve **magma odalarında** kristalleşebilir. Magmanın soğuması ve soğuyan ergiyikte kristallerin büyümesi için bolca zamanı vardır. Sonuç, iri taneli bir magmatik kayadır. Magma daha yükseklere ulaşırsa, daha çok soğur ve böylece daha hızlı kristalleşerek orta taneli kayaya dönüşür. Doğrudan yüzeye çıkarsa, volkanik aktivite ile püskürür. Bu şekilde oluşan lavlar çok hızlı soğur ve ince taneli magmatik kayalara dönüşür (Şekil 4.5).

**Şekil 4.5.** Magmatik kayaların soğuması ve kristalleşmesi



Tektonik levhaların ayrıldığı okyanusların altında, altındaki katı manto çok sıcaktır ve bu nedenle çok yavaş yukarı doğru akar. Yukarı doğru akarken, basınç azalır ve bu nedenle demir / magnezyum açısından çok zengin olan manto, demir / magnezyum bakımından hala zengin olan magmalara kısmen ergir. Bunlar yükselir ve bazıları, yeni oluşan okyanus kabuğunun tabanında iri taneli gabro plütonları oluşturmak için magma odalarında yavaş yavaş soğur. Demir / magnezyum açısından zengin olan bu magmalar çok akıcıdır (düşük viskozite) ve bu nedenle bazıları kırıklar boyunca yükselmeye devam eder. Bunlar, daha hızlı soğur ve orta taneli dolerit dayklarını oluşturur. Diğer magmalar okyanus tabanına kadar yükselir ve lav olarak dışarı akarlar; genellikle yastık şeklinde (yastık lav). Bu, genellikle, tabanında iri gabro, üstte orta taneli dikey dolerit örtüsü ve yüzeyde ince taneli yastık bazalt tabakaları bulunan demir / magnezyum açısından zengin magmatik kayacıklı yeni okyanusal kabuğu üretir (Şekil 4.6).

Şekil 4.6. Okyanuslardaki magmatik kütleler

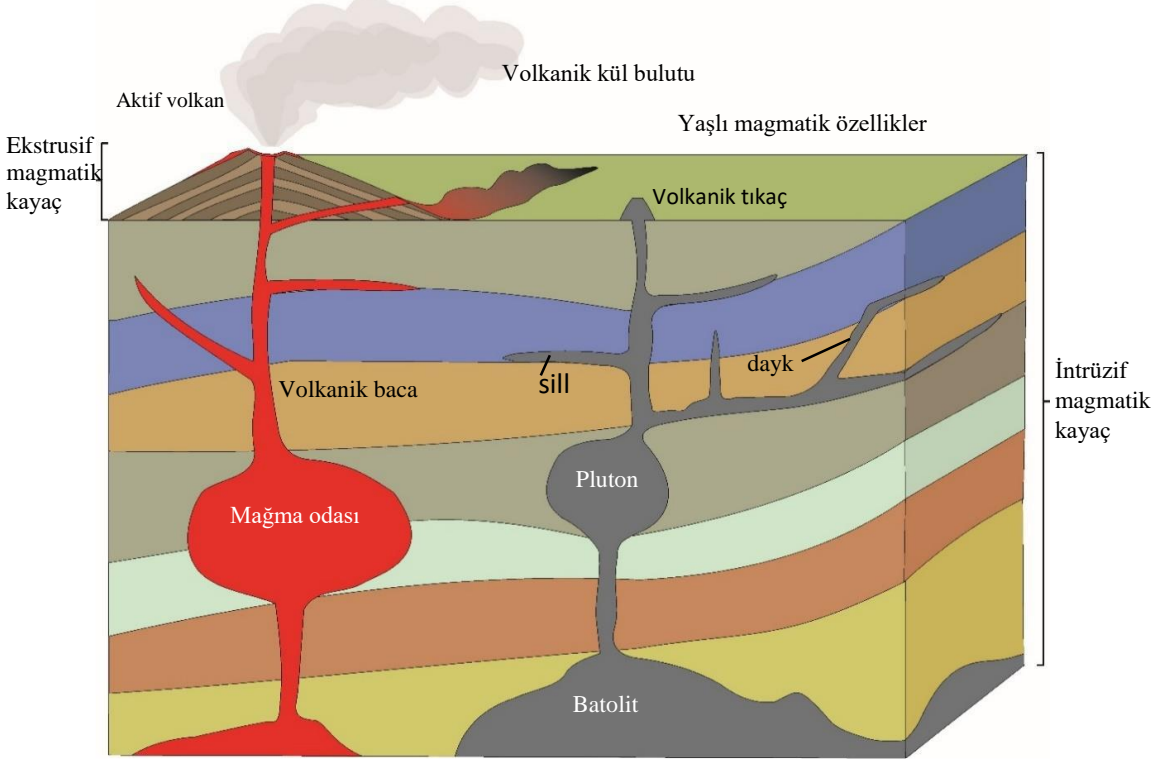


Kıtaların altında, tektonik plakaların dalma-batma bölgelerinde kayalar ısınır. Kayaçlardaki su ergime noktasını düşürerek kısmi ergimelerine neden olur. Oluşan magmalar, hangi kayaçların eridiğine bağlıdır, bundan dolayı çok sayıda magma kimyasal bileşimi mümkündür. Bazı ergiyikler demir / magnezyum açısından zengindir, bazıları demir / magnezyum ve silikon açısından zengin türler arasında orta düzeydedir; en yaygın magmalar silikon bakımından zengindir.



Silika bakımından zengin magmalar çok viskozdur (çok akıcı değildir) ve bu nedenle çoğunlukla yüzeye ulaşmazlar, ancak yeraltındaki magma odalarında iri taneli granitler olarak yavaş yavaş kristalleşirler. Viskoz olarak yüzeye ulaşırlarsa, çoğunlukla patlayarak püskürtülürler ve yaygın volkanik kül üretirler. Ortaç magmalar da patlayıcı bir şekilde püskürtülürler, ancak lavlar gibi yanardağlardan lav şeklinde akarlar soğuduklarında ince taneli andezitler oluşur. Demir / magnezyum yönünden zengin herhangi bir magma genellikle bazalt olarak püskürtülür. Volkanları besleyici magma odaları ile birbirine bağlayan tüplere **volkanik bacalar** denir ve bunlar bazen erozyondan sonra yüzeyde **volkanik tıkaçlar** olarak açığa çıkar.

Derin magma odaları ve yüzey volkanları arasında, magmalar çevredeki kayalara enjekte edilebilir. Kayaç katmanlarını keserlerse **dayklar**; katmanları takip ederlerse **siller** oluşur. Kristalize olmuş yeraltı magma odaları genellikle tümsek şeklindedir; küçükse **plüton**, büyükse **batolit** olarak adlandırılır (Şekil 4.7). Magma çevresindeki ana kayaya sokulum yaptığı için batolitler, plütonlar, dayklar ve siller **intruzif magmatik kayaçlar** olarak gruplandırılır. Yüzeydekiler, yüzeye püskürtüldükleri için **ekstruzif magmatik kayalar** olarak adlandırılır. Bu süreçlerin ürettiği farklı özellikler Tablo 4.15'te gösterilmektedir.




Şekil 4.7. Kıtalaradaki magmatik kütleler



Tablo 4.15. Önemli magmatik özellikler

Mağmatik özellikler	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Güncel yastık lav</b>	Okyanus tabanında olduğu gibi sıvı bazaltlar suya püskürtüldüğünde, küçük diller şeklinde magma akar ve dış kısımlar katılaşır; Esnek katı, yastık benzeri şekillerde lavla doldurulan bir çanta gibi davranır		Batı Pasifik Okyanusu'ndaki Galapagos Rift Seferi sırasında fotoğraflanan okyanus tabanındaki modern yastık lavlar, 2002
<b>Eski Yastık lav</b>	Eski yastıklar ikiye bölündüğünde, kenarların daha ince taneli bazaltları görülebilir. Daha sonra yastıklar oluştuğunda önceki yastıklar arasına girdiğinden, şekilleri bir istifin dönüp dönmediğini anlamak için kullanılabilir.		Ters çevrilmiş Ordovisiyen yastık bazaltlar Crozon, Brittany, Fransa

**Tablo 4.15.** Önemli magmatik özellikler, devam

Mağmatik özellikler	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
<b>Sill</b>	Sedimanter veya volkanik tabakalar (yatak düzlemleri) boyunca sokulan magmalar soğur ve kristalleşerek siller oluşturur		Kilt kaya silli, Skye, İngiltere; üstteki katmanlar aşınmış
<b>Dayk</b>	Dayklar, magmaların kayalardaki çatlakları doldurduğu da ve ardından soğuyup kristalleştiği nde oluşur.		Koyu renkli Prekambriyen dolerit daykları (1100Ma), açık renkli 1800Ma kayalarını kesiyor, Koster Adaları, İsveç
<b>Plüton / Batolit</b>	Batolitler büyük magma odaları, plütonlar daha küçük magma odalarıdır. Magma yavaş yavaş soğuduğunda, granit veya gabro gibi iri taneli magmatik kayalar oluştu. Genellikle çevredeki kayayı pişirerek bir metamorfik hale oluştururlar.		Namibya'daki 30 km genişliğindeki Brandberg Masifi granit sokulumunun uydu görüntüsü, çevredeki kayaları koyu renkli bir metamorfik hale ile çevrelenmiş.

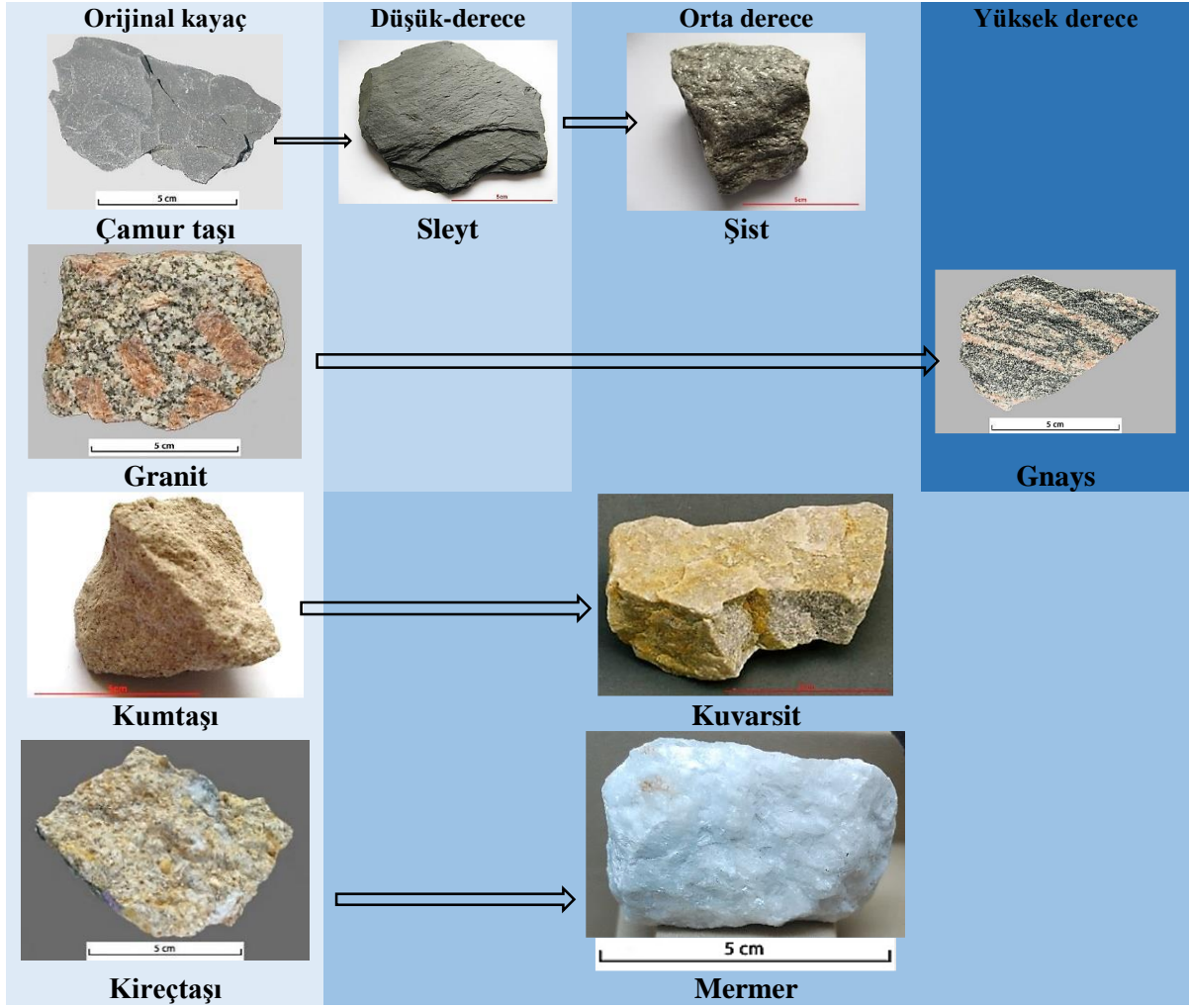
Magmatik süreçler, kayaç döngüsünün Dünya'dan gelen enerjiyle gerçekleşen kısmı olan iç kaya döngüsünün bir parçasını oluşturur. Magmatik kayaç döngüsü süreçlerinin nasıl işlediğini uzun yıllardır biliyoruz, ancak bunların altında yatan nedenleri, Tablo 4.21'de olduğu gibi, levha tektoniği teorisi aracılığıyla ancak daha yakın zamanda anlaşılabilmiştir.

#### 4.1.2.4 Metamorfik süreçler

Dağ oluşumu aşamasında tektonik plakalar çarpıştığında, yeraltındaki sıcaklık ve basınçta büyük artışlarla kayalar metamorfize edilir; bu sürece **bölgesel metamorfizma** denir. Ayrıca kayalar yakındaki sıcak magmalar tarafından pişirme yoluyla da metamorfize edilebilir; Buna da **termal metamorfizma** denir. Her iki durumda da, orijinal sedimanter, magmatik veya diğer metamorfik kayalar yeniden kristalleşek katı halde metamorfik kayalara dönüşürler. Bununla birlikte, kayalar tamamen eriyecek kadar ısınırsa, değişim, metamorfizmanın ötesine geçerek magmatik bir süreç haline gelir.

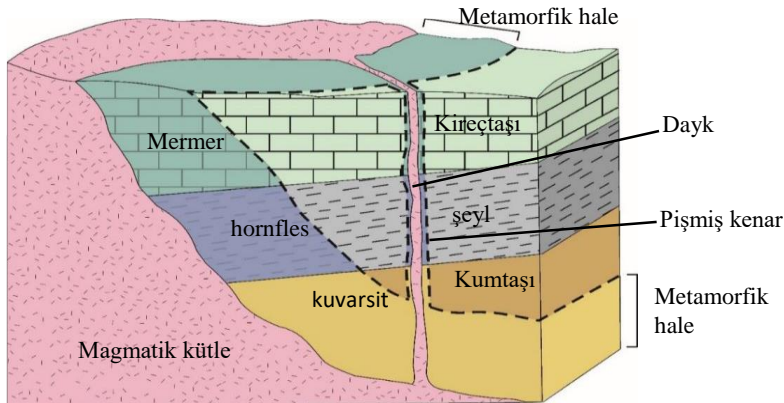
Levha çarpışmasının neden olduğu bölgesel metamorfizma, Tablo 4.16'da gösterildiği gibi, mermerler ve meta-kuvarsitlerle birlikte, düşük dereceli sleytten yüksek dereceli gnayslara kadar değişen kayalar üretir. Bu dirençli kayalar genellikle geçirimsizdir ve daha yüksek araziler ve oldukça engebeli topoğrafyalar oluşturma eğilimindedir.

**Tablo 4.16.** Bölgesel metamorfizmanın oluşturduğu metamorfik kayalar



Magmaların neden olduğu termal metamorfizma miktarı, magma kütesinin boyutuna bağlıdır. Küçük kütleler, çevreleyen kayayı pişirerek dar **pişmiş kenarlar** oluşturur. Daha büyük kütleler çok daha fazla ısı enerjisi içerir ve **metamorfik haleler** adı verilen geniş pişmiş bölgeler üretir; burada ince taneli kayalar hornfelse, kumtaşları metakuvarsite ve kireçtaşları mermere dönüşür (Şekil 4.8 ve Tablo 4.16).

**Şekil 4.8.** Termal metamorfik etkiler



Kayaç döngüsü metamorfizma sürecinin nedenleri günümüzde levha tektoniği teorisi ile açıklanabilmektedir (Tablo 4.21).

#### 4.1.2.5 Deformasyon süreçleri

Levhalar dağ oluşumu sırasında çarpıştığında, yalnızca kayalar metamorfize edilmez, aynı zamanda farklı şekillerde deforme olabilirler. Yaklaşık 10 km'nin altındaki derinliklerde, basınçlar ve sıcaklıklar o kadar yoğundur ki çoğu kaya bükülür ve **kıvrımlar** oluşturmak üzere akmaya başlar. Çok daha yüksek yanal basınçların olduğu seviyelerde, kayaçlar kıvrılmak yerine kırılma eğilimindedir. Yüze yakın yerlerde, kayalar kırılma davranış gösterir ve kırılmaya uğrar, daha derinlerde ise plastik olarak davranır, kıvrılır ve akar.

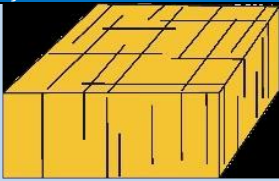

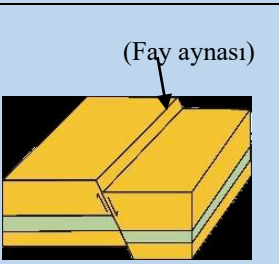

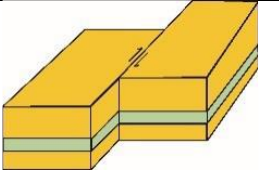

Kayalar ayrıca levhalar birbirinden uzaklaştığında veya yan yana geçtiğinde deforme olur, ancak sıcaklıklar nispeten düşük olduğu için genellikle plastik davranmak yerine kırılırlar.

Kayalar kırıldığında her iki taraftaki kayaların hareketi yoksa **çatlak** oluşur. Ancak her iki taraftaki kayalar hareket ettirilirmişse, kayalar **faılanmıştır**. Pek çok çatlak, kayaların gerilimle çekilip ayrılmasından kaynaklanır. Gerilim etkisinde kayaçlar birbirinden ayrıldıkça, bir taraf diğerine göre aşağı kaydığında **normal faylar** oluşturur.

Kayaçlar yanal olarak birbirinin yanlarından geçtiği yerlerde, genellikle dikey yüzeylere sahip **doğrultu atımlı faylar** oluşur.

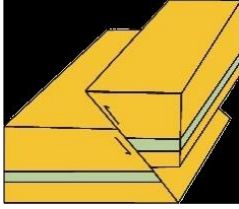

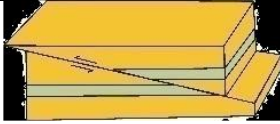

Kayaçların sıkıştırıldığı yerlerde, bir blok diğerinin üzerine itilir ve genellikle 45° civarında bir **fay düzlemine** sahip bir fay, **ters fay**, oluşur. Çok yoğun sıkıştırma altında, fay düzlemleri genellikle 10° civarında daha düşük açılara sahiptir ve bunlara **bindirme fayları** denir (Tablo 4.17).

**Tablo 4.17.** Gevrek kırılmanın neden olduğu kırıklar - eklemler ve faylar

Yapı	Stres	Açıklama	Çizim	Görüntü	Lokasyon
Çatlak setleri	Yatay gerilim	Kayanın içinden hiçbir göreceli hareket olmaksızın, genellikle dikey, bazen yatay veya diğer açılarda geçen paralel düzlemler kümesi			Ordovisiyen şeylinde çatlaklı silttaşı, Fort Plain, New York, ABD
Normal fay	Yatay gerilim	Gerilim altında, bir blok diğerine göre fay düzleminde aşağı kaymıştır - genellikle dik, 60° veya daha fazla			Normal Fay, Corinth Canal duvarı, Yunanistan
Doğrultu atımlı fay	Dikey kaymalı geçiş	Bloklar yanyana kaymışlardır - genellikle yaklaşık dikey bir fay düzleminde			Piqiang Fayı'nın uydu görüntüsü, Tian Shan Dağları, Çin





**Tablo 4.17.** Gevrek kırılmanın neden olduğu kırıklar - eklemler ve faylar, devam



Yapı	Stres	Açıklama	Çizim	Görüntü	Lokasyon
Ters fay	Yatay sıkıştırma	Sıkıştırma altında, bir blok diğerinin üzerine itilir - 45°'den büyük fay düzleminde			Kumtaşında ters fay, Oregon, ABD
Bindirme fay		Büyük sıkıştırma altında bir blok diğeri üzerine itilir -45°'den küçük, genellikle 10° civarında bir fay düzleminde			Sağ taraftaki blok, sol taraftaki blok üzerine bindirmiştir, Lilstock Bay, Somerset,UK

Sıkıştırıldıklarında plastik olarak davranan kayalar kıvrımlar oluşturur. Kıvrımlar, dağ ölçeğinden milimetre ölçeğine kadar çeşitli boyutlara sahip olabilir. Parlak bir yüzey üzerindeki bir bez üzerine elinizi koyarak ve kaydırarak da görebileceğiniz gibi kıvrımlar seri halinde meydana gelir. Bir dizi kıvrım göreceksiniz; yukarı kıvrımlar **antiklinal** olarak adlandırılır ve aşağı kıvrımlar **senklinal** olarak adlandırılır. Kıvrımların şekilleri kaya tipine ve sıkıştırma miktarına bağlıdır. Sıkılıkta, hafif **açık kıvrımlardan sıkı kıvrımlara** ve paralel kanatlı **izoklinal kıvrımlara** kadar değişir. Kıvrımlar köşeli veya yuvarlak olabilir. Kıvrımların bükülme kısmı **kıvrım eksen**i, yanlar **kıvrım kanatları**dır (Tablo 4.18).

**Tablo 4.18.** Kıvrım türleri

Kıvrım tipi	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
<b>Antiklinal</b>	Yukarı kıvrımlanmış - bu antiklinal, yuvarlak bir kıvrım sırtına sahip açık bir kıvrımdır		New Jersey, ABD, Nutley yakınlarındaki NJ Route 23 boyunca Prekambriyen gnaysında bir antiklinal - ölçek için kişi
<b>Senklinal</b>	Aşağı kıvrımlanmış - bu senklinal, oldukça köşeli bir kıvrım sırtına sahip açık bir kıvrımdır		Neojen Barstow Formasyonu kumtaşlarında bir senklinal, San Bernardino County, California, ABD

**Tablo 4.18.** Kıvrım türleri, devam

Kıvrım tipi	Açıklama	Görüntü	Lokasyon
<b>Açık kıvrım</b>	Yuvarlak sırtlarla birlikte, kanatlar arasında 45°'den fazla açıya sahip açık kıvrımlar		Avusturya, Glaserbachklamm Gorge'da kıvrımlanmış tabakalı kireçtaşı
<b>Sıkışık kıvrımlar</b>	Sıkışık kıvrımlar 45°'den küçük kanat açılara sahiptir.	Köşeli sırtlı sıkı kıvrımlar	Güney Girit'teki Ágios Pávlos yakınlarında sıkı kıvrımlar
		Yuvarlak sırtlı sıkı kıvrımlar	2.6 milyar yıllık Prekambriyen bantlı demir oluşumu, Soudan, Minnesota, ABD yakınlarında
<b>İzoklinal kıvrım</b>	Paralel kanatlı kıvrımlar		Fransa, Commana yakınlarındaki Monts d'Arrée'de küçük izoklinal kıvrım

Levha tektoniği teorisi, Tablo 4.21'de açıklandığı üzere, Dünya'ki deformasyonları gerçekleştiren birçok nedeni açıklayabilmektedir.

### 4.1.3 Dünyanın Yapısı ve kanıt

Dünya'nın dış kısmının kıtalar üzerindeki kayaçlarının neye benzediğini biliyoruz çünkü deniz kayalıklarında ve dağlık bölgelerde doğal kaya yüzleklerini, ayrıca yol ve demiryolu yarmalarında ve taş ocaklarında kayaçları görebiliyoruz. Maden ocakları aracılığıyla Dünya'nın derinliklerindeki kayaçların neye benzediğini öğreniyoruz ve ayrıca metrelerden kilometrelere kadar derinlikte sondaj kuyuları açıyoruz. Derin deniz sondaj programı sayesinde okyanus tabanı kayaçlarının neye benzediğini de biliyoruz. Ancak, sondajların derinliğinin altında Dünya'nın neye benzediğini bulmak için başka türden kanıtlar kullanmalıyız.

#### Kutu 4.5. Dünyadaki en derin sondaj kuyusu

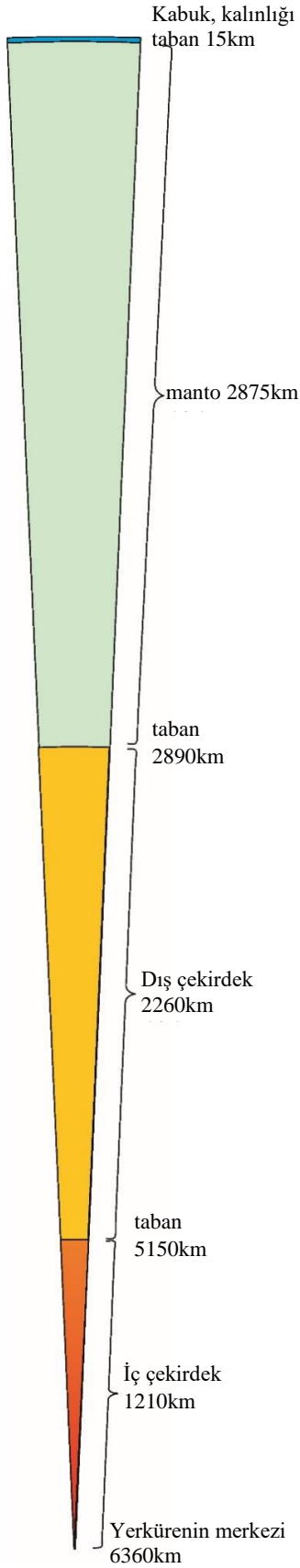


Dünyada şimdiye kadar açılan en derin sondaj kuyusu 12,3 km derinliğindeki Kola Super Derin Sondaj Kuyusu'dur. Bu kuyu, 20 yıldan fazla bir sürede Rusya'nın en kuzey-batısında açıldı ve 1992'de tamamlandı. Sondaj kuyusu, kıtasal kabuğun yaklaşık üçte birini delectek şekilde, çoğunlukla Prekambriyen granit ve gnays içinde açıldı. Sürprizlerden biri, sondaj kuyusunun tüm derinliklerindeki kayaçların hala suya doymuş olmasıydı.

#### 4.1.3.1 Kanıt

Dünya'nın yapısının kuyu derinliğinin altında nasıl olduğuna dair elimizdeki en iyi kanıt, depremlerden elde edilen sismik kanıtlardır. Ne zaman büyük bir deprem olsa, tüm Dünya titreşirken şok dalgaları da Dünya'nın içinden geçer. Şok dalgaları Dünya'nın içinden göle bir taş attıktan sonra, bir göl boyunca yayılan dalgacıklar gibi yayılırlar. Dalgaların hızı, içinden geçtikleri malzemeye bağlıdır ve bu, farklı kaya türleri arasındaki sınırların nerede olduğunu ve kayaların ne olduğunu bulmamıza yardımcı olur. Aşağıdaki bölümlerde anlatıldığı gibi, Dünya'nın katmanlarının oluşumuyla ilgili başka ipuçlarımız da var, ancak bize en fazla bilgiyi veren, Şekil 4.9'da gösterilen sismik dalgalardan gelen ipuçları.

Şekil 4.9. Yeryuvarının kesiti

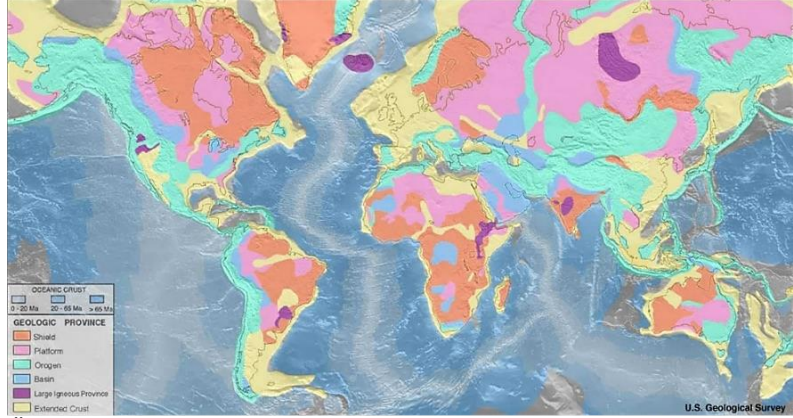


#### 4.1.3.2 Kabuk

Şekil 4.9, yer kabuğunun Dünya merkezine olan uzaklığıyla karşılaştırıldığında çok ince olduğunu göstermektedir. Kabuk kalınlığının iyi bir modeli, bir futbol topuna yapıştırılan posta puludur. İki tür kabuk vardır: kıtaların ve kıta sahanlıklarının altında bulunan kıtasal kabuk ve okyanusların altındaki okyanus kabuğu.

Şekil 4.10'daki jeolojik harita, kıtasal kabuğun okyanusal kabuktan çok daha karmaşık olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, kıtasal kabuğun genellikle okyanus kabuktan çok daha yaşlı olması ve bazı alanların kaya döngüsünün birkaç döngüsüne dahil olmasıdır. Şimdiye kadar Dünya'da bulunan en eski kayalar 4000 milyon yıldan daha yaşlıdır ve Avustralya'daki kıta kabuğunun bir parçasını oluşturur. Bu arada, okyanus kabuğunun en yaşlı kısımları nadiren 200 milyon yıldan daha yaşlıdır ve çok daha basit bir tarihe sahiptir.

#### Şekil 4.10. Dünya'nın kabuğunun jeolojisi



Üzerinde yaşadığımız kıtasal kabuğun kalınlığı 25 ila 70 km arasında değişmektedir. Tortul kayaçlar, tüm kabuğun hacminin yalnızca yaklaşık % 5'i olmasına rağmen, kıtasal kabuk yüzeyinin % 75'ini, yani Şekil 4.10'daki parlak renkli alanın yaklaşık dörtte üçünü kaplarlar. Tahminler, bu kıtasal tortul kayaçların yaklaşık % 79 çamurtaşı, %13 kumtaşı ve %8 kireçtaşı olduğunu göstermektedir. Kıtasal kabuğun hacminin çoğu granit gibi magmatik kayaçlardan ve gnays benzeri metamorfik kayaçlardan oluşur (Şekil 4.11). Tüm bu kayaçlar, içlerindeki bazı maddeler birkaç kez kaya döngüsünden geçmiş olsalar da, normal kaya döngüsü süreçleriyle oluşturulmuştur.

Okyanus kabuğunun yapısı ve kayaçlarına ilişkin kanıtları, sismik verileri, derin deniz sondajından elde edilen verileri ve bir levha çarpışmasının eski okyanus kabuğunu kıtaya zorladığı Kıbrıs gibi yerlerden gelen bilgileri kapsar. Bu kanıt, okyanus kabuğunun dört ana katmana sahip olduğunu göstermektedir. Üstte, okyanus sırtlarında bulunmayan, ancak sırtlardan uzaklaşarak gittikçe daha da kalınlaşan bir derin deniz sediman tabakası vardır. Sedimanların altında, genellikle yastık lav biçiminde olan ince taneli bir bazalt tabakası bulunur. Bazalt, çok sayıda dikey orta taneli dolerit dayklarından oluşan bir tabakanın üzerini örter. Bunun altında, okyanus kabuğunun tabanı ve mantonun tepesine ulaşılmadan önce kalın bir iri taneli gabro tabakası vardır (Tablo 4.19).

Şekil 4.11. Kıtasal kabuktaki en yaygın kayaçlar

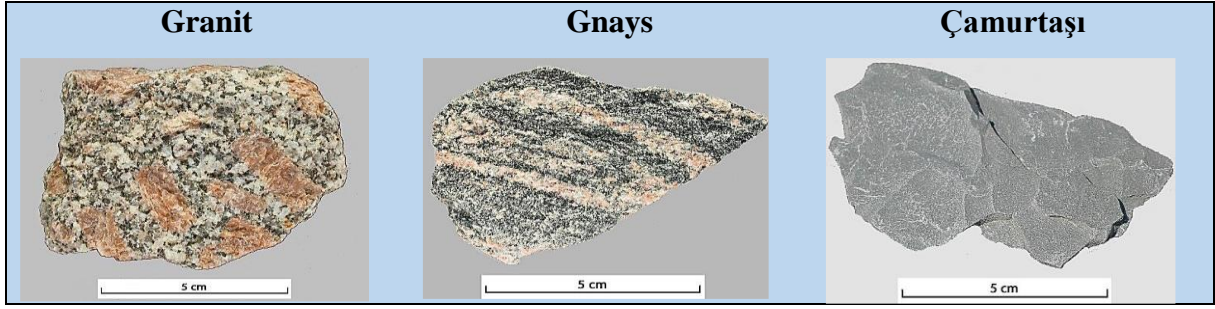
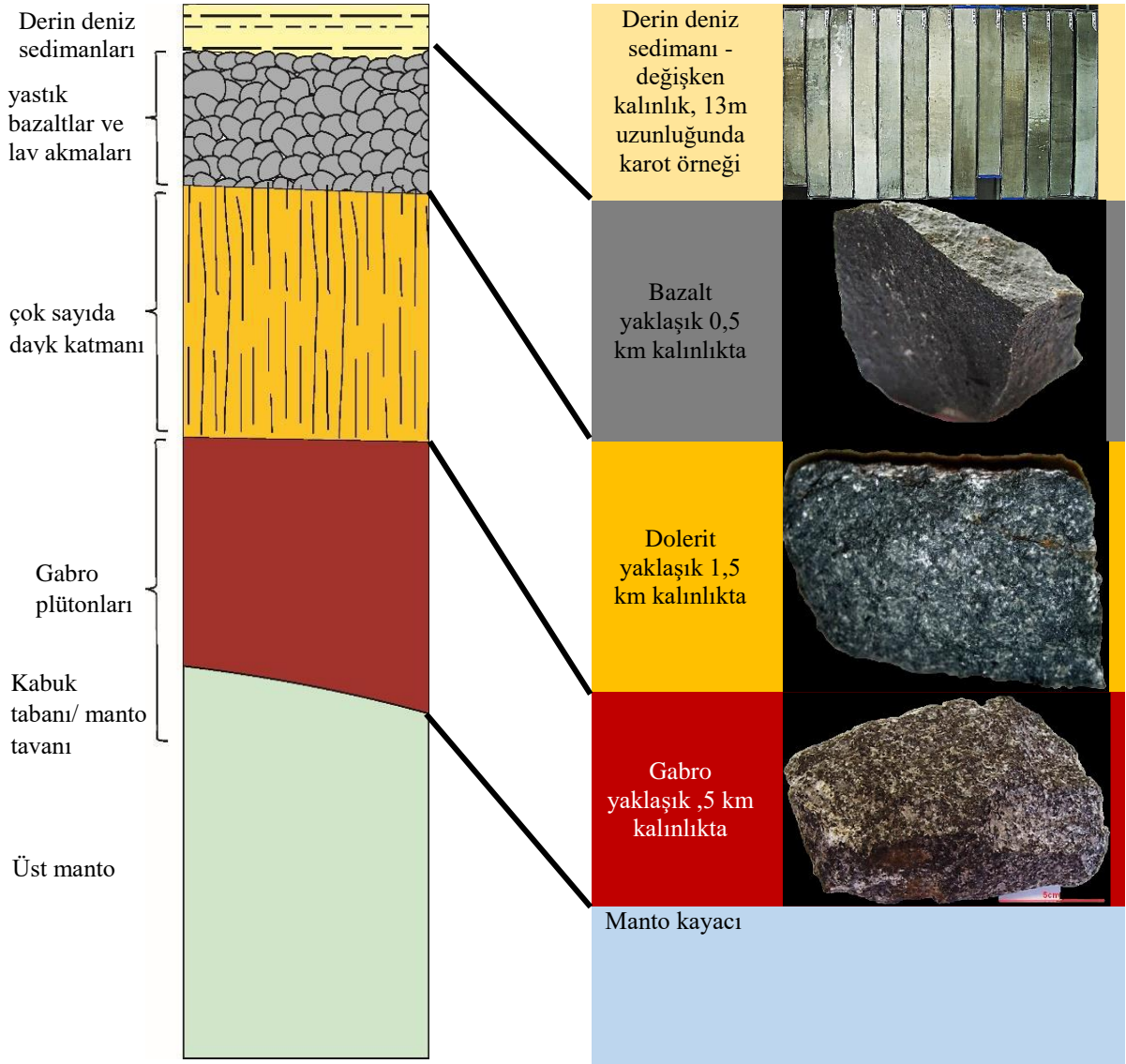


Table 4.19. Oceanic crustal rocks



Kanıtlar, diverjan plaka kenarlarında yeni okyanus kabuğunun nasıl oluştuğunu gösteriyor. Mantonun yerel kısmi ergimesinden kaynaklanan magma, okyanus sırtlarında yükselir. Buralarda, yüzeyin altında birikir ve katlaşılarak iri taneli gabro oluşturur. Mağma yüzeye dikey çatlaklardan yükselirse, okyanus tabanında genellikle karakteristik yastık lav şekilleri olacak şekilde püskürür ve hızlı bir şekilde ince taneli bazalt halinde katlaşır. Dikey çatlaklardaki magma ise daha yavaş katlaşır ve orta taneli dolerite dönüşür. Bir kırık her açıldığında, yeni bir tabaka oluşur ve giderek daha fazla dolerit daykları katmanı üretir.

**Kutu 4.6.** Su altında yastık lavların oluşumu

Bazalt lav su altında püskürtüldüğünde 'yastık şekilleri' oluşturur. Turuncu veya kırmızı-sıcak lav dilleri belirir ve bunların dış yüzeyleri su ile hızlı bir şekilde soğur ve katı, ancak esnek bir dış kabuk oluşturur. Daha fazla lav püskürdükçe, yeni oluşan kaya yastık şeklini alır. Daha sonra üstte sıkışan yastıklar, daha önce şekillendirilmiş yastıkların şekline uyumlu bir şekilde yerleşir. Bu süreç, sadece suda gerçekleştiği için kaya istiflerinde korunan eski yastıklar, su altında oluşmuş olmaları gerektiğini göstermektedir. Yastık lav oluşumunu filme almak çok tehlikeli olabilir çünkü çevredeki denizde görünmez kaynar derecede sıcak su cepleri vardır.



Su altında lav dili



Hawai yakınında deniz tabanında yastıklar



Eski yastık lavları

Yeni oluşan üç katmanlı okyanus kabuğu, levha hareketi ile yavaş yavaş diverjan (uzaklaşan, ıraksak) levha kenarından uzaklaştırılır. İnce taneli çamur (genellikle mikroskobik planktonun kireç bakımından zengin kabukları) yukarıdaki okyanustan yağar ve yastıkların üzerinde depolanır. Levha ne kadar ileri giderse, okyanus kenarlarının yakınında tortu örtüsü o kadar kalın olur, bu tortu örtüsü 1 km veya daha fazla kalınlaşabilir.

Okyanus kenarlarında, okyanus kabuğu genellikle dalma yoluyla tekrar mantonun içine taşınır. Bu, okyanus kabuğunun neden genellikle 200 milyon yıldan daha yaşlı olmadığını ve neden okyanus kabuğunun ıraksak plaka kenarından ne kadar uzaklaşırsa, Şekil 4.10'da gösterildiği gibi o kadar yaşlandığını açıklar.

Okyanus kabuğunun ortalama yoğunluğu, deprem dalgalarının hızı ve kaya örneklerinin ölçümleriyle gösterildiği gibi, kıtasal kabuğun ortalama yoğunluğundan daha büyüktür. Manto, tüm kabuğun altında yer alır ve çok sayıda gözlem, mantonun tamamen katı olmasına rağmen, yüksek basınçlar ve sıcaklıklar altında derinlerde ve mevcut büyük miktarda zamanda (yaklaşık 1 cm/yıl hızla hareket ederek) çok yavaş akabildiğini göstermiştir. Dolayısıyla hem okyanus hem de kıtasal kabuk, alttaki akan katı manto tarafından desteklenir.

Okyanus kabuğunun kıta kabuğundan daha yoğun olması sebebiyle, daha düşük bir seviyeye batar. Bu, neredeyse tüm okyanus kabuğunun deniz seviyesinin çok altında olduğu, kıtasal kabuk yüzeyinin çoğunun ise deniz seviyesinin üzerinde olduğu anlamına gelir. Okyanus kabuğu da daha incedir ve ortalama kalınlığı 7 km civarındadır (Tablo 4.20).

**Tablo 4.20.** Yeryuvarı katmanlarının özellikleri

Katman		Ortalama derinlik, km		Ortalama kalınlık km		Durum		Ortalama bağıl yoğunluk*	
<b>Kıtasal kabuk</b>	Okyanusal kabuk	35	7	35	7	katı	Katı	2.7	2.9
<b>Manto</b>		2890		2875		Katı		3.3 – 5.7	
<b>Dış Çekirdek</b>		2260		5150		Sıvı		9.9 – 12.2	
<b>İç çekirdek</b>		6360, yerin erkezi		1210		<b>Katı</b>		12.6 – 13.0	

\* Bağıl yoğunluk, bir malzemenin yoğunluğunun su yoğunluğuna oranıdır ve bu nedenle birim gerektirmez

### 4.1.3.3 Manto

Kabuk ve alttaki manto arasındaki sınır, 1909'daki deprem dalgası ölçümlerinden keşfedildi. Güncel sismik veriler, sadece kabuğun 'yüzmesini' değil, aynı zamanda Dünya'nın tektonik levhalarının hareketi de hesaba katıldığında jeolojik zaman boyunca katı mantonun çoğunun akabildiğini gösterir.

**Kutu 4.7. Manto neden yapılmıştır?**

1960'larda okyanus kabuğundan mantoyu delme girişimi başarısız oldu, bu nedenle manto kayalarının nasıl olabileceğine dair elimizdeki tek kanıt, ikincil kanıtlardır



Bazı volkanik patlamalar, altındaki mantodan koparıldığı düşünülen diğer kaya parçalarını içerir.



Bazı dağ oluşumu çarpışma bölgelerinde, manto kayaları, eski okyanus kabuğu kayaları üstte olacak şekilde kıtanın üzerine itilmiş gibi görünür.



Taşlı göktaşlarının, geçmişte parçalanmış küçük gezegenlerin mantolarından geldiği düşünülüyor.

Bu ve diğer kanıtlara dayanarak, mantonun peridotit ve benzeri kayalardan yapıldığı düşünülmektedir. Peridotit, esas olarak yeşil olivin ve koyu renkli piroksen minerallerinden oluşan çok yoğun bir kayadır.

#### 4.1.3.4 Çekirdek

Tüm Dünya'nın nispi yoğunluğu yaklaşık 5.5'tir, ancak Dünya'nın dış kısımlarının yoğunluğu bundan çok daha azdır; bu nedenle, Dünya çok daha yoğun bir çekirdeğe sahip olmalıdır. Çekirdeğin sınırı 1914'teki sismik çalışmalarla keşfedildi. Diğer sismik veriler, çekirdeğin iç kısmının katı iken çekirdeğin dış kısmının sıvı olduğunu (çünkü sismik makaslama dalgalarının geçmeyeceğini) gösterdi. Sıvı dış çekirdekteki akımların Dünya'nın manyetik alanını oluşturduğu düşünülmektedir.

**Kutu 4.8. Çekirdek neden yapılmıştır?**

Çekirdeğin sınırı Dünya yüzeyinin yaklaşık 3000 km altındadır, bu nedenle çekirdek kayalarını asla örnekleyemeyiz. Bu nedenle, çekirdeğin bileşiminin ne olduğunu bulmak için ikincil kanıtlara ihtiyacımız var.

Demir, çekirdek kayacı olmak için doğru yoğunluğa sahiptir ve uzayda yaygın olarak bulunan bir malzemedir. Pek çok göktaşı, biraz nikel içeren demir karışımından yapılmış demir göktaşlarıdır; bunların geçmişte parçalanmış küçük gezegenlerden geldiği düşünülüyor. Bu demir ve nikel karışımı, çekirdeğe benzer yoğunluk ve sismik özelliklere sahiptir. Yani çekirdeğin demir-nikel alaşımından oluştuğu düşünülüyor. Dış çekirdekte sıvı, merkezde katıdır. Son araştırmalar, çekirdeğin biraz silis içerebileceğini gösteriyor.



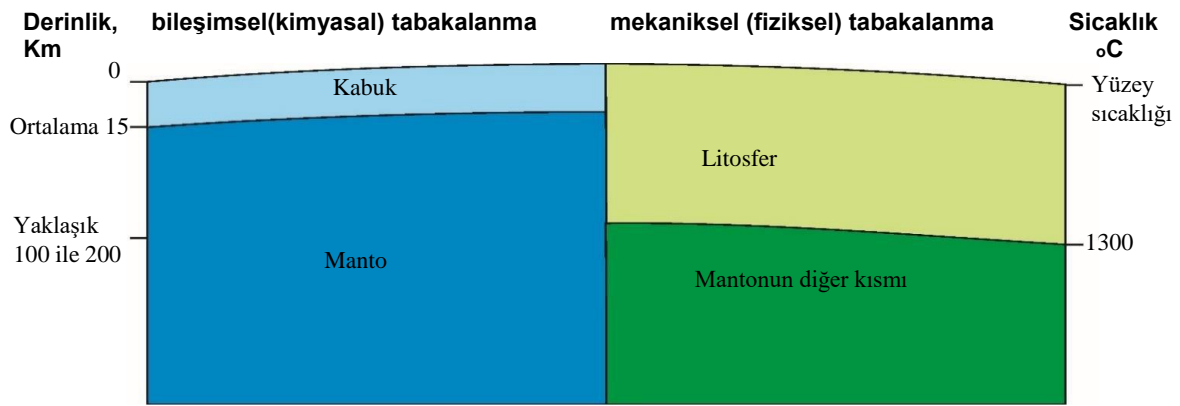
Sibirya'dan 30 cm boyutunda bir demir göktaşı - dış kısım atmosfere düşerken ergimiştir.

### 4.1.3.5 Litosfer

Kabuk-manto ve manto-çekirdek sınırları, kimyadaki değişikliklerle işaretlenmiştir; kabuk silis açısından zengindir ve bir miktar demir içerir, manto çok daha fazla demir içerir ve çekirdek neredeyse tamamen demirdir. Artık Dünya'da kimyasal değişikliklerle değil, mekanik değişikliklerle, kayaların davranış şeklindeki değişikliklerle belirlenmiş başka bir önemli sınır olduğunu biliyoruz.

Sınır, kaya sıcaklığının yaklaşık 1300°C'ye ulaştığı zon ile işaretlenen litosferin tabanıdır. Bu sıcaklık zonunun üzerindeki kayalar katı ve serttir, oysa bu zonun altındakiler katıdırlar ancak çok yavaş deforme olabilir ve akabilirler. Katı ve sert litosfer, kabuk ve mantonun en üst kısmını kapsar ve Dünya'nın levhalarını oluşturur. Bu levhalar, altındaki daha zayıf mantonun harekete izin vermesiyle, levha tektoniği süreçleriyle hareket ettirilir. Şekil 4.12, Dünya'nın dış kısmı olan kabuk, litosfer ve manto ile yapısını göstermektedir.

Şekil 4.12. Dünya'nın dış kısmı



Dünya'nın levhaları, altındaki katı olmasına rağmen yavaşça akabilen mantonun geri kalan kısmı üzerinde hareket edebilir. Levha özellikleri ve hareketi, levha tektoniği teorisi ile tanımlanmaktadır.

### 4.1.4 Plaka tektoniği ve kanıt

#### 4.1.4.1 Birleştirme teorisi

Makul derecede doğru dünya haritaları elde edilir edilmez, Afrika ve Güney Amerika kıyılarının birbirine yakın bir eşleşme gösterdiği fark edildi. Ancak Alfred Wegener'in *Kıtasal Ayrılma (Continental Drift)* teorisi bir zamanlar birlikte olduklarına dair kanıtlar içeren bir kitap yayınlandığı 1915'e kadar değildi. 1922'de İngilizce olarak yayınlanan kitap, sadece kıtaların yap-boz bulmacası gibi uyumu için değil, aynı zamanda eşleşen jeoloji ve her iki taraftaki fosiller için de kanıtlar içeriyordu. Wegener ayrıca kıtasal kayma teorisi ile buzul çökellerinin üzerine çöl kumtaşları ve onun üzerine de ekvator kayalarının geldiği kıtasal istiflerde kaydedilen ortam değişikliklerinin nasıl açıklanabileceğini gösterdi. Kıtaları hareket ettirmek için ikna edici bir mekanizma öneremediği için bu çalışmaları büyük ölçüde göz ardı edildi. O zamanlar jeologların çoğu, Dünya'nın kabuğunun yukarı ve aşağı hareket edebileceğini ancak yanal yönde hareket edemeyeceğini düşünüyorlardı. Ayrıca Dünya'nın kabuğunun sürüklenen kıtalar oluşturmak için çok ince olduğu düşünülüyordu. Artık Dünya'nın kabuğunun levhalar oluşturmak için gerçekten çok ince olduğunu biliyoruz; levhalar çok daha kalın litosferden oluşur (Şekil 4.12).

1940'larda İkinci Dünya Savaşı sırasında, bilim insanları daha sonra levha tektoniği hikayesi için kritik öneme sahip olan denizaltılarını tespit etmek için iki yöntem geliştirdiler. Sonar yöntemi, ses dalgalarını su içine yayar ve geri dönenleri kaydeder; bu yöntem ile denizaltıları ve ayrıca deniz tabanı ve derinliği tespit edilebilir.

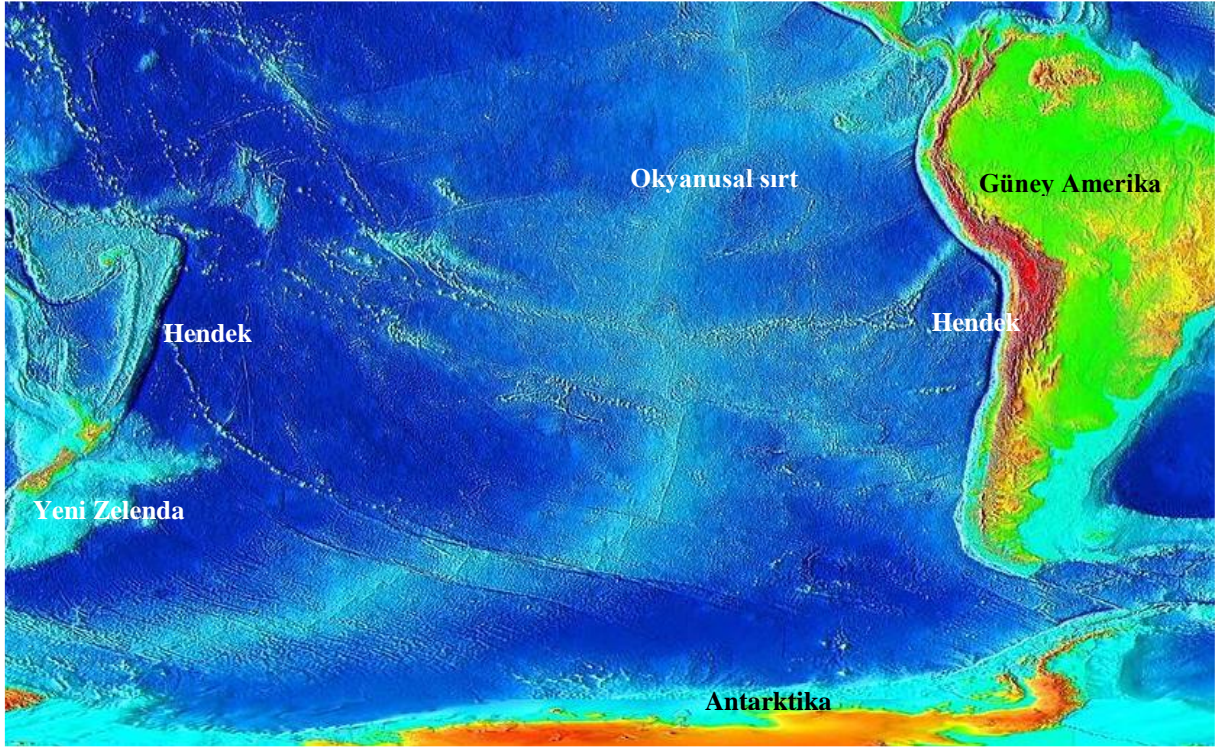


Ayrıca denizaltılarının manyetizmasını tespit etmek için manyetometreler geliştirildi, ancak bu daha sonra okyanus tabanındaki manyetik değişiklikleri tespit etmek için de kullanıldı.

1950'lerde ve 60'larda okyanus tabanlarını haritalamak için sonar kullanıldı. Haritalama, okyanusların, okyanus ortalarına yakın yerlerde sığ sırtlara ve okyanus kenarlarının yakınında hendek adı verilen daha derin alanlara sahip olduğunu gösterdi.

Sırtların bazıları 1,5 km'den daha yüksek ve hendekler 11 km'den fazla derin idi (Şekil 4.13). Bu, Harry Hess'in 1962'de Deniz Tabanı Yayılımı (*Sea Floor Spreading*) hipotezini önermesine yol açtı. Hess, okyanusların ortalarına yakın sırtlarda yeni okyanus kabuğunun oluştuğunu ve tekrar mantonun içine daldığı hendeklere ulaşana kadar yana doğru hareket ettirildiğini öne sürdü. Sıcaklık, teorisinde önemli bir rol oynadı. Yeni malzemenin oluşturulduğu yerde, malzeme çok sıcaktır ve bu nedenle daha düşük yoğunluklu olur ve sırtları oluşturur. Materyal sırttan uzaklaştıkça soğur ve hendeklerde manto içine geri gönderilecek derecede soğuyup yoğun hale gelene kadar hareket eder..

**Şekil 4.13.** Güney Pasifik Okyanusu tabanı; merkeze yakın okyanus sırtı ve Doğu ile Batıya doğru hendekler

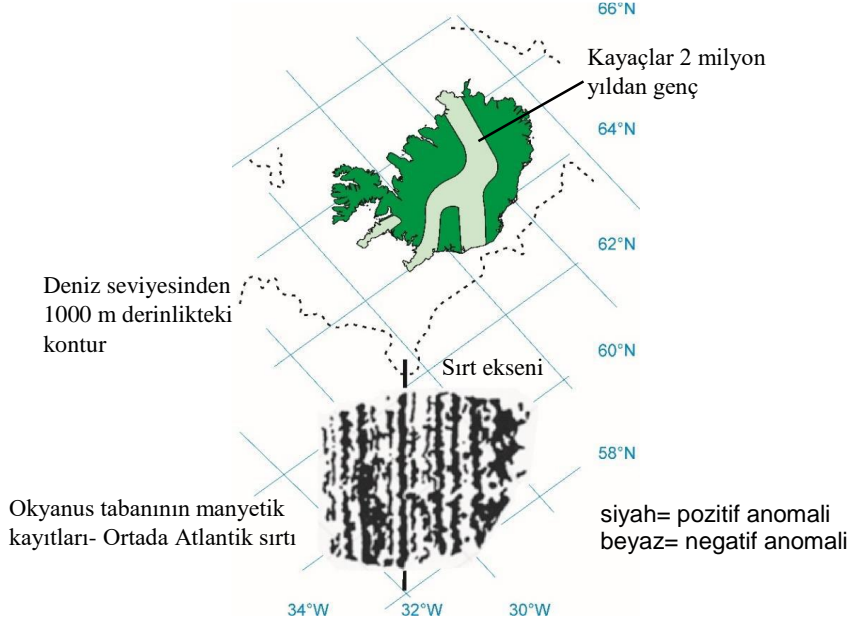


Bilim insanları sonar kullanarak okyanus tabanını haritalandırırken, okyanus tabanı manyetizmasını ölçmek için manyetometreler de kullandılar. Okyanus tabanının manyetik olduğunu buldular. Bazı yerlerde, manyetizma daha güçlü bir manyetik sinyal vererek Dünya'nın normal manyetizması ile hizalandı. Diğer yerlerde, okyanus tabanı manyetizması zıt yöndeydi ve normal Dünya manyetizmasının bir kısmının etkisini yok ederek daha zayıf bir sinyal vermiştir.

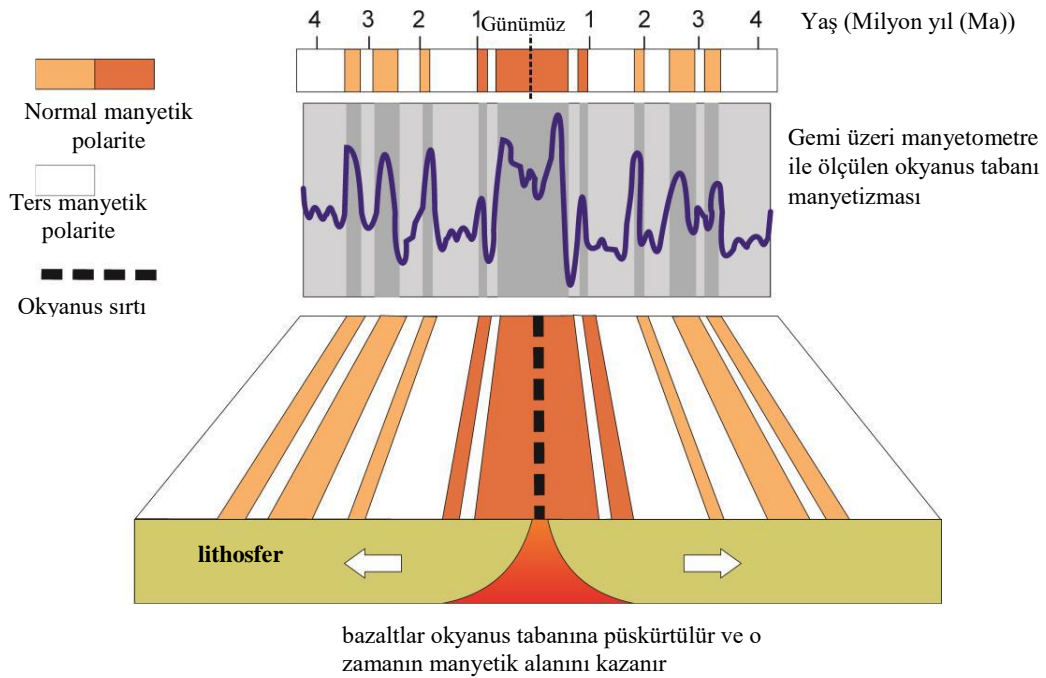
Tüm bunlar bir haritada işaretlendiğinde, okyanus sırtlarının her iki yanında Şekil 4.14'te gösterilene benzer bir model görüldü. Bu, Birleşik Krallık'ta Vine ve Matthews ve Kanada'da Morley tarafından 1963'te açıklandı. Onlar, manyetik mineraller içeren kayalar soğuduğunda, soğudukları zamandaki manyetik alanla aynı yönde mıknatıslandıklarını zaten biliyorlardı. Böylece bugün soğuyan bazalt lavları, Kuzey-Güney manyetizasyonu ile bugünün manyetik alanı yönünde manyetize oluyor. Ayrıca, Kuzey manyetik kutbunun şu anda coğrafi Kuzey Kutbu'na (ve Güney Kutbunun Güney manyetik kutbuna) yakın olmasına rağmen, bu manyetizmanın jeolojik geçmişte birçok kez tersine döndüğü teorisini de biliyorlardı. Bu nedenle, Kuzey manyetik kutbunun Güney Kutbu'na ve güney manyetik kutbunun Kuzey Kutbu'na yakın olduğu zamanlar olmuştur.

Bu, okyanus tabanındaki manyetik şekillenmenin soğudukça manyetize olan bazaltlardan oluştuğunu açıklamalarına yardımcı oldu. Bazaltlar, Dünya'nın manyetizması bugünkü ile aynı yöndeysen soğurlarsa, Kuzey-Güney manyetizması alırlar, ancak ters yöndeysen soğurlarsa, Güney-Kuzey manyetizması alırlar. Kuzey-Güney manyetizmasına sahip kayalar, bugünün Kuzey-Güney manyetizmasını güçlendirerek **normal manyetik polarite** adı verilen pozitif bir anomali verir. Güney-Kuzey manyetizmasına sahip bazaltlar, genel manyetik alanı zayıflatır ve Şekil 4.15'teki gibi **ters manyetik polarite** adı verilen negatif bir anomali verir.

Şekil 4.14. İzlanda'nın güney batısındaki Reykjanes Sırtı üzerinde manyetik anomaliler



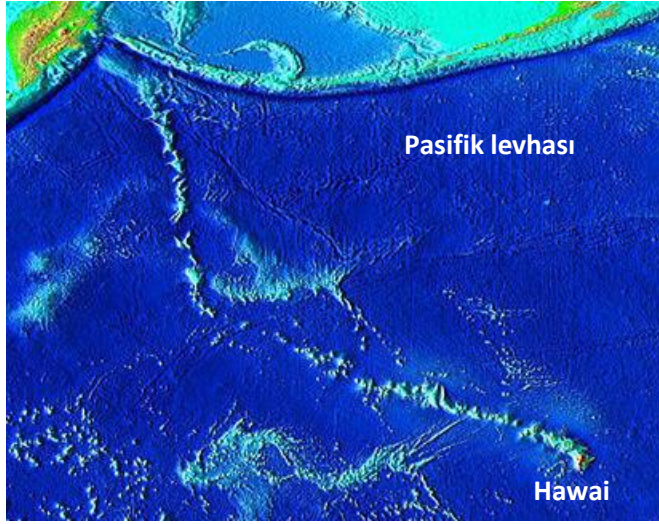
Şekil 4.15. Okyanus tabanı bazaltlarından manyetik şeritlerin oluşumu



Dünyanın manyetik kutuplarının tersine dönmesi düzenli değildir. Bazen ters dönüşler arasında uzun bir aralık olabilir ve diğer zamanlarda hızlı bir şekilde gerçekleşebilir. Okyanus tabanındaki manyetik şeritlerin farklı genişliklere sahip olmasının nedeni budur ve ayrıca okyanus sırtının bir tarafındaki desen, diğer taraftaki desenin ayna görüntüsüdür. Manyetik şerit kanıtı, Hess'in Deniz Tabanı Yayılma hipotezi için mükemmel bir destek sağladı.

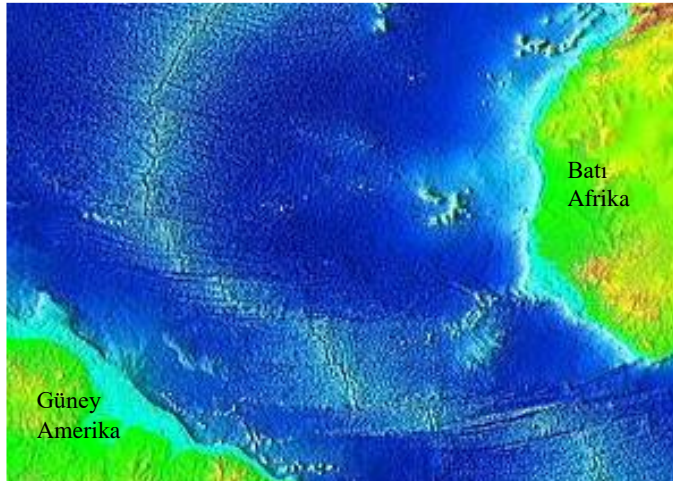
Deniz tabanı yayılması fikrinin sorunlarından biri, okyanuslardaki volkanik faaliyetin sadece okyanus sırtlarında merkezlenmekle kalmayıp, aynı zamanda sırtlardan uzak bazı volkanik adalarda da bulunmuş olmasıdır. John Tuzo Wilson bunu 1963'te **sıcak nokta** teorisiyle açıklamıştı. Mantoda sıcak bir kaya kütlesi yükselir ve kısmen ergiyerek bazalt mağma oluşturur. Bu mağma litosfer boyunca yükselerek, bir volkan olarak püskürür. Litosfer bu sıcak nokta üzerinde hareket ettirilirken, Şekil 4.16'da gösterildiği gibi bir volkanlar zinciri üretilir. Sıcak noktadan uzaklaştıkça volkanik adalar daha yaşlıdır.

**Şekil 4.16.** Pasifik Okyanusu'ndaki Hawaii sıcak noktasına bağlı volkanik adalar ve deniz altı volkanik deniz dağları zinciri. Zincirdeki ani bükülme, Pasifik plakasının hareket yönündeki bir değişiklikle bağlantılıdır.



1964'te John Tuzo Wilson, deniz tabanı yayılması fikrini destekleyen bir başka önemli kanıtını belirledi. O sadece okyanus sırtlarında yeni deniz tabanının oluşturduğunu ve okyanus hendeklerinde mantoya geri daldığını değil aynı zamanda okyanus sırtlarının birçok yerde **transform faylar** adını verdiği büyük boyutlu faylarla kesildiğini fark etti (Şekil 4.17).

**Şekil 4.17.** Atlantik Okyanusu okyanus sırtını kesen transform faylar



Tüm bu kanıtlar birlikte, 1960'ların ortalarında yaygın olarak kabul edilen, levha tektoniğinin yeni birleştirici teorisi haline geldi. Yeni teori, Wegener'in Kıtaların Kayması teorisini Hess'in Deniz Tabanı Yayılması teorisi ve diğer tüm kanıtlarla birleştirerek, Dünya'nın dışının daha sonra levhalar olarak adlandırıldığı parçalara ayrıldığını, ve Dünya'nın yüzeyinde hareket ettiğini açıkladı. Bu levhaların üç tür kenar şekli vardır: Hess tarafından tanımlanan okyanus sırtları ve hendekler ve Wilson tarafından tanımlanan transform faylar. Levhalar hareket ederken kıtaları da yanlarında taşırlar, böylece kıtalar Wegner'in önerdiği gibi sürüklenmek yerine levha hareketleriyle taşınmaktadırlar.

Wilson daha sonra levha hareketlerinin jeolojik geçmişte süper kıtaların oluşumunu açıklayabileceğini ve kıtalar birlikte hareket ettikçe ve daha sonra parçalandıkça yeni okyanusların oluştuğunu fark etti. Bu süper kıta oluşumu ve dağılıma döngüsüne **Wilson Döngüsü** veya **süper kıta döngüsü** deniyor.

Yeni birleştirici teori yalnızca küresel ölçekli jeolojik özellikleri açıklamakla kalmadı, aynı zamanda kaya döngüsünün önemli parçaları olan dağ oluşumu olaylarını ve yükselimi de açıkladı. Buzuldan ekvatora ve derin denizlerden dağlara kadar değişen çok farklı ortamlarda sedimanter kayaçların çökeldiği alanlarda kayaç istiflerinin nasıl olabileceğini açıkladı. Levha hareketi daha sonra evrimin arkasındaki itici güçlerden biri olarak görüldü - bu nedenle jeolojinin birçok alanını birleştirdi. O zamandan beri, levha tektoniği teorisini destekleyen daha fazla kanıt bulundu. Teori jeolojik özelliklerin tamamını değil ama çoğunu açıklamaktadır. Günümüzde pek çok bilimsel araştırmanın odak noktası, 'normal' levha tektoniği teorisi tarafından açıklanmayan özelliklerdir.

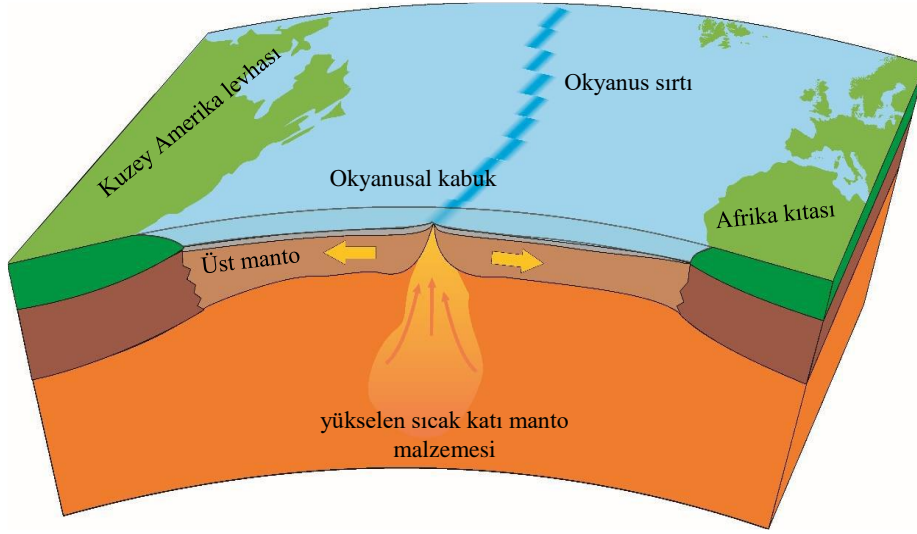
#### 4.1.4.2 Levha inşası ve yitimi

Dünya'nın litosferi, tektonik levhalar adı verilen irili ufaklı bir dizi parçaya ayrılmıştır. Bu plakalar hareket ettikçe kıtaları da beraberinde taşır. Okyanus sırtlarında, yeni levha malzemesi oluşur ve sırttan uzaklaşır, bu nedenle bunlara **diverjan (uzaklaşan, iraksak) levha kenarları** denir. Okyanus sırtları, hiçbir levha malzemesinin inşa edilmediği veya kaybolmadığı transform fayları tarafından kesilir, bu nedenle levhanın korunduğu bu transform fayları, **konservatif (korunumlu) levha kenarları** olarak adlandırılır. Okyanus sırtlarının yeni sıcak ve yüzer levha malzemesi, sırtlardan uzaklaştıkça yavaşça soğur ve batar. Sonunda o malzeme o kadar soğuk ve yoğun hale gelir ki, mantonun içine geri batmaya başlar; bu batmaya dalma/batma(subduvtion) denir. Dalma işleminin sonucu, iki plakanın birbirine doğru hareket etmesidir, bu nedenle bunlara **konverjan (yakınlaşan) kenarlar** da denir. Yitilmiş litosfer, mantonun içine geri döner, böylece litosfer kayaçları global levha tektoniği döngüsü sürecinde geri dönüştürülür.

#### 4.1.4.3 Levha kenarlarının özellikleri

*Diverjan levha kenarları.* Bu kenarlarda, levhalar birbirinden uzaklaşırken okyanus sırtlarında yeni levha malzemesi oluşur ve altındaki mantonun kısmen erimesi ile oluşan mağmanın yükselmesine izin verir. Bu, gabro üreten mağma odalarında, dolerit olarak dayklarda veya Tablo 4.19'daki bazaltik lavlar olarak okyanus tabanında katılır. Bu yeni kabuk, altındaki mantonun bir parçasıyla birlikte, yeni okyanus levhası oluştuğunda yeni litosfer haline gelir (Şekil 4.18).

Şekil 4.18. Orta Atlantik Okyanusu'ndaki okyanus sırtında yeni okyanusal litosfer oluşumu



**Kutu 4.9.** Okyanus sırtlarında hidrotermal siyah duman bacalarının keşfi

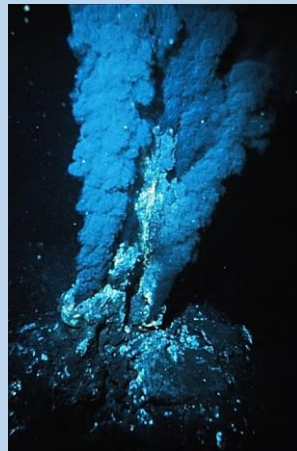
1977'de, derin deniz denizaltısı Alvin, 2 km derinliğindeki okyanus sırtı bölgesini araştırırken denizaltının iki pilotu ilk kez hidrotermal siyah duman bacaları gördüler. Dışarı çıkan siyah dumanlı suyun 400°C'den daha sıcak ve kuvvetli asidik olduğunu keşfettiler. Bacaların ürettiği enerji ve besinlerle yaşayan garip yaşam formları buldular. Daha fazla araştırma, deniz tabanındaki çatlaklara soğuk deniz suyunun süzülüğünü ve bacanın altındaki sıcak kayaların onu ısıttığını gösterdi. Aşırı ısınmış su, deniz tabanına geri yükselirken çevredeki kayalardan mineralleri çözer. Fokurdamaya başladığında, su deniz suyuyla reaksiyona girer ve siyah mineraller "siyah duman" olarak kristalleşir. Bunlara artık **hidrotermal bacalar (hydrothermal vents)** deniyor.

Deniz tabanının derinliklerinde yeni ve hayal edilemeyen bir sürecin bu şaşırtıcı keşfi, sadece kimyasal okyanus süreçleri açısından değil, aynı zamanda biyolojik toplulukların ışık olmadan nasıl gelişebileceği konusundaki anlayışımızı da değiştirdi. Ayrıca okyanus sırtı jeofiziğine yeni bakış açıları sağladı. Tek bir keşfin biyoloji, kimya ve fizik anlayışımız üzerinde böyle bir etkiye sahip olması alışılmadık bir durumdur. Alvin ve diğer derin deniz denizaltıları bugün hala bu keşfi takip ediyor.

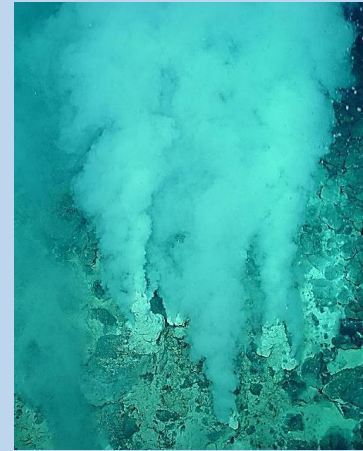
Okyanus sırtlarından uzakta okyanus tabanında sıvı karbondioksit içinde açık renkli minerallerin köpürdüğü alkali beyaz "dumanlı" hidrotermal bacalar da keşfedildi.



Derin deniz dalgıç aracı, Alvin;



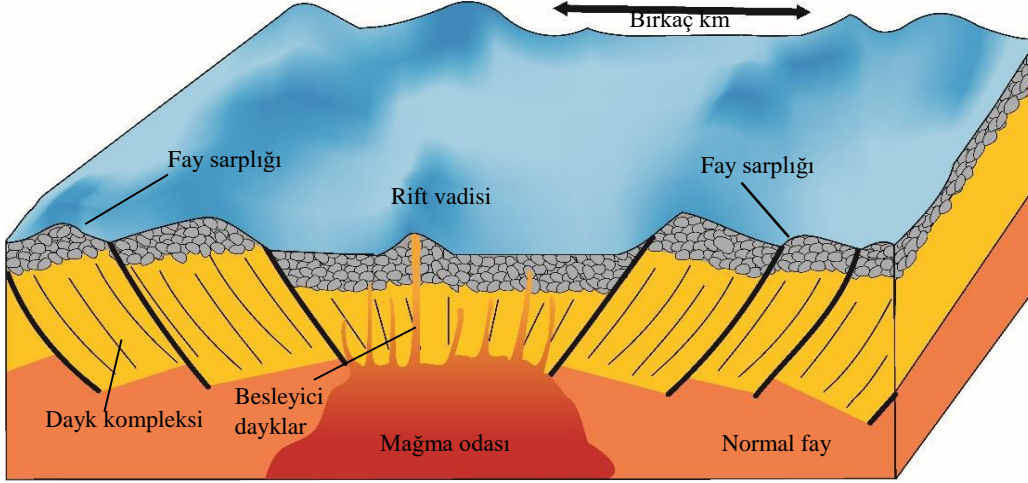
Siyah duman bacası, Atlantik sırtı;



Beyaz duman bacası, Mariana Yayı Pasifik Okyanusu

Yeni oluşturulmuş plakalar birbirinden ayrıldıkça, bu, katı plaka bir dizi normal fay ile kırıldığı için gerilmeye ve yırtılmaya neden olur. Orta kısım bir rift vadisini oluşturmak üzere aşağı doğru çöker. Bu tür rift vadileri, dünyadaki okyanus sırtlarının merkezinde bulunur (Şekil 4.19). İzlanda, karada okyanus sırtının bulunduğu birkaç yerden biridir; Şekil 4.20, daha büyük okyanus sırtı rifti sisteminin bir parçasını oluşturan küçük bir İzlanda rift vadisini göstermektedir.

Şekil 4.19. Okyanus sırtının ortasındaki rift vadisi



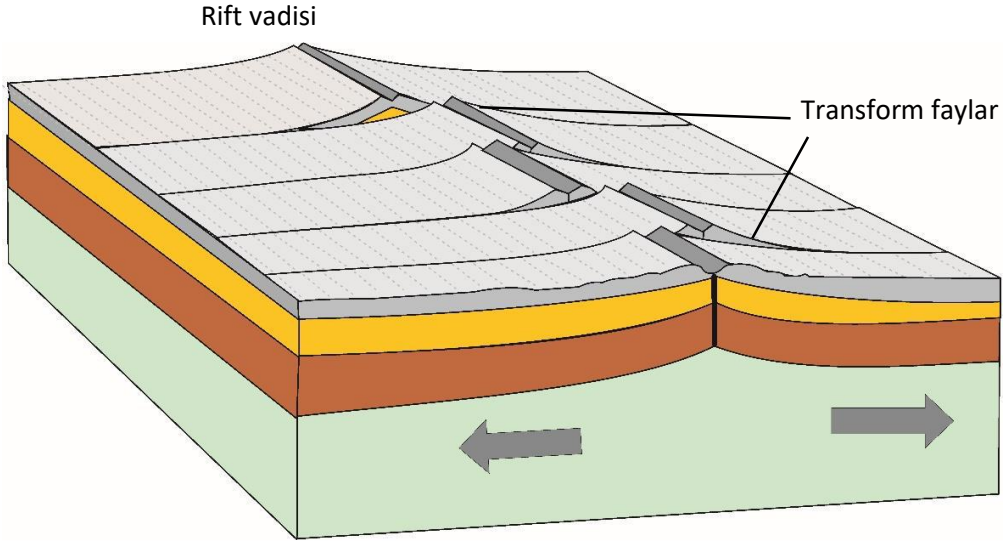
Şekil 4.20. İzlanda'da okyanus sırtı çatlaklarıyla bağlantılı küçük bir rift vadisi



Son derin deniz sondajı ve sismik kanıtlar, okyanusun bazı kısımlarında yeni okyanusal litosferin farklı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir. Bazı bölgelerde, manto dilimleri, yeni okyanusal litosfere dönüşmek üzere derin faylar boyunca aşağıdan bir bütün olarak yukarı çekiliyor gibi görünüyor. Bu yeni tanınan süreç halen araştırılmaktadır. Bununla birlikte, yeni oluşan okyanusal litosfer, ortaya çıkar çıkmaz, derin deniz çamurları yukarıdaki okyanustan litosferin üzerine depolanmaya başlıyor. Bu çamur örtüsü, levha okyanus sırtlarından uzaklaştıkça ve derin okyanus tabanından geçtikçe kalınlaştıkça kalınlaşır.

*Konservatif levha kenarları.* Okyanus sırtları, bu kenarlardaki transform fayları (Şekil 4.17) ile kesilir ve bunlar diğer faylardan farklıdır. Sıradan doğrultu atımlı hareketle birbirlerinin yanından geçseler de, fayın her iki tarafındaki kayaçların Şekil 4.21'deki gibi biraz farklı hızlarda olsa da aynı yönde hareket ettiği okyanus sırtlarının ötesinde kırılma bölgelerine uzanırlar.

**Şekil 4.21.** Okyanus sırtı ve rift vadisini kesen bir transform faylar dizisi



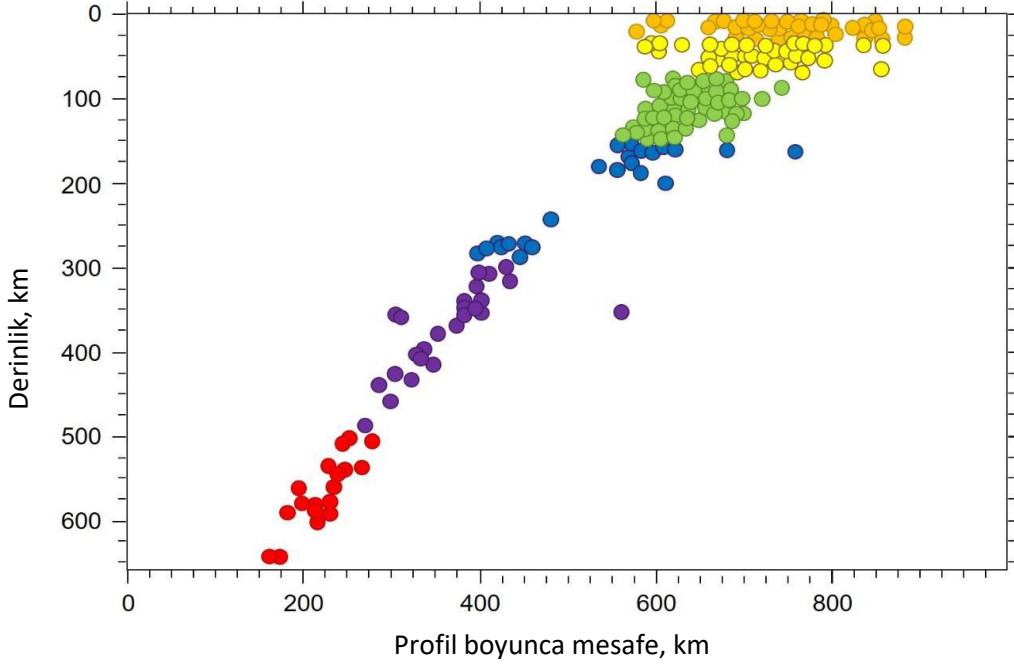
Transform faylar, sadece okyanus sırtlarını kesmekle kalmaz, aynı zamanda okyanus sırt kenarlarını yitim bölgelerine bağlar. Transform faylar kıtaları da etkilerler; Kıtaları kesen ünlü örnekler, Yeni Zelanda'daki Alp Fayı ve ABD'deki San Andreas Fayıdır (Şekil 4.22). Transform faylar, konservatif levha kenarları olduğundan, bazı popüler filmlerde gösterilse de volkanik aktiviteleri yoktur.

**Şekil 4.22.** Kaliforniya, ABD'deki San Andreas Fayı. Ön plandaki zemin, dere vadisini ilk kestiğinden bu yana 130 metrelik bir atımla sola doğru faylanmış.



Depremler tüm aktif levha kenarlarında meydana gelir, ancak, dalma/batma bölgelerindekilerle karşılaştırıldığında, diverjan kenarlardaki depremler ve transform faylarının tümü sığ odaklıdır; sadece 100 km'den az kalınlıkta olan litosferin derinliğinde meydana gelirler. Bununla birlikte, levhaların daldırıldığı yerlerde, soğuk litosfer mantonun içine taşınır ve yaklaşık 750 km'ye kadar tüm derinliklerde depremlere neden olabilir. Dalma, Şekil 4.23'te görüldüğü gibi eğimli bir deprem zonlanmasına neden olur.

**Şekil 4.23.** Pasifik Okyanusu'nun kuzeybatısındaki Kurile Adaları yitim bölgesinde kaydedilen depremler. Depremler, derinlik için renk kodludur ve levhanın sola doğru daldığını gösterir.



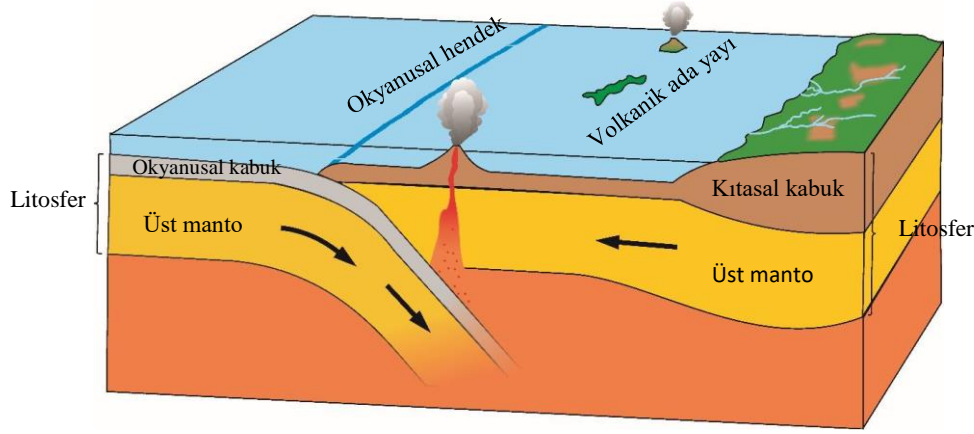
Soğuk okyanusal litosfer mantonun içine batarken, kayalara hapsolmuş deniz suyunu da beraberinde taşır. Bu su, litosfer batarken sıcaklıktaki artışla birlikte, yiten litosferin üzerindeki kayaların kısmen ergimesine ve magma üretmesine neden olur. Sıcak magma, oluşuktan sonra yukarıdaki kayalardan daha düşük bir yoğunluğa sahip olur ve yükselir, bu da yukarıdaki levhada magmatik aktiviteye neden olur.

Yitimin etkileri, yitimin nerede meydana geldiğine bağlı olarak değişir. Bir okyanusal levhanın diğerinin altına daldığı yerde, bir dizi volkanik ada üretilir. Bir okyanusal levhanın kıtasal bir levhanın altına daldığı yerde, volkanik aktiviteyle ilişkili bir dağ silsilesi oluşur. Kıtaları taşıyan iki levha, aradaki okyanusal litosferin dalmasıyla bir araya getirildiğinde, çarpışmadan daha da büyük bir dağ silsilesi ortaya çıkar.

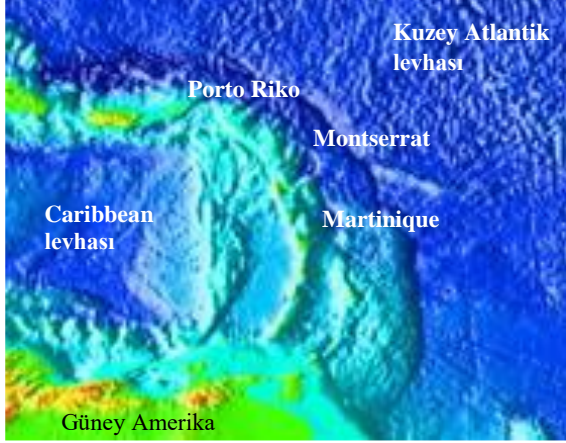
*Okyanus-okyanus konverjan kenar.* İki okyanus levhası birbirine doğru hareket ettirildiğinde, daha soğuk olan levha daha yoğundur ve bundan dolayı dalar. Yitim, iki levhanın bulunduğu bir derin deniz hendeği ve Şekil 4.23'teki gibi eğimli bir deprem bölgesi oluşturur. Dalan levhanın bir kısmının kısmi ergimesi, bir volkan zinciri üreten patlayıcı volkanik püskürmelerde yükselen ortaçağ magma (ne demir ne de silis açısından zengin) üretir. Hendek ve yanardağlar, Dünya yüzeyinde yay şeklinde bir yapı oluşturur ve bu tür bir kenara başka bir isim verir: bir **Ada Yayı** kenarı (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. İki okyanus plakasının çarpışmasında dalma-batma



Şekil 4.25. Kuzey Atlantik levhası Karayip levhası ile çarpışırken, içerideki volkanik adaların yayı ile derin deniz çukurunun kıvrımını gösteren Karayip ada yayı



Şekil 4.26. Karayip adası yayındaki Montserrat Adası'nda patlayan Soufrière Hills yanardağı

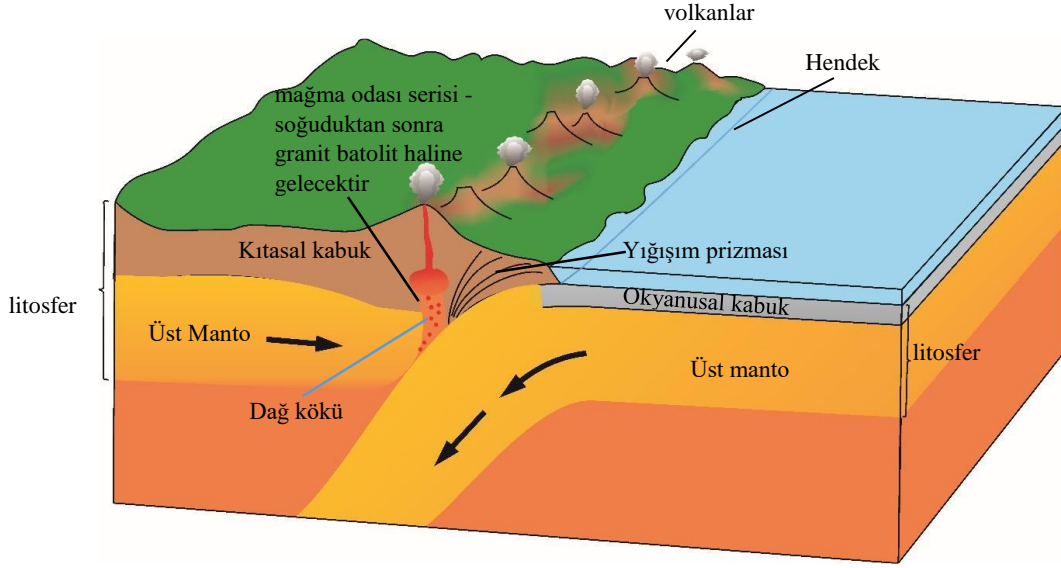


*Okyanus-kıta konverjan kenarlar.* Bir okyanus levhası, kıtayı taşıyan bir levha (kıtasal levha) ile çarpıştığında, kıtasal kayalar, okyanusal litosferden daha az yoğundur ve okyanus levhasının dalmasına neden olur. Ada yaylarında olduğu gibi, patlayıcı volkanik püskürmelerle birlikte eğimli bir deprem bölgesi oluşur. Bununla birlikte, levha üzerinde bir kıta olduğu için, başka birçok etki de vardır. Okyanusal levha daldıkça, okyanus tabanının dilimleri Şekil 4.27'de gösterildiği gibi, **yığışım prizması** adı verilen kalın bir tortu kaması halinde zorlanır ve istiflenir. Bu durumda, kıtaya yeni materyaller eklenir, böylece dışarı doğru büyür. Aynı zamanda yukarı ve aşağı doğru da büyür, çünkü yeni malzeme eklendikçe dağlar oluşur ve daha kalın hale gelir. Dağlar yükseldikçe, alttaki mantonun içine daha da batarlar, çünkü manto katı olmasına rağmen akabilir. Bu nedenle, kıtasal kabuğun dağları yükseldikçe, tabanları derinliklere inmeye zorlanır. Dağ zincirlerini desteklemek için aşağıya indirilen kıtasal kabuk kütlelerine **dağ kökleri** denir.

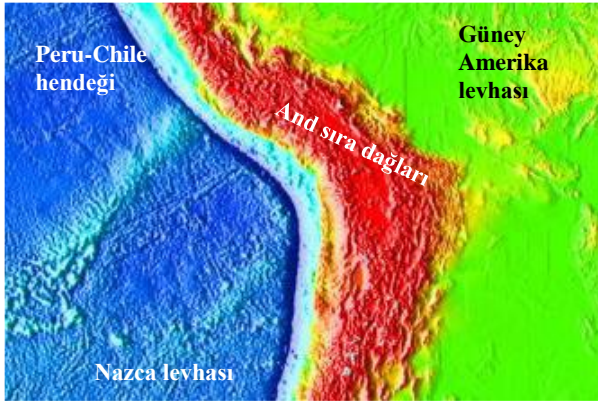
Dağ köklerinin sıcaklıkları ve basınçları, derinliklerinden dolayı yüksek olmasına rağmen, birlikte hareket eden levhaların kuvvetinden kaynaklanan ekstra sıkıştırma basınçları da vardır. Kayaları deforme eden ve metamorfize eden bu yanıl basınçlardır. Bu arada, dalan levhayla ilişkili olarak kısmi ergimesiyle magma üretilir. Sadece ortaç magmalar oluşturulmaz, aynı zamanda alt kabuğun kısmi ergimesi de silis açısından zengin ergiyikler üretir. Bunlar çoğunlukla o kadar viskozdur ki, büyük magma odalarında yüzeye ulaşmadan katılarak plütonlar ve batolitler oluştururlar. Bu silis

bakımından zengin ergiyiğin yavaş soğuması graniti oluşturur. Silis bakımından zengin mağma, ortaç mağma gibi yüzeye ulaşırsa, son derece tehlikeli patlayıcı volkanik kül püskürmelerine neden olur.

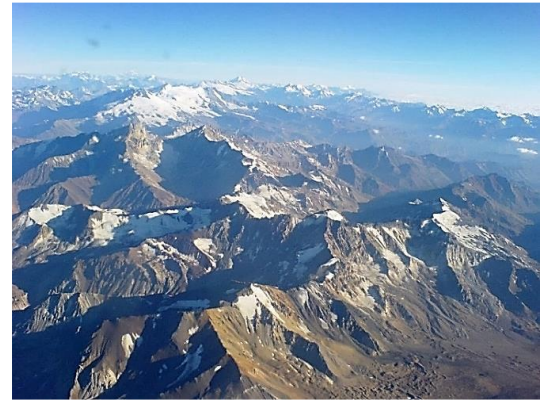
**Şekil 4.27.** Bir okyanusal levhanın kıtasal bir levhanın altına dalması



**Şekil 4.28.** Nazka plakasının Güney Amerika plakasının altına dalmasıyla oluşan çarpışma bölgesi

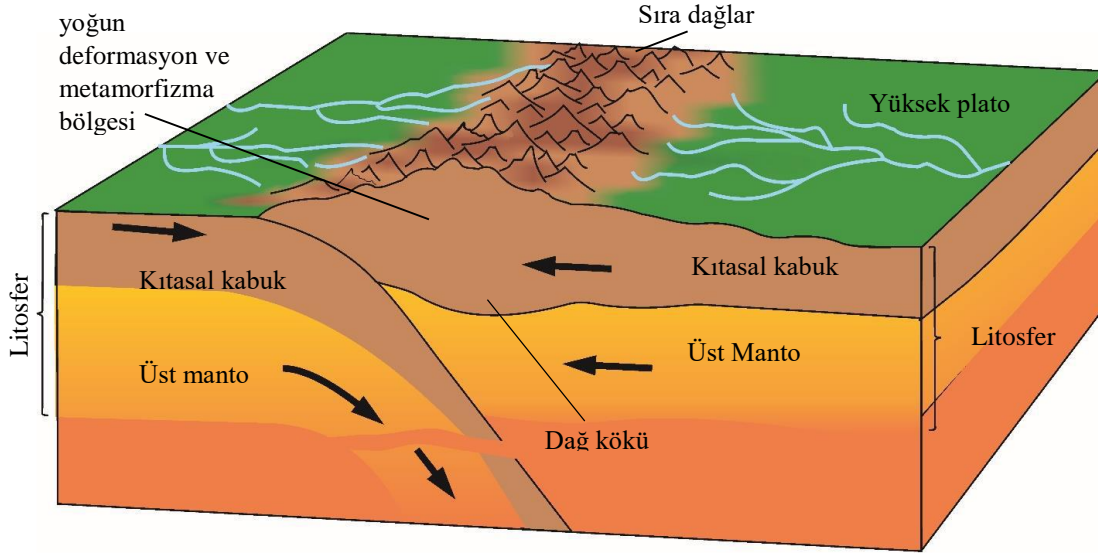


**Şekil 4.29.** Şili ve Arjantin arasındaki And dağları

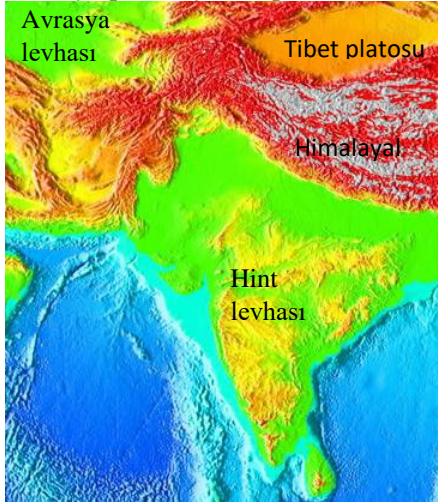


*Kıta-kıta konverjan kenarlar.* Kıtaları taşıyan iki levha birbirine doğru hareket ederken, yitim ve okyanus arasındaki okyanusal levha yavaş yavaş kapanır. Levhalardaki kıtalar çarpışırken, dünyanın en yüksek sıradağları olan derin köklere sahip yüksek sıradağlar oluşur. Çarpışma, en yüksek derecelere kadar metamorfizma ile birlikte büyük ölçekli bindirme faylanması ve kıvrılma ile birlikte yoğun deformasyona neden olur. Çarpışma bölgesi milyonlarca yıl aktif olabilmesine rağmen, artık yitim meydana gelemez, dolayısıyla volkanik aktivite olmaz. Bununla birlikte, bölge, genellikle yüksek büyüklükte ve felakete yol açan depremlere çok meyillidir (Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32).

**Şekil 4.30.** İki kıtasal levha arasındaki çarpışma zonu



**Şekil 4.31.** Hint plakasının Himalaya dağ zincirini oluşturan Avrasya plakasıyla çarpışması



**Şekil 4.32.** En tepede Everest Dağı ile Uluslararası Uzay İstasyonu'ndan görülen Himalaya sıradağları



**Kutu 4.10.** Plaka çarpışmalarıyla oluşan birdirme örtüleri.

İki kıtasal plaka çarpıştığında, kaya tabakaları yukarı itilebilir ve düşük açılı bindirme fayları boyunca kilometrelerce hareket ettirilebilir. Bazen bindirmelerin önündeki kayalar, kıvrımların tabanındaki kayaç istifinin tamamen ters olduğu büyük kıvrımlara çevrilebilir.



İsviçre Alplerindeki Glarus bindirmesi. Alp dağ silsilesi Afrika ve Avrupa levhaları arasındaki çarpışma nedeniyle yükselirken, dağın zirvesine yakın koyu renkli kayaç, alttaki kayaçların üzerinden 100 km'den fazla kuzeye doğru itildi.

Valais yakınlarındaki İsviçre Alpleri'nde Dent de Morcles kıvrımı. Dağın zirvesindeki koyu renkli kayaçlar, kıvrımın altındakilerle aynı yaştadır; buradaki alt kaya istifi, Afrika ve Avrupa plakalarının çarpışmasıyla alt üst olmuştur.

Artık levha kenarlarının nasıl işlediğini biliyoruz, kaya döngüsünün levha tektoniği teorisi mevcut olmadan önce anlaşılması zor olan kısımlarını Tablo 4.21'de gösterildiği gibi açıklayabiliriz.

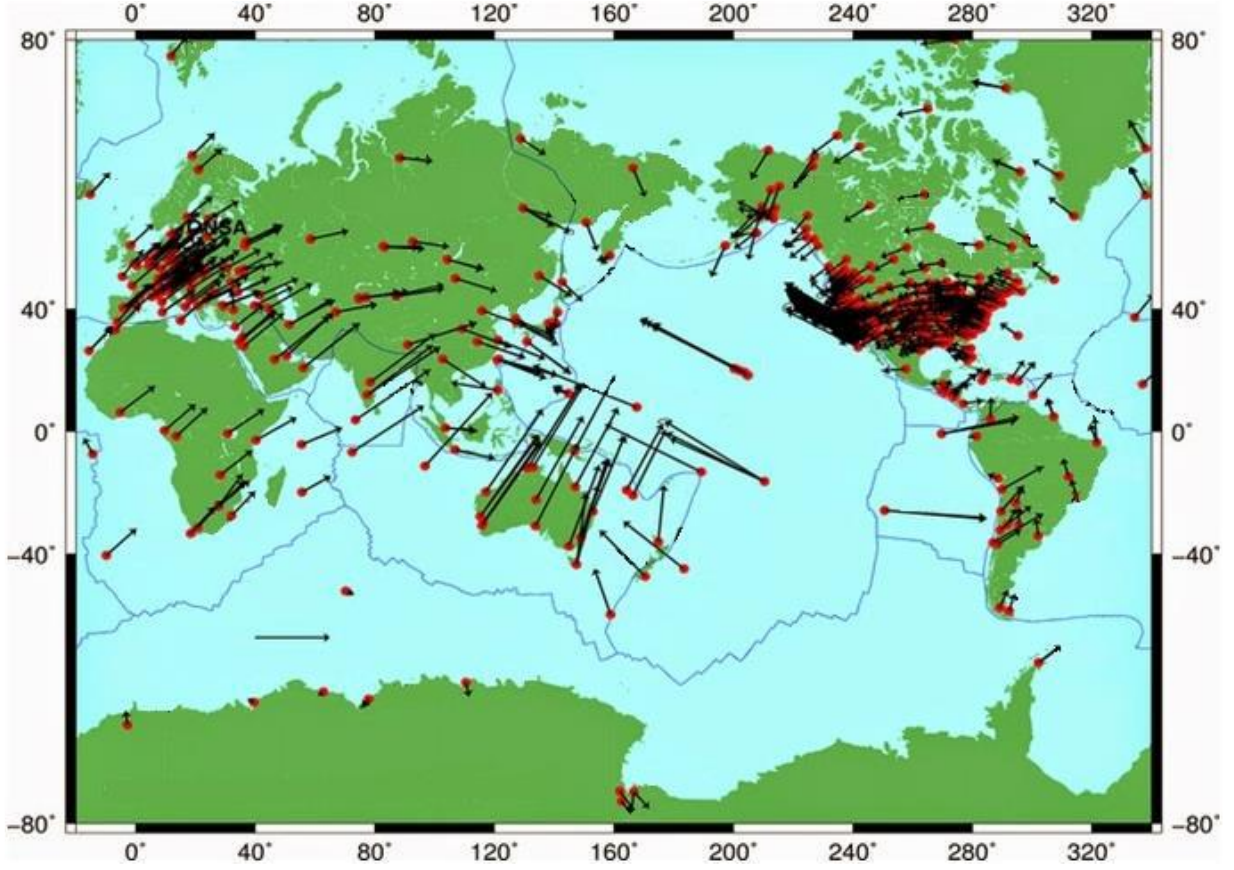
**Tablo 4.21.** İç kaya döngüsünün süreçleri şimdi levha tektoniği teorisi ile açıklanıyor

İçsel kayaç döngü süreci	Levha tektoniği açıklaması
<b>Metamorfizma</b>	Bölgesel metamorfizma: okyanus-kıta ve kıta-kıta levha kenarlarında dağ zincirleri oluştuğunda, kayaçlar, üzerlerindeki kayaçların sıcaklıklarının ve basınçlarının çok yüksek olduğu derinliklere taşınır; çarpışan plakaların ekstra sıkıştırıcı gerilimi, kayanın yeniden kristallenmesine neden olur.
	Termal metamorfizma: aşağıda açıklandığı gibi oluşan sokulum mağmalar, çevredeki kayaları bir metamorfik hale içinde pişirir.
<b>Ergime (kısmi ergime)</b>	Yitim zonlarında: yitilen levha kendisi ile birlikte su taşır; su ve artan sıcaklıklar, levhanın üzerindeki kayaların kısmen erimesine ve bu süreçle oluşan daha düşük yoğunluklu mağmanın daha sonra yükselmesine neden olur.
	Diverjan levha kenarında: okyanus sırtlarının altında, manto kısmen eriyecek kadar ısınır ve yeni okyanusal levha malzemesini oluşturan demir / magnezyum açısından zengin mağmalar oluşturur.
<b>Mağmatik Sokulum</b>	Levha kenarlarındaki mağma, yukarıdaki daha soğuk kabuğa yükseldikçe, büyük mağma odalarında plüton veya batolit olarak soğur ve kristalleşir.
<b>Volkanik Aktivite</b>	Levha kenarlarındaki mağma ve sıcak noktalar yüzeye ulaşırsa püskürür; patlamaların şiddeti nispeten güvenli ile son derece tehlikeli arasında değişir
<b>Yükselme (Uplift)</b>	Okyanus-kıta veya kıta-kıta levha kenarlarında dağ zincirleri oluştuğunda, bazı kayaçlar yükselirken, diğer alanlar dağların köklerine doğru inmeye zorlanır. Dağ silsilesi katı manto üzerinde 'yüzdüğünden', üstteki kaya erozyonla kaldırıldıkça, altındaki kayalar yükselir ve bölgesel yükselme gerçekleşir.
<b>Deformasyon</b>	Diverjan kenarlarında: levhalar birbirinden uzaklaştıkça, kırılğan kayaçlar normal faylar şeklinde kırılır ve bir taraf diğerinin üzerinden aşağı kayar.
	Konservatif kenarlarda: transform fay oluşumunda bir plaka diğerini geçerek kayar ve kırılğan kayaçlar doğrultu atımlı faylarla ayrılır.
	Okyanus-kıta veya kıta-kıta konverjan levha kenarlarında, güçlü sıkıştırma kuvvetleri yüzeye yakın kayaların ters ve bindirme fayları şeklinde kırılmalarına neden olur; daha fazla derinliklerde kayalar kıvrılarak deforme olur

#### 4.1.4.4 Mekanizma ve hareket hızları

Bugün, levhaların hareketi Global Konumlandırma Sistemi (GPS) kullanılarak uydular tarafından takip edilebilmektedir. Bu, tırnaklarımızın yaklaşık olarak uzadığı oranda, yılda yaklaşık 1 ila 10 cm arasındaki levha hareket oranlarını gösterir (Şekil 4.33).

Şekil 4.33. Levha hareket hızları; okların uzunlukları levhanın GPS ile ölçülen hızını gösterir

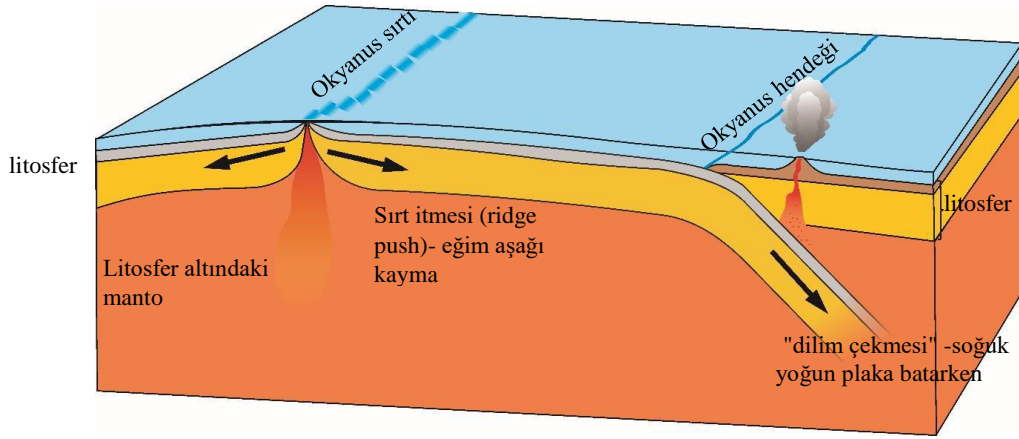


Uzun yıllar, altındaki katı mantodaki akımların levhaları taşıdığı düşünülüyordu; bunun gibi ısıyla oluşan akımlara **konveksiyon akımları** denir. Günümüzde, tıbbi tarayıcıların vücudunuzu taramak için kullanılabileceği gibi, Dünya'yı taramak için sismik bilgileri kullanabiliriz. Bu tarama şimdiye kadar mantodaki büyük ölçekli konveksiyon akımları fikrini sorguladı. Dolayısıyla, **manto konveksiyon mekanizması**, büyük plakaların hareketinin ana itici gücü olmayabilir.

Levhalar, kendini çevreleyen kayalardan daha yoğun oldukları için dalma-batma bölgelerinde dalarlar. Çoğu levha hareketi, yüzey boyunca tutturulan levhayı sürükleyen soğuk yoğun litosferin batmasıyla açıklanabilir. Bu, **dilim çekmesi mekanizmasıdır (slab-pull mechanism)**. Bu, bir kenarı düz bir masanın kenarında sarkan bir bez gibi davranır, sarkan kenar yere düştüğünde kumaşın geri kalanını yere çeker. Dalan dilim çekmesinin büyük bir etkisinin olmadığı yerlerde, okyanus sırtlarından bir itmenin olduğu görülür. Okyanusal sırtlar, çevreleyen deniz tabanından daha yüksek olduğu için, yeni oluşan litosfer, plakayı ileri doğru iterek sırtları kaydırır; bu, **sırt itmesi mekanizmasıdır (ridge-push mechanism.)**.

Dilim çekmesi (Slab-pull) ve Sırt itmesi (Ridge-push) artık büyük levhaların ana itici güçleri gibi görünüyor, ancak bu hala araştırılıyor; bu arada diğer kuvvetlerin de etkileri olabilir (Şekil 4.34).

Şekil 4.34. Levha hareket mekanizmaları



#### 4.1.4.5 Kanıt

Artık levha tektoniği teorisini destekleyecek o kadar çok kanıtımız var ki, teoriden ziyade neredeyse 'gerçek' olarak düşünülebilir. Bu özellikle böyledir, çünkü tüm iyi teoriler gibi, test edilmiş ve doğru olduğu tespit edilen birçok fikri bir araya getirmiş ve tahminler sunmuştur. Bununla birlikte, çoğu teoriler gibi, levha tektoniği kesinlikle tüm dış Dünya süreçlerini açıklamamaktadır ve tahminlerinin bazıları hala araştırılmaktadır.

Levha tektoniği teorisini destekleyen mevcut ana kanıtlar Tablo 4.22'de özetlenmiştir.

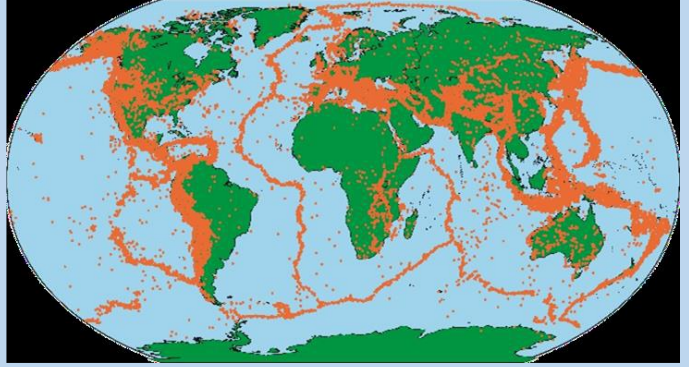
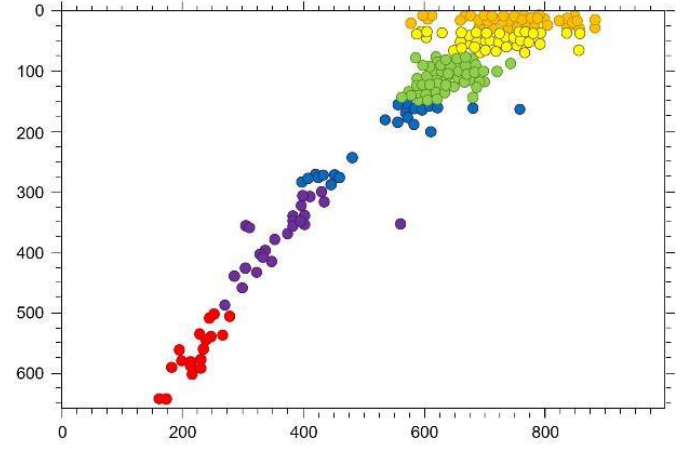

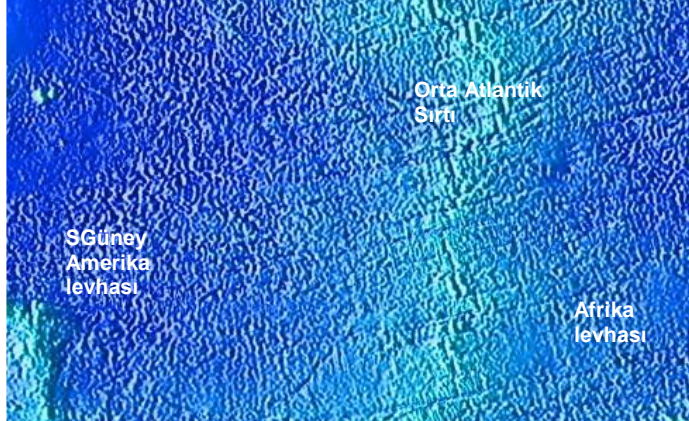
Tablo 4.22. Plaka tektoniği teorisini destekleyen ana kanıtlar

Kanıt	Öneren	Açıklama	Görsel
<b>Kıtaların geometrik uyumu</b>	Du Toit, Wegener	Kıtalar bir zamanlar bir aradaydı, ancak daha sonra birbirlerinden ayrıldılar, bu yüzden kıyı şeritlerinin şekilleri birbirine uyuyor. Daha sonra kıtasal şelf kenarlarına dayanan ve bilgisayar modellemesi kullanılarak yapılan rekonstrüksiyonlar çok yakın bir eşleşme göstermiştir.	
<b>Geometrik uyumlu kıtalardaki jeolojik kanıtlar</b>	Du Toit, Wegener	Kıtalar yeniden bir araya getirildiğinde, kıtalar üzerindeki kayaların dağılımları eşleşir. Burada kahverengi renkli kayalar 2000 milyon yıl yaşında, soluk yeşil olanlar ise 2000 – 600 Milyon yıl yaşındadır.	

**Tablo 4.22.** Plaka tektoniği teorisini destekleyen ana kanıtlar, devam

Kanıt	Öneren	Açıklama	İmaj
<b>Geometrik uyumlu kıtalardaki fosil kanıtlar</b>	Wegener	Kara fosillerinin bulunduğu yerler kıtalar bir araya getirildiğinde birbirine uyuyor; bu harita bu fosillerin nerede bulunduğunu gösteriyor: Cynognathus (kahverengi), Lystrosaurus (turuncu), Glossopteris (yeşil) ve Mesosaurus (mavi)	
<b>Paleoklimsel kanıtlar</b>	Wegener	Kıtalar yeniden bir araya getirildiğinde, kıtaların orijinal olarak buz kaplı alanları eşleşiyor; haritalar daha önce gölgeli olarak buzlanmış alanı gösterir	
<b>Dünya'nın rölyefi</b>	Hess	Hess, okyanus tabanının hendek ve okyanus sırtları gibi özelliklerinin, Deniz Tabanı Yayılması hipotezinde birbiriyle ilişkili olabileceğini fark etti; bu daha sonra levha tektoniği ile kıta özelliklerini de kapsayacak şekilde genişletildi.	
<b>Volkan harita dağılımı</b>		Kırmızı noktalar olarak gösterilen Dünya üzerindeki yanardağların deseni; bunların tümü plaka sınırları veya "sıcak noktalar" ile ilgilidir	

**Tablo 4.22.** Plaka tektoniği teorisini destekleyen ana kanıtlar, devam

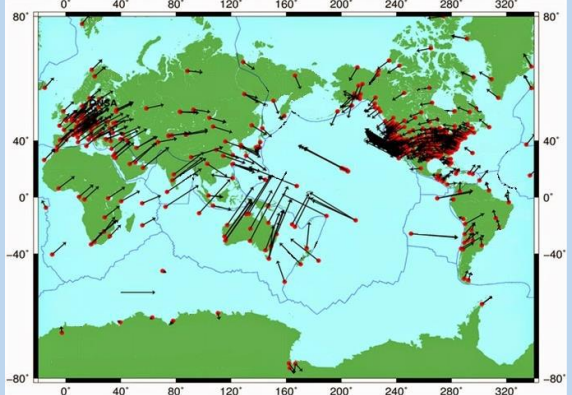
Kanıt	Öneren	Açıklama	Görsel
<b>Deprem haritası dağılımı</b>		Burada küçük turuncu noktalar olarak gösterilen büyük depremlerin dağılımları, birçok yerde deprem olmasına rağmen, çoğunun levha kenarlarında, özellikle yitim bölgelerinde meydana geldiğini göstermektedir.	
<b>Deprem derinlikleri</b>	Benioff, Wadati	Yitim bölgeleri boyunca artan deprem derinliği, yukarıda açıklandığı gibi yitilen (dalan) levhanın eğimini gösterir.	
<b>Manyetik şeritler</b>	Vine ve Matthews, Morley	Okyanus sırtlarının her iki tarafındaki okyanus tabanı bazaltlarındaki simetrik 'manyetik şeritlerin' deseni, yeni okyanusal litosferinin yukarıda açıklandığı gibi her iki tarafa da nasıl yayıldığını gösterir.	
<b>Transform fayları</b>	J. Tuzo Wilson.	Okyanus sırtlarının kaydırıldığı yerlerde, sırtlar arasında yana doğru, ancak aynı yönde sırtlardan uzağa hareket eden olağandışı faylar vardır. Bu transform fayları, San Andreas Fayı örneğinde olduğu gibi farklı türde plaka kenarlarını da birbirine bağlar	



**Tablo 4.22.** Plaka tektoniği teorisini destekleyen ana kanıtlar, devam

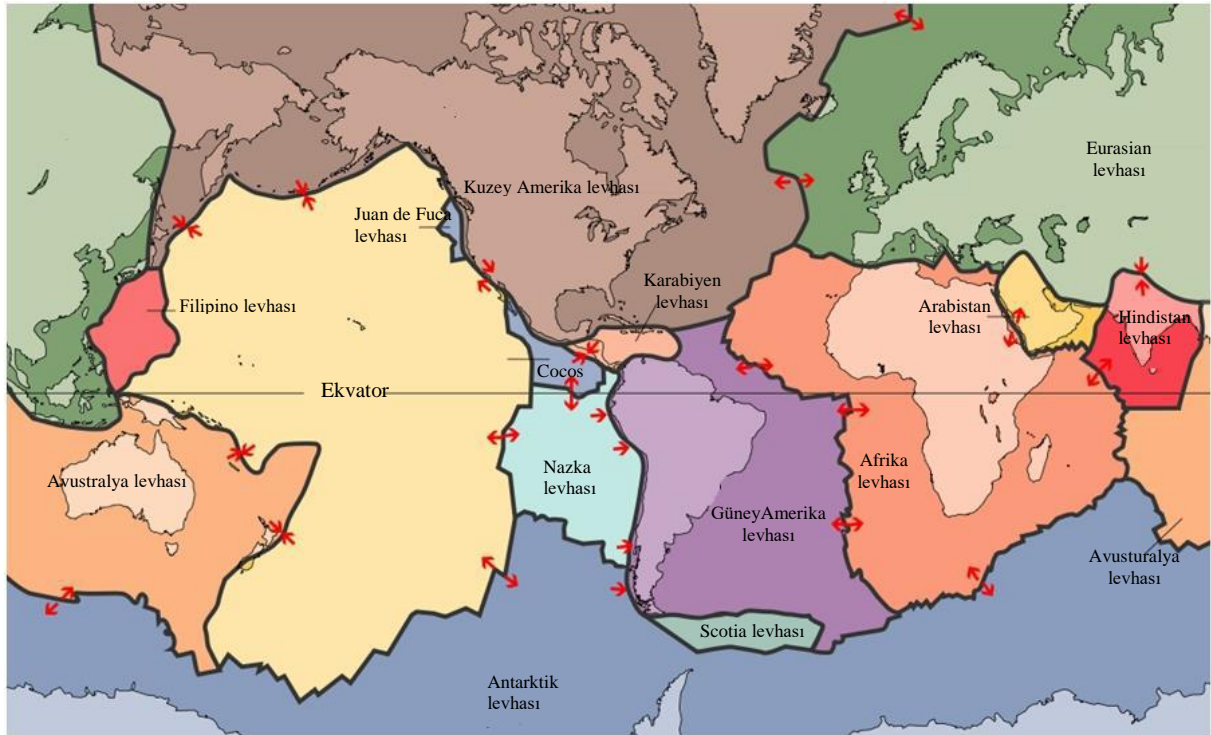
Kanıt	Öneren	Açıklama	İmaj
<b>Sıcak noktalar (Hotspots)</b>	J. Tuzo Wilson	Levhalar mantodaki "sıcak noktalar" üzerinde hareket ederken, bunların arasında volkanik aktivite gelişir; Sönmüş yanardağlar, sıcak noktadan uzakta yaşlanır, böylece yukarıda açıklandığı gibi plaka hareketinin yönünü gösterir.	
<b>Deniz tabanı yaşı</b>		Derin okyanus sondajı, radyometrik olarak tarihlendirilebilen kayaları ortaya çıkardı. Bu harita, okyanusların farklı yerlerinde bulunan en eski kayaların yaşlarını göstermektedir; okyanus tabanı kayaları, okyanus sırtlarına yakın en genç olanlardır ve dışa doğru yaşlanırlar	
<b>Isı akması</b>		Yeryüzünden akan ısının ölçümleri, okyanus sırtlarında ve kıtasal volkanik alanlarda yüksek noktaları, hendeklerde ve sırtlardan uzaklaşırken yavaş, sürekli soğuyan levhalarda soğuk noktaları göstermiştir.	
<b>Mağma bileşimi</b>		Okyanus sırtlarındaki ve sıcak noktadaki patlamalar bazalt; yitim zonu püskürmeleri çoğunlukla andezit ve volkanik küldür; farklı magma türleri, orada gerçekleşen farklı levha süreçleriyle açıklanabilir	

**Tablo 4.22.** Plaka tektoniği teorisini destekleyen ana kanıtlar, devam

Kanıt	Öneren	Açıklama	Görsel
<b>Levha hareket ölçümleri</b>		Günümüz plaka hareketleri GPS ölçümleriyle gösterilir; bu diyagramdaki ok ne kadar uzunsa hareket o kadar hızlı	

Levha tektoniğiyle ilgili birçok bilimsel araştırma, Şekil 4.35'teki gibi, Dünya üzerindeki ana levhaların ve levha kenarlarının ayrıntılı bir haritasını çıkarmak için gereken verileri vermiştir. Bir dünya haritası yalnızca ana levhaları gösterebilir. Ayrıca çok sayıda küçük levha da vardır.

**Şekil 4.35.** Dünyanın başlıca tektonik levhaları; kırmızı oklar, levha kenarlarında levha hareketinin yönlerini gösterir



## 4.2 Hidrosfer




Hidrosfer, geniş okyanuslardan soğuk bir içecek kutusunun dışında görebileceğiniz yoğunlaşmaya ve atmosferin yükseklerinden en derin sondaj kuyusunun dibine kadar gezegenimizdeki tüm suya verilen addır.

### 4.2.1 Kıtasal su





#### 4.2.1.1 Kıtasal su kaynakları

Dünya'daki ana su rezervuarı okyanuslardır, ancak su, Bölüm 1'de açıklanan su döngüsü süreçleri yoluyla kıtalara getirilir. Dünya'daki suyun yalnızca% 2,5'i kıtalarda bulunsa da (geri kalanı okyanuslarda), kıtalardaki tatlı su yalnızca çok çeşitli jeolojik etkilere sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda Dünya'daki yaşam için de hayati önem taşır. Farklı kıtasal su kaynakları Tablo 4.23'te gösterilmektedir.


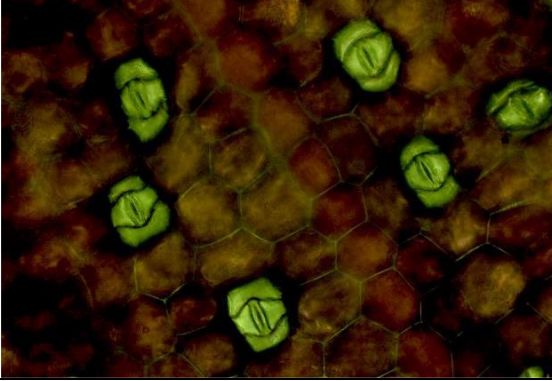
**Tablo 4.23.** Dünya üzerindeki kıtasal su

Su kaynağı	Kıtasal suyun %	Görsel	Görsel lokasyonu
Buzörtüleri, buzullar ve kalıcı kar	68.7		Grönland yakınlarındaki Baffin Körfezi'ndeki Saunders Adası'nı kaplayan buz örtüsü
Yeraltı suyu	30.1		Yerden çıkan yeraltı suyu - Batı Asya'daki Kafkas dağlarında çözülmüş mineraller içeren bir su kaynağı
Zemin buzu ve donmuş toprak (donmuş toprak ve yeraltı suyu)	0.86		'Alaska, ABD'deki Batı Arktik Milli Park'ının donmuş tundrasında permafrost (donmuş toprak) tarafından oluşturulan desenli zemin'

**Tablo 4.23.** Dünya üzerindeki kıtasal su (Devam)

Su kaynağı	Kıtasal suyun %	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Göller</b>	0.26		Pakistan'ın en yüksek rakımlı göllerinden biri olan Satpara Gölü
<b>Toprak nemi</b>	0.05		Aşağı Saksonya, Almanya'daki Lüningsburg'dan nemli toprak
<b>Atmosfer</b>	0.04		Muelle de El Quisco'da gökyüzünde bulutlar, Valparaiso, Şili, 1997
<b>Bataklık suyu</b>	0.03		Sylhet'in Ratargul tatlı su bataklık ormanı, Bangladeş

**Tablo 4.23.** Dünya üzerindeki kıtasal su (devam)

Su kaynağı	Kıtasal suyun %	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Akarsular</b>	0.006		Menderesli Yukon nehri, kuzey Kanada
<b>Biyolojik su</b>	0.003		Bir <i>Tradescantia zebrina</i> yaprağı, terleme sırasında atmosfere su salan yeşil stomaların mikroskop altında görüntüsü.

Kıtasal suyun üçte ikisinden fazlası, kutup bölgelerindeki buzullarda ve buz ve karla kaplı dağlık bölgelerde bulunur. Bu su, karların birikmesiyle buz örtüleri ve buzullar şeklinde gelişirler; eridikçe geri dönüştürülür.

Kalan kıtasal suyun çoğu yeraltında kayaların gözenekli boşluklarında yeraltı suyu olarak veya zeminin donmuş olduğu yerlerde permafrost olarak bulunur. Dünya suyunun% 1'inden azı tüm gölleri, rezervuarları ve nehir sistemlerini oluşturur. Dünya'daki suyun çok küçük bir yüzdesi, atmosferde görünmez su buharı ve bulutların görünür su damlacıkları olarak bulunur. Atmosferik su, yağmur ve kar ve dolu gibi diğer yağış türleriyle kıtalara su taşıyarak hızla geri dönüştürülür.

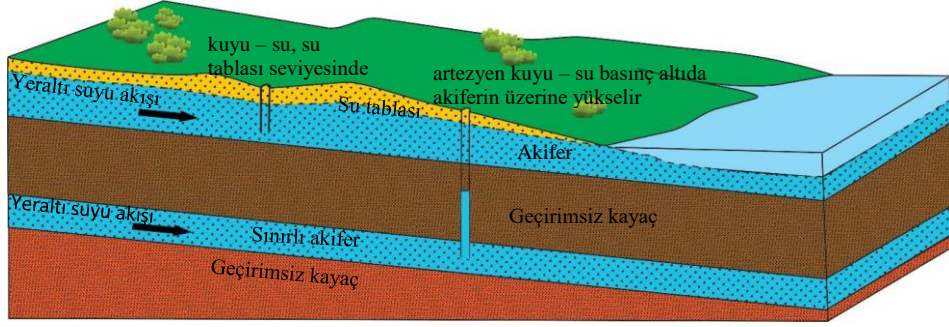
Yağmur yağdığında, yağmurun bir kısmı yer üzerinden oluklara ve küçük derelere ve ardından daha büyük derelere ve nehirlere akar. Bununla birlikte, bir miktar su, **filtrasyon** olarak bilinen bir süreç ile toprağa süzülür. Topraktaki hayvanlar ve bitkiler bu toprak suyunun çoğunu kullanır ve bir kısmı bitkiler tarafından atmosfere geri döndürülür. Bitkiler suyu köklerinden alır, gövdelerine ve dallarına doğru hareket ettirir ve havaya su buharı olarak yapraklarından kaybeder. **Bu terleme (transpirasyon) sürecidir.**

Bazı sular, daha aşağıya, ana kayaca kadar süzülür. Su, tüm küçük gözenek boşluklarının suyla dolu olduğu bir seviyeye ulaşana kadar kayanın içinden aşağı doğru akar. Buna **doymuş bölge** denir çünkü tutabildiği kadar suya doymuştur. Doymuş bölgenin tavanı **su tablasıdır**. Bir kuyuya bakarsanız, çok aşağıda su yüzeyini görebilirsiniz - bu su tablasıdır. Doymuş bölgedeki suya **yeraltı suyu** denir ve bir **kaynakta**, bataklıkta tekrar yüzeye çıkana veya bir nehre, göle veya denize akana kadar yeraltında eğim aşağı akar. Yeraltı suyu yeraltına çok yavaş akar ve bazen kayanın içinde binlerce yıl kalabilir.

Kullanım için çıkarılabilen suyu tutan kayalara **akifer** denir. Çoğu akifer üstlerindeki havaya açıktır, ancak bazen yeraltı suyu içeren kaya geçirimsiz bir tabakanın altına dalar, bu nedenle akifer, **basınçlı akifer** haline gelir ve içerdiği su **artezyen suyudur**. Basınçlı akiferlerde sondaj kuyuları açıldığında, su

ilk sınırlandığı andaki seviyesine yükselir (Şekil 4.36). İlk sınırlandığı seviye, sondaj kuyusunun açıldığı yeryüzeyinin üzerindeyse, su, **artezyen bir kuyuda** yerden dışarı akar.

Şekil 4.36. Akiferler



#### 4.2.1.2 Su kaynakları

Su, en önemli kaynaklarımızdan biri olabilir. Su olmadan hayat imkansızdır ve insanlar hayatta kalamaz. Su, tarım ve birçok endüstriyel ihtiyaç için olduğu kadar günlük ev ihtiyaçlarımız için de hayati öneme sahiptir. Küresel olarak suyun çoğu tarım için kullanılmaktadır; küresel su kullanımının yaklaşık dörtte biri endüstri tarafından ve yalnızca yaklaşık% 8'i tüm dünyada haneler tarafından yapılmaktadır. Yine de, dünya nüfusunun yalnızca% 85'i temiz musluk suyuna erişebiliyor. Temiz suya erişimin insan sağlığı için en önemli faktör olduğu bilinmesine rağmen, insanların geri kalan% 15'i sularını nehirlerden, göllerden veya kuyulardan sağlamak zorundadır.

Nehirlerden ve baraj rezervuarlardan gelen yüzey sularından veya yeraltı suyundan gelen musluk suyu, kullanıma uygun hale getirilmesi için arıtılmalıdır. Arıtma, asılı çamurlu tortuları gidermek için çöktürme ve filtreleme ve bakteriler, algler ve virüsler gibi organik materyalleri çıkarmak için kimyasal ve biyolojik yöntemleri içerir.

Dünya'daki suyun çoğu yüzey kaynaklarından geliyor, ancak yaklaşık% 40'ı akiferlerden pompalanan yeraltı suyudur. Yeraltı suyu doğal olarak ana kayadan süzülür ve bu nedenle genellikle yüzey suyundan çok daha temizdir. Ticari yeraltı suyu kaynakları, doğrudan kaynaklardan alınan suyun çoğu güvenli bir şekilde içilebilmesine rağmen, hala su arıtmasından geçmektedir. Aslında, kaynak suyunun çoğu herhangi bir işlem görmeden ticari olarak şişeleniyor.

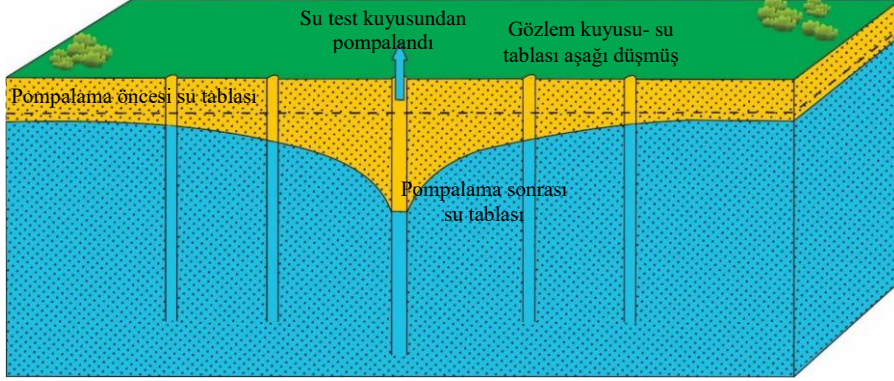
#### Kutu 4.11. Ticari olarak satılan kaynak suyu

Satılan çok geniş bir yelpazede şişelenmiş kaynak suları bulunmaktadır.



Hidrojeologlar, toprağın yayılımını ve bir bölgenin jeolojisini inceleyerek ve ardından **kuyu** adı verilen bir test sondaj kuyusu açarak suyu araştırır. Test kuyusunun her iki tarafında bir sıra halinde bir dizi gözlem kuyusu açılır ve test kuyusundan su pompalanır ve su tablasının aşağı çekilmesi gözlenir. Su tablasının aşağı çekilmesi geniş bir alandaysa, su test kuyusuna kolayca akar ve muhtemelen başarılı olur. Bununla birlikte, su çekme alanı küçükse, kaya çok geçirgen değildir ve kuyu muhtemelen su kaynağı olarak güvenilir olmaz (Şekil 4.37).

**Şekil 4.37.** Kuyu testi yapımı



Başarılı bir kuyu bulunduğunda, suyun kuyudan pompalanması gerekir (akan artezyen kuyu olmadığı sürece). Geçmişte pompalama elle veya büyük buhar motorlarıyla yapılıyordu. Günümüzde el pompaları hala kırsal alanlarda rüzgar pompalarıyla birlikte kullanılmaktadır, ancak başka yerlerde yeraltı suyu dizel veya elektrikli pompalar kullanılarak pompalanmaktadır.

**Kutu 4.12.** Yeraltı suyu pompalama metodları



Bir zamanlar devasa bir buhar pompalama motoru içeren Viktorya dönemi pompa istasyonu, Londra, İngiltere,



Rüzgar pompaları, Namaqualand, Güney Afrika



Günümüzde kullanılan dizel yeraltı suyu pompası, İngiltere



Güncel el pompası, Pindial Railway Station, Hindistan

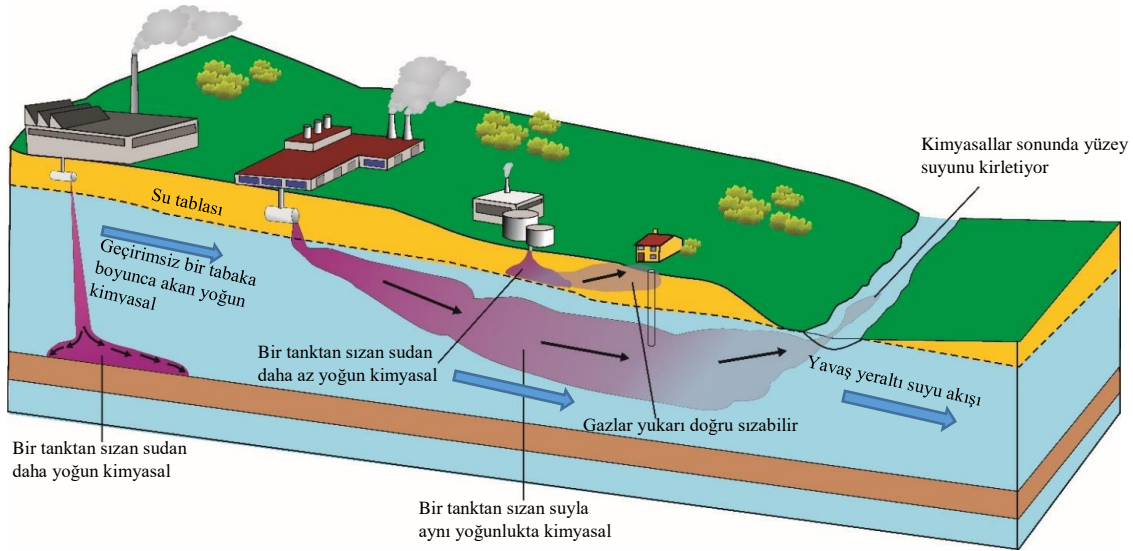
### 4.2.1.3 Su kirliliği

Yüzey ve yeraltı suları doğal kaynaklarla kirlenebilir, ancak su kirliliğinin çoğu insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Kirlenme, yüzey suyu veya su tablası üzerinde yüzen yakıtlar gibi hafif (düşük yoğunluklu) akışkanlar; rezervuarların veya akiferlerin dibine batan ağır sıvılar (yüksek yoğunluklu); veya suda süspansiyon haline getirilmiş veya çözülmüş çok çeşitli malzemelerle gerçekleşebilir.

Yüzey suyunun ana kirleticileri kentsel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar yollardan gelen tuz ve yağ, sızan kimyasal ve yakıt tanklarından ve maden atık yığınlarından kaynaklanan endüstriyel kirlilik ve temizleyicileri, deterjanları, yağı, boya ve bahçe ürünlerini kanalizasyona dökerek atan bireysel kirliliktir. Ayrıca tarım da, hayvan atıkları, gübre ve böcek ilaçları dahil olmak üzere atık üretir.

Yeraltı sularında da yer altı kirliliği vardır. Bu, kentsel depolama sahalarından, sızıntı yapan kanalizasyonlardan ve septik tanklardan, endüstriyel boru hatlarından ve kentsel ve kırsal alanlardaki kötü inşa edilmiş kuyulardan gelebilir (Şekil 4.38).

Şekil 4.38. Yeraltı suyu kirliliği kaynakları



Çevre jeologları, hem yüzey hem de yeraltı su kaynaklarının kirlenmesini önlemek için çalışırlar. Atıkları depolamak için geçirimsiz kayaç alanları ararlar, böylece atıklardan gelen sıvılar, su kaynaklarına sızmaz ve bunları kirlilemez; ayrıca onlar endüstriyel ve atık depolama alanlarında sızıntı olup olmadığını da izlerler. Çevrenin korunması, düzenli yüzey suyu numunelerinin toplanmasını ve bunları kontaminasyon için test etmeyi ve ayrıca potansiyel kontaminasyon alanları etrafındaki test kuyularının izlenmesini kapsar. Yeraltı suyu kirliliği meydana geldiğinde temizlenebilir, ancak iyileştirme yöntemleri çok pahalıdır.

### 4.2.2 Okyanus suyu

Okyanus ve deniz suyu bugün Dünya yüzeyinin üçte ikisinden fazlasını kaplar, ancak jeolojik geçmişte okyanusların çok daha büyük veya çok daha dar alanları kapladığı zamanlar da olmuştur. Dünya'nın en büyük derin okyanusları arasında Pasifik, Atlantik, Hint, Arktik ve Güney Okyanusları bulunur. Ayrıca kıtasal şelf üzerinde de birçok deniz vardır.



### 4.2.2.1 Su bileşimi

Deniz suyu yaklaşık% 3,5 oranında çözünmüş tuz içerir, bu nedenle normal deniz suyunun tuzluluk oranı% 3,5'tir. Tuz, esas olarak sodyum ve klor iyonları içerir, ancak aynı zamanda magnezyum, kalsiyum, potasyum, hidrojen karbonat, sülfat ve diğer küçük iyonları da içerir. Bunlar uzak jeolojik geçmişte nehirler tarafından denize getirilmiş ve orada konsantre olmuşlardır.

Nehirlerden gelen tatlı suyun deniz suyuyla karıştığı yerlerde tuzluluk azalır ve su acı hale gelir. Başka yerlerde, yoğun bir şekilde buharlaşan sığ denizlerde, suyun uzaklaştırılması tuzluluğun artmasına neden olur, ta ki su sonunda kristaller oluşturacak ve deniz dibine çökecek kadar aşırı doymuş hale gelene kadar devam eder. Deniz suyunun tadı kötüdür, ancak aşırı doymuş deniz suyunun tadı gerçekten korkunçtur ve gözlerinizi yakabilir.

Tatlı su, tuzlu sudan daha az yoğun olduğundan nehir suları denize aktığında suları uzun süre karışmadan yüzeyde yüzer. Genellikle yukarıdaki tatlı su ile altındaki daha tuzlu deniz suyu arasında net bir sınır vardır.

### 4.2.2.2 Gelgitler

Kıyı bölgeleri, Ay'ın ve Dünya'nın dönüşüne bağlı olarak Güneş'in kütle çekiminin neden olduğu gelgitler tarafından etkilenir.

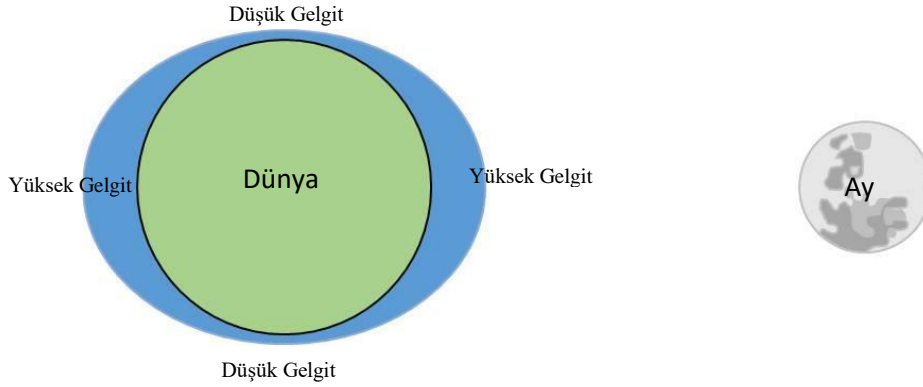
**Şekil 4.39.** Gel (Med) ve Git (Cezir) - Humber Köprüsü, İngiltere



Kıyı bölgelerinin çoğunda, her gün iki düşük gelgitle ayrılmış iki yüksek gelgit gelişir. Gelgit, en yüksek seviyesine, yüksek gelgite, ulaşana kadar birkaç saatin üzerinde bir sel dalgası gibi yükselir. Sonra, döngü yeniden başlamadan önceki en alçak gelgit noktasına, alçak gelgite, ulaşana kadar yavaşça alçalır. Yükselen ve alçalan gelgitler, dalga bölgesini sahillerde ve kayalık kıyı bölgelerinde yukarı ve aşağı hareket ettirir. Bu arada, gelgit düzlükleri suyun çekilip tekrar açığa çıkmasından önce oldukça durgun sular altında kalır.

Gelgitlerin ana nedeni, Ay'ın çekim kuvvetidir. Ay'ın çekmesi, Şekil 4.40'ta gösterildiği gibi, Ay'ın bulunduğu Dünya tarafında ve karşı tarafta da, aralarında düşük gelgitler olan yüksek bir gelgite neden olur. Bu nedenle, Dünya günde bir kez Ay'ın altında dönerken, çoğu bölgede günde iki yüksek ve iki düşük gelgit yaşanır. Bunun gerçekleşme zamanı yaklaşık 25 saat olduğundan, gelgit düzeni her gün yaklaşık bir saat ilerler.

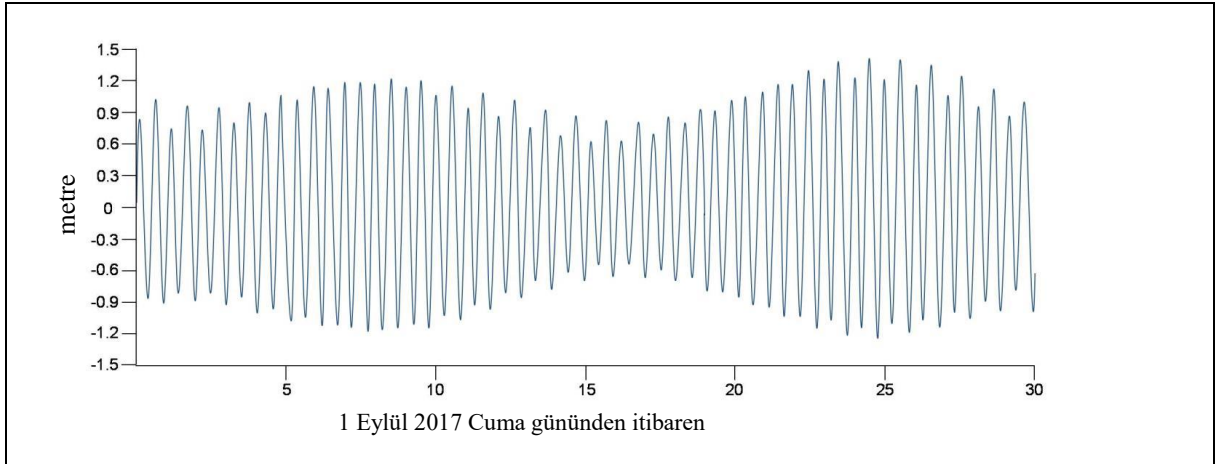
Şekil 4.40. Gelgit şişkinliklerine sebep olan ay



Güneş çok daha uzakta olmasına rağmen Ay'dan çok daha büyüktür ve bu yüzden etkisi de vardır. Bu, Ay ve Güneş hizalandığında, daha yüksek gelgitler ve daha düşük gelgitler ile daha fazla çekme olduğu anlamına gelir - bunlar **Yüksek (ilkbahar) gelgitlerdir (Spring tides)**. (İlkbahar gelgitlerinin ilkbahar mevsimiyle hiçbir ilgisi yoktur, ancak kafa karıştırıcı bir şekilde, en yüksek ilkbahar gelgitleri genellikle ilkbahar ve sonbaharda görülür). Bununla birlikte, Ay ve Güneş'in çekimi birbirine dik açı yaptığında onların toplam yerçekimi çekimleri azalır, daha düşük yüksek gelgitler ve daha yüksek alçak gelgitler - **Alçak gelgitler (neap tides)** gelişir.

Çoğu kıyı bölgesi için sonuç, Şekil 4.41'de gösterilene benzer bir gelgit haritasıdır. Grafik, her gün iki düşük ve iki yüksek gelgite sahip olduğunu, ancak 8. ve 25. günlerde yükselmenin en yüksek ve alçaltmanın en düşük olduğunu gösteriyor - bunlar bahar gelgitlerinin olduğu günlerdir. Neap gelgitler 3. ve 16. günlerde meydana gelir. En geniş kumsalları ve gelgit düz çamurlarını görmek istiyorsanız, alçak bahar gelgitinde sahili ziyaret edin. Bununla birlikte, dik kıyı şeridinin en büyük kıyı erozyonunu görmek istiyorsanız, gelgit dalgaları sahile ve kayalıklara çarptığı en yüksek bahar gelgitlerini ziyaret edin. Aynı zamanda, gelgit düzlükleri tamamen sular altındadır.

Şekil 4.41. Gelgit değişiklikleri - Bridgeport, Connecticut, ABD'den bir örnek



### 4.2.2.3 Dalgalar

Deniz kıyısındaki dalgaları izlediğinizde, sanki büyük miktarda suyu hareket ettiriyorlarmış gibi görünürler. Bununla birlikte, sörf çizgisinin ötesinde süzülen herhangi bir şeyi izlerseniz, sadece yukarı ve aşağı hareket ettiğini ve yana doğru hareket ettirilmediğini göreceksiniz. Bunun nedeni, bir dalga tepesi geçerken, suyun biraz yükselip ileri doğru hareket etmesidir, bir dalga geçerken, aşağı düşer ve biraz geriye doğru hareket eder, böylece yüzey suyu sadece dikey bir daire içinde hareket eder. Her dalganın derinliklerinde, su, dalga derinliğe sönümleninceye kadar daha küçük daireler halinde hareket eder. Bu nedenle, fırtınalı açık okyanuslardaki dalgalar birkaç metre yükseklikte olabilse de, suyun genel olarak yatay hareketine neden olmazlar.

Dalgalar sahile ulaştıkça deniz tabanındaki sürtünme artar, bu nedenle dalganın tabanı yavaşlar ve dalganın daha yüksek büyümesine neden olur. Sonunda, dalga ileriye doğru kırılacak kadar yükselir. Kırıcılar yüksek olduğunda, sörf yapmak için iyidirler. Kırıcı sahile düştüğünde, bir su dalgası sahile taşar, ancak bir sonraki dalga gelene kadar yerçekimi altında geri akar.




**Şekil 4.42.** Dalgalar - büyük ve küçük



Dalgalar, açık okyanusta deniz yüzeyinden esen rüzgarlardan kaynaklanır. Rüzgar ile su arasındaki sürtünme, küçük dalgaların yükselmesine neden olur ve bunlar rüzgar tarafından ileri doğru itilir. Dolayısıyla rüzgarın estiği süre ne kadar uzun ve üzerinde estiği okyanus mesafesi ne kadar uzun olursa, dalgalar o kadar büyük olur; daha güçlü rüzgarlar da daha büyük dalgalar üretir. Bu nedenle, en büyük dalgalara sahip en iyi sörf plajları, açık okyanusların karşısında bulunur.

Birlikte çalışan dalgalar ve gelgitler, bir dizi kıyı özelliği üretir.

**Tablo 4.24.** Dalgalar ve gelgitler tarafından üretilen kıyı özellikleri

Süreç	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Fırtına sahil oluşumu</b>	Bir fırtına, yüksek bahar gelgitine denk geldiğinde, fırtına surjü, fırtına dalgalarını normalden daha fazla kumsala iter ve kumsalın arkasında bir çakıl ve çakıl kümesi oluşturur.		Filipinler'deki Batanes'deki Veluga plajının arkasındaki fırtına plajı
<b>Gelgit düzlüğü oluşumu</b>	Yüksek gelgitler sırasında ve özellikle yüksek ilkbahar gelgitlerinde gelgit düzlükleri su ile kaplanır; düzlük her su basılmasında bir tabaka oluşturacak şekilde için durgun sudan çamur çöker; Katmanlar zamanla gelgit düzlüklerine dönüşüyor		Malezya, Malacca Şehri, Pulau Melaka yakınlarındaki gelgit çamur düzlükleri
<b>Kıyı oku (Spit) oluşumu</b>	Dalgalar bir açıyla bir sahile çarptığında, çöken dalganın akıntısı kumu çapraz olarak sahile doğru iter, ancak dalga kumu taşıyarak sahile geri döner. Böylece kum, testere dişleri gibi şekillendirilmiş bir hareketle sahil boyunca sabit bir şekilde hareket eder. Plajın sonunda kum, bir burun oluşturarak denize taşınır.		Güney Adası, Yeni Zelanda'nın kuzey ucundaki Farewell Spit'in uydu görüntüsü

#### 4.2.2.4 Dünya üzerindeki büyük ölçekli akışkan sirkülasyonu

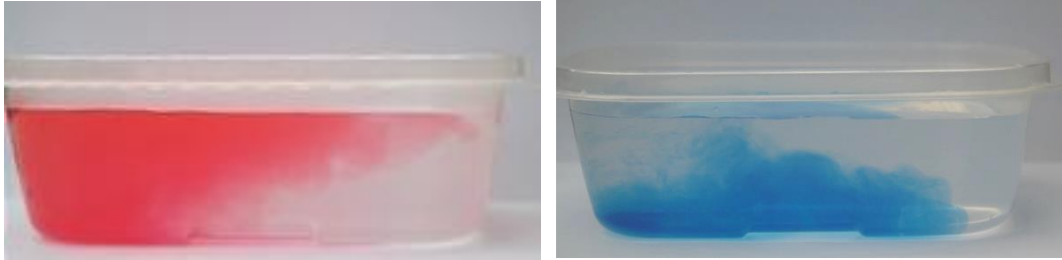
Hem okyanuslar hem de atmosfer akıcıdır ve bu akıcılar üzerinde benzer etkiler üreten benzer kuvvetler etki eder.

Her iki tür akıcı (su ve hava) ısıtıldığında, çevreleyen akıcıdan daha az yoğun hale gelirler ve böylece yükselirler; daha soğuk koşullara ulaştıklarında dışarı doğru akarlar. Okyanuslarda bu, tropikal bölgelerde ısınan suyun okyanus yüzeyinden akıntılar halinde aktığı anlamına gelir. Ilık su uzaklaştıkça alttan daha soğuk su yükselir; bu su genellikle besinler açısından zengindir ve bu nedenle bunlar verimli okyanus yaşamının alanlarıdır. Bu arada, atmosferde yükselen sıcak hava, Dünya yüzeyine daha az basınç uygulayarak **düşük basınca** neden olur. Sıcak hava, üst atmosferde yükselir ve dışarı doğru akar. Bu akışkan akışları, konveksiyonun bir parçasıdır.

Akışkanlar soğutulduğunda daha yoğun hale gelirler ve batarlar. Okyanuslarda en soğuk su, kutup bölgelerindedir. Bu soğuk su derin okyanus tabanına batar ve akar. Atmosferde soğuk hava çökerek **yüksek basınca** neden olur. Dünya yüzeyine ulaştığında, yüzey boyunca düşük basınçlı alanlara doğru akar; bu yüzey hava akışı, rüzgardır. Bu akışlar konveksiyon döngüsünü tamamlar.

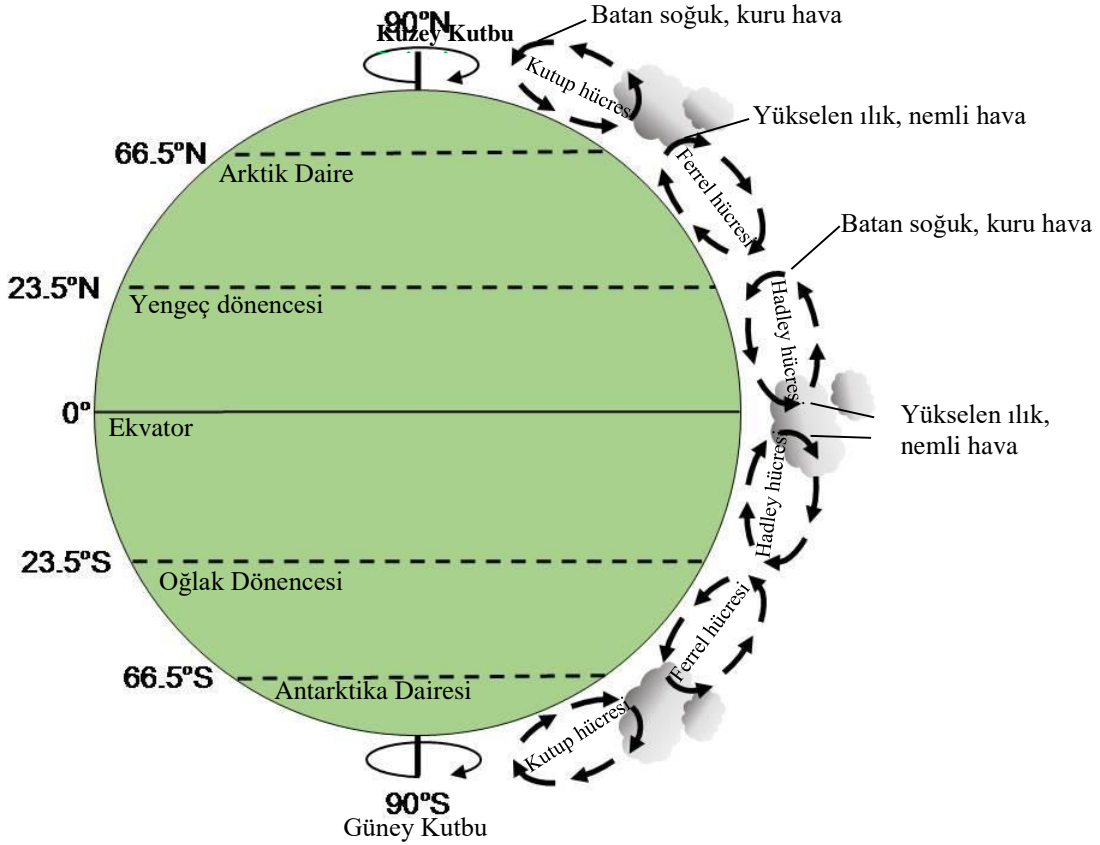
Sıcak ve soğuk akışkanların akışı da çok daha küçük ölçeklerde gerçekleşir. Sık sık bir ısıtıcı veya ateş üzerinde yükselen sıcak havanın parıldadığını görebilirsiniz; tam tersi bir dondurucuyu çıplak ayakla açarsanız, soğuk havanın cildinizin üzerinden aşağıya doğru aktığını hissedebilirsiniz. Banyo yapıyorsanız ve daha sıcak su eklerseniz, sıcak suyun yüzeyden aktığını hissedebilirsiniz, oysa soğuk su eklerseniz banyonun altından akar ve pek hoş olmaz (Şekil 4.43).

**Şekil 4.43.** Yüzeyden akan kırmızı renkli sıcak akıntı; alttan akan soğuk mavi renkli akım - her ikisi de plastik bir yemek kutusunda



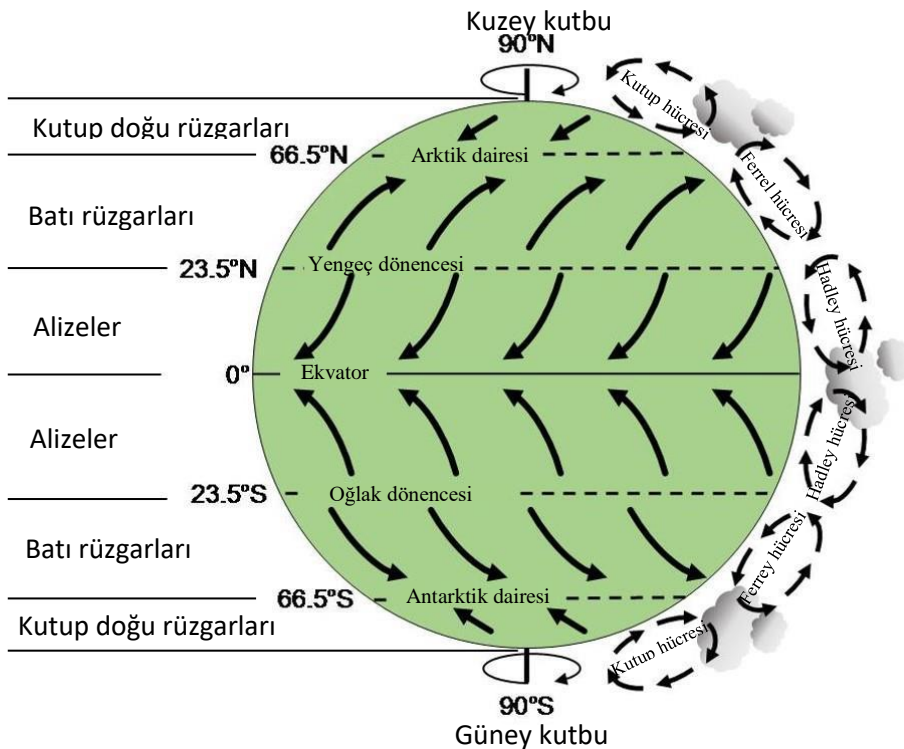
Çok sıcak olan ekvator bölgelerinde yükselen hava ve düşük basınç vardır. Şekil 4.44'te gösterildiği gibi, üst atmosfer boyunca akan sıcak hava soğur ve subtropikal çöl bölgelerine batar. Bu batan hava yere ulaştığında, bir kısmı Hadley hücresi adı verilen tropikal / subtropikal dolaşımı tamamlamak için Ekvator'a doğru akar. Ancak batan havanın bir kısmı kutuplara doğru akar. Sıcak denizleri geçerken ısınır ve sonunda yükselir. Üst atmosferde, Ferrel sirkülasyon hücresini tamamlamak için bir miktar hava Ekvator'a doğru akar. Yine de bazıları kutuplara doğru esiyor ve bunu yaparken soğuyor. Bu, sonunda kutupların üzerinde batar ve Dünya'nın yüzeyinde Ekvatora doğru akarak Polar dolaşım hücresini tamamlar.

Şekil 4.44. Dünyadaki hava kütleleri sirkülasyonu



Bu basit atmosferik dolaşım modeli, Dünya'nın dönüşünden etkilenir. Kuzey Yarımküre'deki hava akışları saat yönünde saptırılırken, Güney Yarımküre'deki hava akışları saat yönünün tersine döndürülür. Bu, Şekil 4.45'teki gibi genelleştirilmiş bir yüzey rüzgar sirkülasyonu modeli verir.

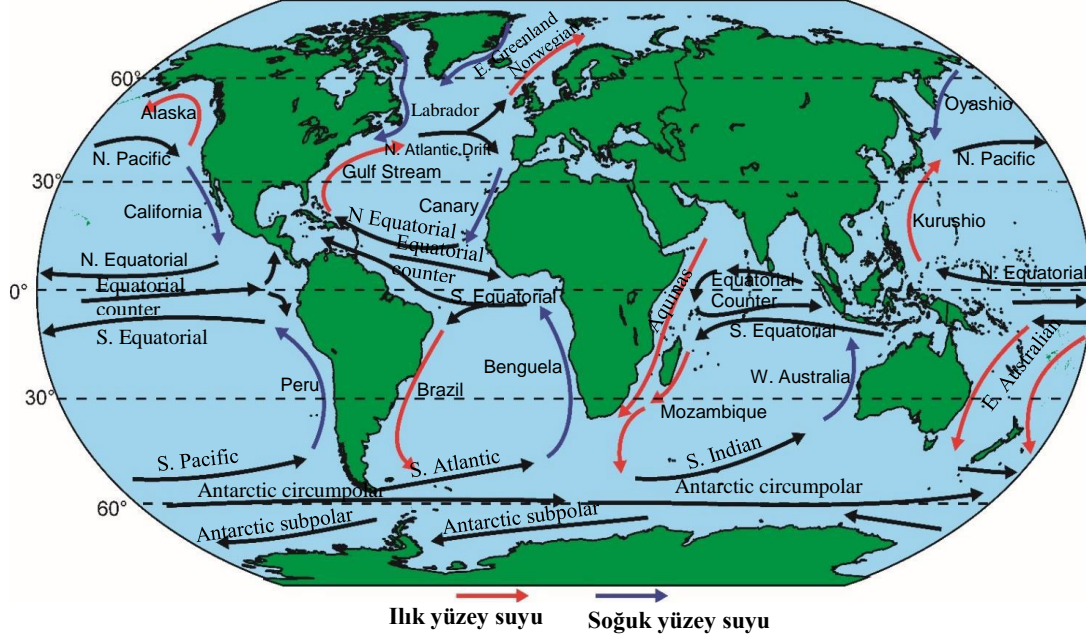
Şekil 4.45. Dünya'daki genelleştirilmiş yüzey rüzgar modeli



Hadley hücrelerinin tabanındaki genel yüzey rüzgarları, doğudan esen Alizelerdir (Trade winds). Ferrel hücrelerinin altındakiler Batı Rüzgarlarıdır (batıdan esen rüzgarlar) ve Kutup hücresi yüzey rüzgarları Kutup doğu rüzgarlarıdır.

Küresel rüzgarlar okyanus yüzeyinde sürüklenerek rüzgarın estiği yönde hareket etmesine ve doğal akış yönüne katkıda bulunmasına neden olur - Kuzey Yarımküre'de saat yönünde ve Güney Yarımküre'de saat yönünün tersi yönde. Dolayısıyla, ana yüzey okyanus akıntıları, Dünya'nın dönüşü ile Kuzey'de saat yönünde ve Güney Yarımküre'de saat yönünün tersine döner (Şekil 4.46).

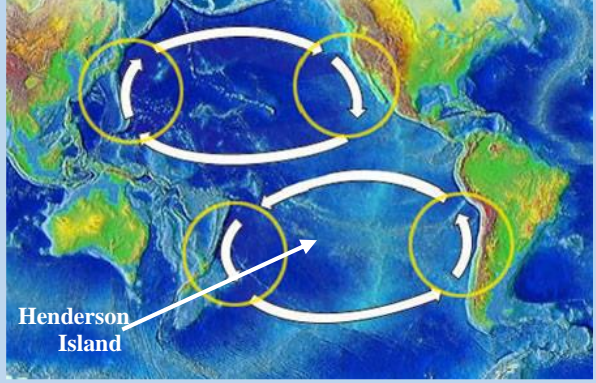
Şekil 4.46. Yüzey okyanus sirkülasyonları



**Kutu. 4.13.** Okyanus akıntıları ve dünyadaki en kirli ada

Güney Pasifik Okyanusu'ndaki Henderson Adası ıssızdır ve herhangi bir kıtadan en uzak adalardan biridir. 2015 yılında adaya bir keşif gezisine öncülük eden bilim insanı Jennifer Lavers, orada oluşan plastik kirliliğinin miktarına hayret etti. O, "Seyahatlerimde - en uçra yerlerin bazılarında - çok fazla plastik gördüm - ama bunların en başındaki Henderson Adasıdır. Plastik miktarı gerçekten endişe verici ve nefesinizi kesiyor." dedi. Keşif sırasında, kumsalın her metrekaresinde 671 parça plastik bulundu ve tüm adanın sahillerinin 37 milyon parçadan fazla enkaz içerdiğini tahmin edildi - dünyanın kaydedilen en kötü plastik kirliliği. Kirlilik, yaban hayatına kötü bir şekilde zarar veriyordu: Plastik iplerle boğulmuş bir kaplumbağa bulundu ve keşiş yengeçleri evlerini plastik kozmetik kaplarda yapıyorlardı. Kirlilik, Güney Pasifik Girdabının merkezinin yakınında toplanıyor. Bu okyanus yüzey akıntısı, güney Pasifik Okyanusu'nda saat yönünün tersine doğru dolanır ve merkeze doğru yüzen enkazları taşır. Jennifer Lavers, "Plastik okyanusa girdikten sonra, mevcut teknolojiyle onu çıkarmak neredeyse imkansız. Odak noktasının, öncelikle oraya ulaşmasını engellemek olması gerekiyor." dedi. O, çok sayıda plastik diş fırçasının su ile taşındığını gördü ve bambu ve ağaç lifinden yapılan diş fırçalarının maliyeti plastik olanlarla aynı, ancak yplastik olanların yüzlerce yıl Dünya'yı kirlileteceğini söyledi. Herkes kumsallara çöp atmamayı bırakmalı ve daha az zararlı maddelere geçerek daha az plastik kullanmalıdır.

**Kutu. 4.13.** Okyanus akıntıları ve dünyadaki en kirli ada; devam



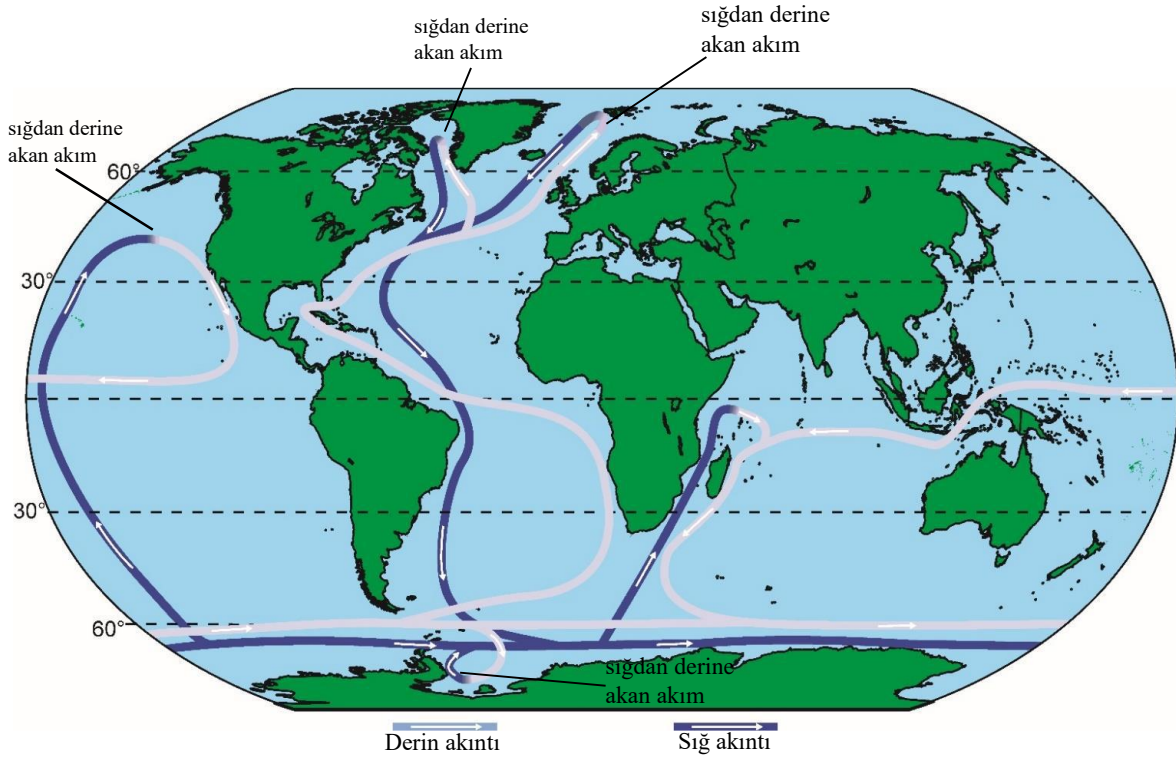
Kuzey ve Güney Pasifik Okyanusunda dolaşımda olan yüzey okyanus akıntıları



Pasifik Okyanusu'nun uzak güneyindeki ıssız Henderson Adası'nın kirli sahili

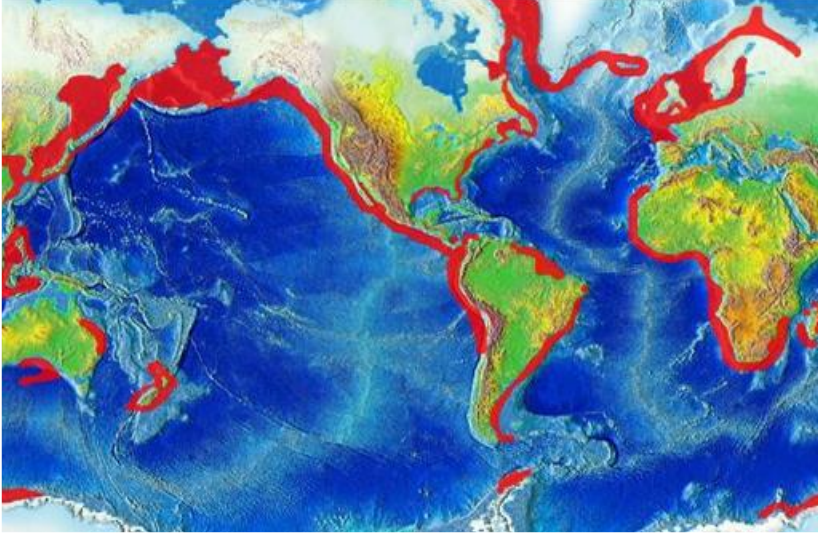
Yüzey okyanus akıntıları, derin okyanus akıntılarıyla bağlantılıdır. Sıcak okyanus akıntılarının kutuplara doğru aktığı yerlerde, buharlaşma nedeniyle daha soğuk ve daha tuzlu hale gelirler. Bu, yoğunluklarını artırır, bu nedenle kutupların yakınında soğuk, yoğun tuzlu su akıntıları olarak batarlar. Bu, Şekil 4.47'de gösterilen sığdan derine dolaşım modelini üretir.

**Şekil 4.47.** Dünya okyanuslarının sığdan derine dolaşım modeli



Daha sıcak yüzey sularını uzaklaştıran rüzgarların neden olduğu soğuk, besin açısından zengin derin okyanus suyunun yükselmesi (upwelling), plankton çoğalmasıyla sonuçlanır; bunlar, Şekil 4.48'de gösterildiği gibi, dünyadaki en iyi balık tutma alanlarına besin sağlar.

**Şekil 4.48.** Soğuk, derin okyanus sularının yükselmesiyle üretilen, kırmızıyla gösterilen en iyi balıkçılık alanları



Etkileşimler, Dünya sistemlerinin birbirleriyle ne kadar yakından bağlantılı olduğunu gösterir. Atmosferik hava veya rüzgarın akımı yüzeydeki okyanus akıntılarını yönlendirirken, okyanus havayı ısıtır ve atmosferik dolaşıma katkıda bulunur. Daha sonra, besin açısından zengin okyanus suyunun yükselmesi (Upwelling), zengin deniz yaşamına neden olur. Atmosfer, hidrosfer ve biyosfer, bu süreçlerle açıkça birbirine sıkı sıkıya bağlıdır.

### 4.3 Atmosfer

Diğer küreler gibi Dünya'nın atmosferi de Dünya'daki yaşam için kritiktir. Atmosferin birkaç katmanı vardır, ancak yaşam için en önemli katman en alt katman olan troposferdir; bu katman en oksijenli ve yaşam için doğru sıcaklığa sahip olanıdır. Troposfer, Ekvator'da yaklaşık 16 km kalınlığındadır ve kutuplara doğru incilir. Dünya'nın kabuğu, bir futbol topuna yapıştırılmış bir posta pulu kalınlığındaysa, troposfer, üstüne yapıştırılmış yarım kalınlıkta bir posta pulu gibidir. Troposferin üstündeki katman, bizi Güneş'ten gelen zararlı ultraviyole radyasyonundan koruyan ozon içerdiği için de önemlidir (Şekil 4.49 ve 4.50).

**Şekil 4.49.** Dış çevresinde mor renkte çok ince atmosfer katmanını gösteren "mavi bilye" Dünya



**Şekil 4.50.** Turuncu troposfer tabakası ve üstündeki ozon içeren beyaz tabakayı gösteren dış atmosferde yörüngesinde ilerleyen uzay mekiği *Endeavour*





### 4.3.1 Atmosferik kompozisyon

Başlangıç Dünya'sı 4 milyar yıldan daha önce soğuduğu için, oluşan herhangi bir erken atmosfer güneş rüzgarı tarafından süpürülmüştür ve Dünya göktaşları tarafından bombardımana tutulmuştur. Ancak bombardıman azaldıkça, yoğun volkanik aktivite, yeni bir atmosfere su, karbondioksit ve nitrojen, metan ve kükürt gibi diğer gazları eklemiştir. Suyun çoğu atmosferden yağmur olarak yağarak ilk okyanusları oluşturmuştur.

Bu erken atmosfer oksijen içermiyordu. Yaklaşık 2,5 milyar yıl önce, fotosentez yapan ilk bakteri okyanuslarda gelişti. Bakteriler atmosferden karbondioksiti absorbe etti ve fotosentez yoluyla oksijeni serbest bıraktı (Şekil 4.51). İlk oluşan oksijen, okyanus suyundaki demir gibi diğer malzemelerle reaksiyona girdi ve bu nedenle atmosferde serbest oksijenin birikmesi, okyanuslarda oluşmasından yaklaşık 200 milyon yıl sonra gerçekleşmiştir.

**Şekil 4.51.** Fotosentez yapan, karbondioksiti absorbe eden, oksijen açığa çıkaran mikroskobik okyanus bakterileri



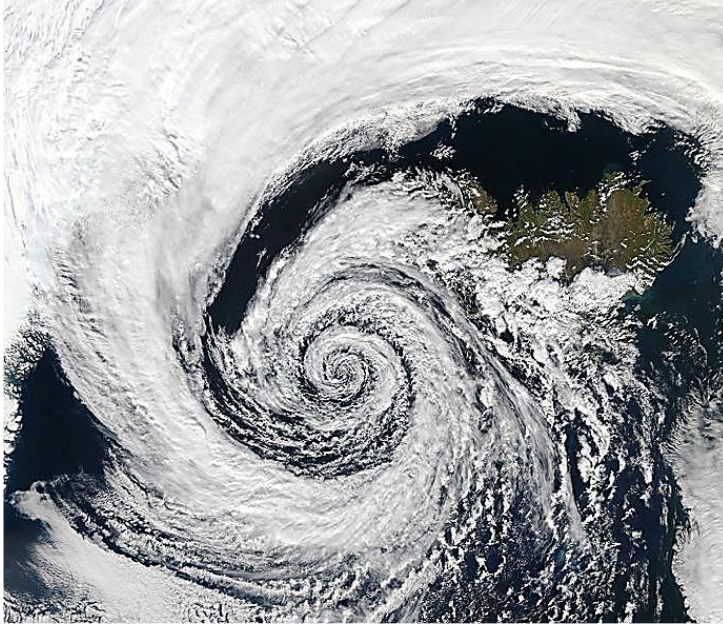
Atmosferdeki serbest oksijen, Dünya yüzeyini ilk kez oksitleyici bir ortam haline getirdi, ancak Kambriyen döneminin başlangıcı olan 541My öncesindeki Prekambriyen zamanının sonuna kadar, oksijen kullanan hayvanların Dünya'da bolluğu görülmedi. O zamandan beri atmosferi oluşturan farklı gazların yüzdeleri değişmeye devam etti. Bugün atmosfer, az miktarda diğer gazlarla birlikte % 78.09 nitrojen, % 20.95 oksijen, % 0.93 argon ve % 0.04 karbondioksit içermektedir. Aynı zamanda, % 4'ten fazlaya kadar değişen miktarda su buharı içerir, ancak çok fazla değiştiği için bu, atmosferik gazların yüzde hesaplamalarına dahil edilmemiştir.

Havadaki su buharı miktarının ölçüsü nemdir. Hava % 100 neme ulaştığında, artık su buharını tutamaz. Daha sonra görünmez gaz, küçük sıvı su damlacıklarına (yoğunlaşma, sis, duman, çığ veya bulut) dönüşmeye başlar. Damlacıklar daha sonra yağmur veya diğer türden yağışlar şeklinde düşen su damlacıkları veya buz kristalleri oluşturmak üzere bir araya toplanabilir. Çok nemli hava, sıcak (genellikle "kavurucu" olarak adlandırılır) veya soğuksa (genellikle "soğuk ve rutubetli" olarak tanımlanır) rahatsızlık verir, bu nedenle insanlar genellikle kuru hava koşullarını tercih eder.

### 4.3.2 Atmosferik akış

Küresel hava akışı, yukarıdaki Bölüm 4.2.2.4'te gösterildiği gibi, Dünya'nın dönüşü ile birlikte yoğunluk farklılıklarına neden olan havanın farklı miktarlarda ısınması tarafından yönlendirilir. Bunlar, daha yerel hava akışlarında da kilit faktörlerdir. Sıcak hava kütleleri, Dünya'nın çeşitli bölgelerinde yükselir; onlar bunu yaparken, dönen Dünya onların Kuzey Yarımküre'de saat yönünün tersinde ve Güney Yarımküre'de saat yönünde dönmelerine neden olur. Dünya yüzeyinde düşük basınca neden olan bu yükselen hava kütlelerine siklon denir. Siklonların tabanında, Dünya'nın yüzeyinde hava, Şekil 4.52'deki bulut oluşumları tarafından seçilen sarmal rüzgarlar olarak içe doğru akar.

**Şekil 4.52.** 4 Eylül 2003'te İzlanda yakınlarındaki bir kasırganın sarmal bulutları



Soğuk hava, sıcak havadan daha az su tuttuğundan dolayı yükselen havanın soğumasıyla bulutlar oluşur. Su, daha sonra yağmur veya kar üreten bulut damlacıklarına dönüşür. Dolayısıyla siklonlar normalde rüzgarlı ve ıslak koşullara neden olur.

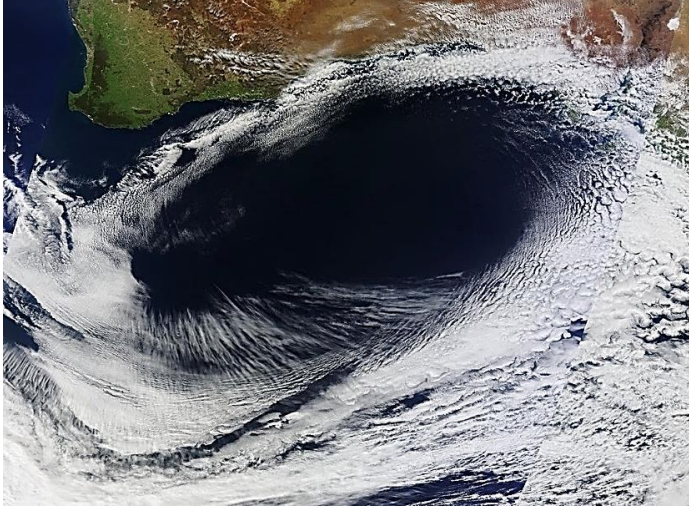
Tropik bölgelerdeki deniz üzerinde siklonlar geliştiğinde, ılık deniz, siklonları çok daha büyük kasırgalara veya tayfunlara dönüştürebilen çok fazla ısı içerir (Şekil 4.53). Kasırgalar ve tayfunlar karaya vurduğunda, kasırga kuvvetli rüzgarlar ve çok şiddetli yağmur getirir. Güçlü rüzgarlar, yüksek gelgitler ile karşılaştıklarında çok zararlı olabilecek fırtına dalgalanmalarında deniz suyunu kıyıya zorlayabilir.

**Şekil 4.53.** 2003'te Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki karakteristik gözü merkezde olan Isabel Kasırgası. 265km/saat'lik yüksek hasarlı rüzgarlar, birçok milimetre yağmurla kaydedildi.



Başka yerlerde, soğuk, batan hava kütleleri de Kuzey Yarımküre'de saat yönünde ve Güney'de ters yönde dönmektedir. Bu antisiklonlar yüksek basınç alanlardır (Şekil 4.54). Yüksek basınçlı alanların yavaşça batan havası, siklonlardan daha hafif rüzgarlara ve merkezlerde hiç rüzgar olmamasına neden olur. Hava battıkça ısınır ve artan miktarda su buharı tutabilir, bu nedenle antisiklonlarda çok az bulut veya yağmur olur.

**Şekil 4.54.** 2012'de güney Avustralya yakınlarında bir antisiklon. Rüzgarlar ve bulut izleri saat yönünün tersine dönüyor (Kuzey Yarımküre'de saat yönünde dönerler) ancak batan, ısınan hava merkezde bulut oluşturmaz



Daha da küçük ölçeklerde bile, batan soğuk hava, kirliliği, dumanı ve bulutu altına hapsedebilir ve bu, bazı şehirlerde çok rahatsız edici olabilir (Şekil 4.55). Diğer bölgelerde, toprağın kuvvetli bir şekilde ısınması, kuşların ve planörlerin saatlerce uçabildiği termaller denen yükselen sıcak havanın girdaplarına neden olabilir (Şekil 4.56).

**Şekil 4.55.** Çin'in Şangay kentinde alçalan soğuk hava altında kapanan kirliliği



**Şekil 4.56.** Reichenburg, İsviçre yakınlarında, termikleri kullanarak uçan bir yamaç paraşütü

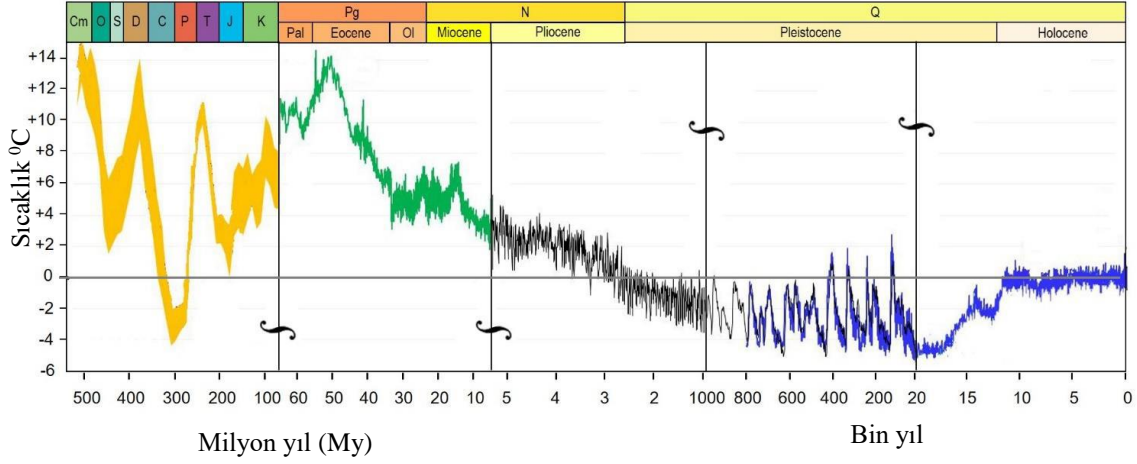


Daha da küçük bir ölçekte bile duman yükselir çünkü duman yangınların üzerinde yükselen sıcak hava akımlarıyla yukarı doğru taşınır. Tersine, sakin bir günde bir buzulun önünde durursanız, etrafınızda buzuldan gelen soğuk havanın girdaplarını hissedebilirsiniz.

### 4.3.3 Atmosferik değişim

Birkaç farklı kaynaktan elde edilen kanıtlar, Dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığının geçmişte büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. Şekil 4.57'de, sıcaklığın grafikte 0'ın üzerinde ve altında nasıl değiştiğinin düşünüldüğünü gösteren, bugünün ortalama yüzey sıcaklığı olan 14°C'ye karşılık gelen beş grafik vardır. İlk grafik 540My'dan 65My'a, ikincisi 65My'dan 6My'a, üçüncüsü 6My'dan 1My'a, dördüncüsü 1My'dan 20.000 yıl öncesine ve son 20.000 yıldaki son grafiği gösteriyor.

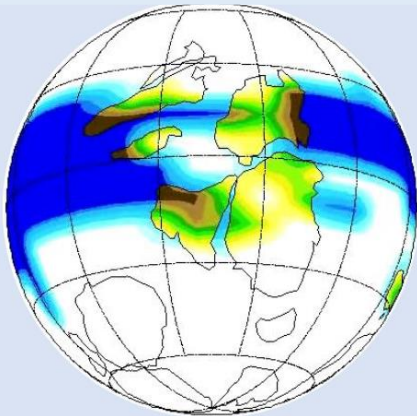
**Şekil 4.57.** Çeşitli göstergelerden elde edilen kanıtlarla gösterildiği gibi, Dünya yüzeyinin (°C) geçmişteki ortalama sıcaklığı. Günümüze kadar giderek daha kısa zaman dilimlerinde değişimi gösteren uçtan uca beş grafik çizilmiştir.



Grafikler, jeolojik geçmişte ortalama en yüksek sıcaklıkların bugünün sıcaklığının 10°C'nin üzerinde (bazen 14°C'nin üzerinde) olduğunu göstermektedir; en düşük bugünün 5°C altındaydı. Bugünün sıcaklıklarında kutuplar buzudur ve geçmişte sıcaklıkların daha düşük olduğu zamanlarda buzulların çok daha yaygın olması gerektiğini göstermektedir. Grafikler, Pleistosen ve Karbonifer / Permiyen dönemlerinde yaygın buzullaşmaları veya buz evi koşullarını göstermektedir. Ayrıca, Şekil 4.57'deki grafiklerin başlamasından önce, Ordovisyen / Silüriyen dönemlerindeki ve Prekambriyen dönemlerindeki iki buzul dönemine ait buzul koşullarının kanıtları vardır. Geç Prekambriyen buz çağı, Dünya'nın yaşadığı en büyük buz çağıydı; tüm Dünya buzla kaplanmış olabilir ("**kartopu Dünya**" olarak adlandırılır) veya bir açık deniz bölgesi Ekvator'un yakınında kalmış olabilir ("**sulu kar topu Dünya**").

**Kutu 4.14.** Kartopu Dünya mı ? yoksa Sulu kartopu Dünya mı?

Kartopu Dünya teorisi, paleomanyetik ölçümlerin Ekvator'a yakın olduğunu gösterdiği kıtaları kaplayan buzul tabakalarında biriken 650 ile 635My arasında tortul kayalardaki kanıta dayanıyor. O dönemde oluşan tüm tortul birikintilerin buzul olduğu gösterilebilirse, bu fikir güçlenirdi. Ancak bunu kanıtlamak çok zordur, çünkü o zamanlar çökelmiş tortul kayalarda fosil yoktur (çünkü sert parçalı yaşam henüz gelişmemişti ve normalde buzul çökeltlerinde bulunmayacaktı). O sırada en azından bazı açık su alanları olduğuna dair tortul kanıtlar da var. Pek çok yerbilimi insanı, kartopu Dünya fikrinden (Ekvator yakınlarındaki denizlerde açık su ile) çok sulu kartopu Dünya fikrinden daha mutlular. Yine de, Dünya'nın yaklaşık 640My önce çok şiddetli bir buzullaşma yaşadığına dair iyi kanıtlar var.



Dünya çapında buzullaşmayı tetiklediği düşünülen süreçlerden biri, bu kitabın 1.3 bölümünde açıklanan albedo etkisinden gelen olumlu geri bildirimlerdir. Buz tabakaları büyüdükçe, Güneş'in radyasyonunu gittikçe daha fazla yansıtıyor, Dünya'yı soğutuyor ve gezegenin çoğu buzla kaplanana kadar daha fazla buz tabakası büyümesine neden oluyordu.

Bu şiddetli buzul çağının sonu, atmosfere büyük miktarlarda karbondioksit pompalayan yanardağların sera etkisiyle büyük ölçekli ısınmaya neden olmasıyla tetiklenmiş olabilir.

Kartopu Dünya sırasında buz örtüsünün bilgisayar simülasyonu

Çok soğuk dönemler arasında, özellikle Paleosen / Eosen, Permo-Triyas, Devoniyen ve Kambriyen dönemlerinde Dünya'nın bugünden çok daha sıcak olduğu zamanlar olmuştur. Küresel buz örtülerinin olmadığı bu zamanlar, genellikle 'sera koşulları' olarak adlandırılır.

**Şekil 4.58.** Bir buz sondaj kuyusundan alınan bir karot tüpten bir buz karotunun çıkarılması

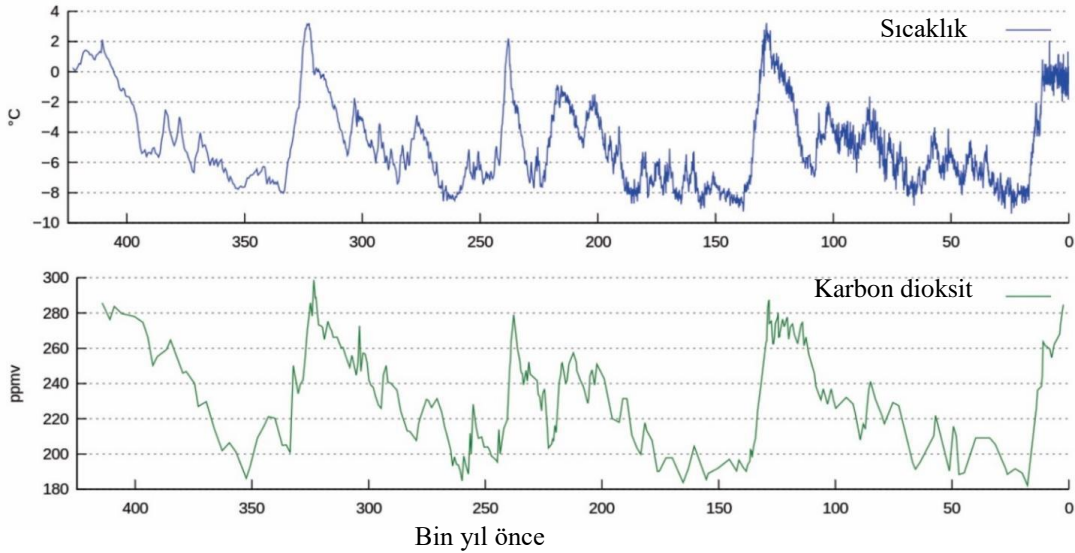


Jeolojik zaman içinde, Güneş'ten Dünya'ya ulaşan toplam enerji artmaktadır, bu nedenle küresel sıcaklıkların da istikrarlı bir artış göstermesini bekleyebiliriz. Dünya'nın ortalama sıcaklığında sabit bir artış olmadığından, diğer faktörlerin bir etkisi olmalı.

Buz karotları, Dünya'nın sıcaklığını etkileyen ana faktörlere dair ipuçları verir. Buz karotlarını çıkarmak için kutup buz tabakalarının daha kalın kısımlarına sondaj kuyuları açılmıştır (Şekil 4.58). Buz karotlarından elde edilen veriler, bu buz tabakasının oluştuğu sırada atmosferdeki farklı gazların sıcaklığını ve içeriğini göstermek için kullanılabilir.

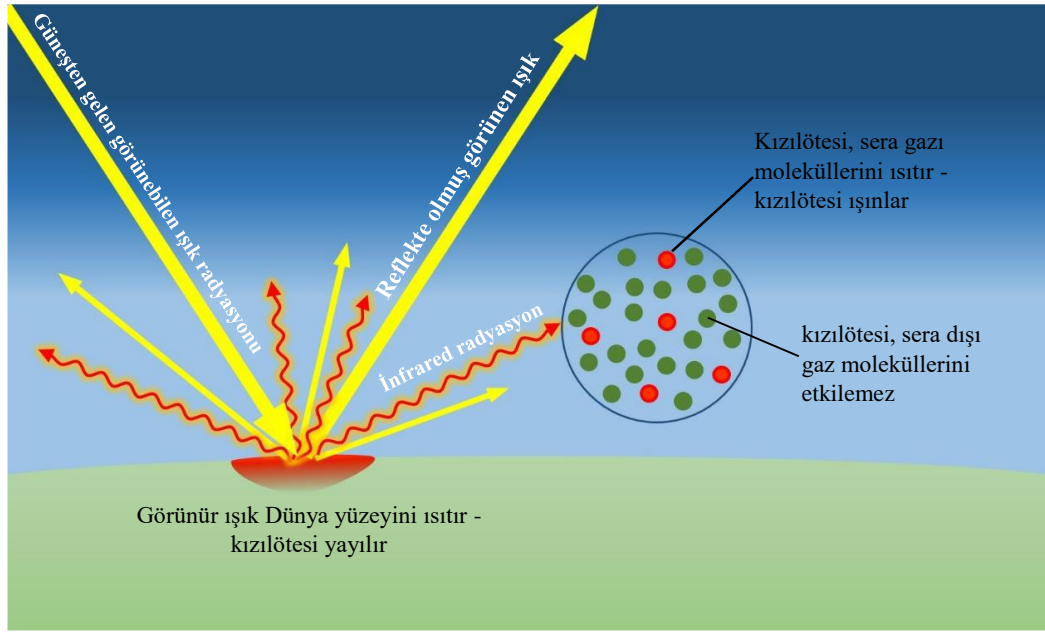
Şekil 4.59, atmosferin son 400.000 yıldaki sıcaklık ve karbondioksit içeriğini göstermektedir. Grafikler, atmosferdeki karbondioksit miktarı ile Dünya'nın sıcaklığı arasında çok yakın bir bağlantı olduğunu gösteriyor. Bazı yerbilim adamları, karbondioksit seviyelerindeki değişime Dünya'nın sıcaklığının neden olduğunu iddia ederken, çoğu yerbilimi insanı bunun tersini düşünüyor ve karbondioksit seviyelerindeki değişikliklerin Dünya'nın sıcaklığındaki değişikliklere neden olduğuna inanıyor. Bu nedenle, yüksek karbondioksit seviyelerinin yüksek Dünya sıcaklıklarına neden olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir.

**Şekil 4.59.** Antarktika'daki Vostok buz karotunda kaydedilen son 400.000 yılda atmosferdeki sıcaklık ve CO<sub>2</sub>'deki değişiminin grafikleri (ppmv = hacimce atmosferdeki milyon CO<sub>2</sub> başına parça)



Dünya'nın sıcaklığı ile atmosferdeki karbondioksit miktarı (ve diğer önemli gazlar) arasındaki bağlantı, Şekil 4.60'da gösterildiği gibi **sera etkisi (greenhouse effect)** olarak adlandırılır.

Şekil 4.60. Sera etkisi (kızılötesi radyasyon ısıdır)

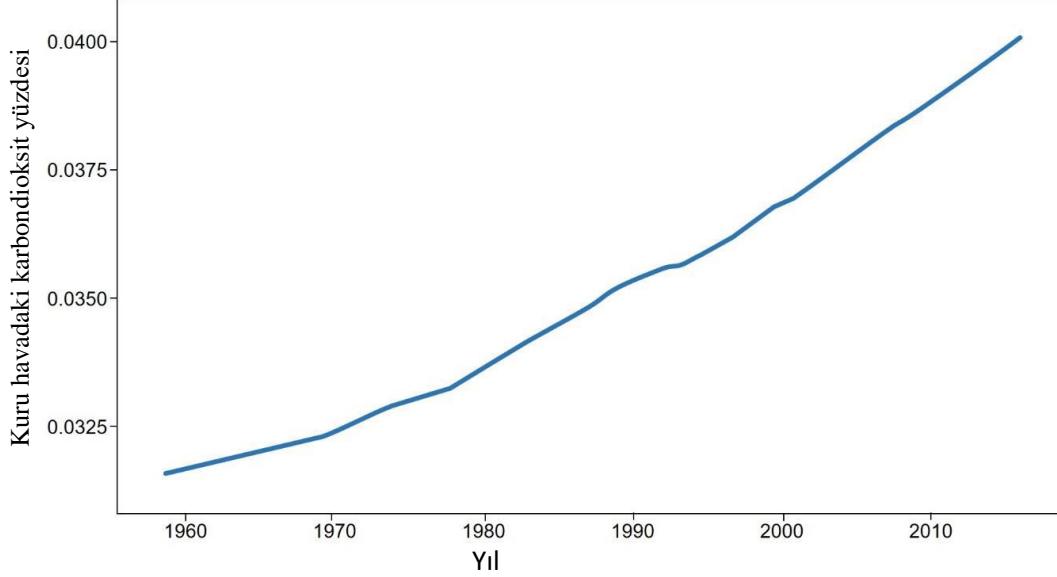


Güneşten gelen radyasyon, görünür ışık olarak Dünya'ya ulaşır. Bunun bir kısmı uzaya geri yansıtılır, ancak bir kısmı Dünya'nın yüzeyi tarafından absorbe edilir ve ısı veya kızılötesi radyasyon olarak geri yayılır. Geri yayılan ısının bir kısmı atmosferden geçer ve uzaya çıkar, ancak bazıları sera gazları tarafından absorbe edilerek atmosferi daha sıcak hale getirir. Atmosferde ne kadar çok sera gazı varsa, o kadar ısınır ve ardından Dünya'yı ısıtır. Dünya atmosferinde en bol bulunan sera gazı su buharıdır, ardından karbondioksit, metan ve azot oksit gelir. Atmosferdeki su buharı miktarı sürekli değişir, metan ve azot oksit miktarı küçüktür, bu nedenle uzun vadede Dünya'yı etkileyen ana gaz karbondioksit gibi görünür.

Atmosferde hiç sera gazı olmasaydı, Güneş'ten gelen tüm radyasyon geri yayılırdı ve Dünya o kadar soğuk olurdu ki kalıcı olarak donardı. Bu yüzden Dünya'nın yaşam için yeterince sıcak olması için sera etkisine ihtiyacımız var. Sorun, atmosfere ekstra sera gazları eklendiğinde ortaya çıkar ve bu da **artan sera etkisine** neden olur. Görünüşe göre, Dünya'nın geçmişinin çok sıcak dönemleri (sera koşulları), atmosferdeki yüksek sera gazı seviyeleri ile bağlantılıdır. Bunlar, volkanik aktivitenin artmasına ve sera gazlarının salınmasına neden olan aktif levha tektoniği dönemleriyle bağlantılı olabilir.

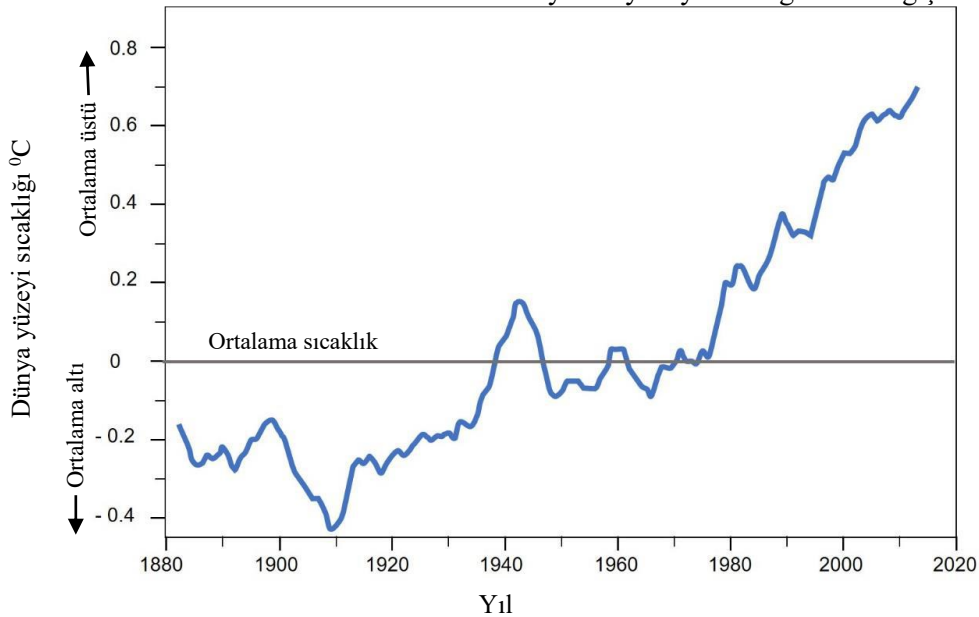
Bu nedenle iklim değişikliği, atmosferdeki sera gazı miktarlarıyla yakından bağlantılı görünür. Bu yüzden bilim adamları atmosferdeki karbondioksit miktarının arttığından endişe ediyorlar. Atmosferdeki karbondioksit miktarı 1958'den beri Hawaii'deki sessiz yanardağ Mauna Loa'nın tepesindeki gözlemevinden izleniyor. Bu ölçümler, Şekil 4.61'de görülen sürekli artışı gösteriyor.

**Şekil 4.61.** Hawaii'deki Mauna Loa gözleminden ölçülen ölçümler 1958'de başladığından beri atmosferdeki karbondioksit seviyelerindeki değişim. (Mauna Loa'nın tepesi bu gözlemler için seçildi çünkü atmosferde yüksek ve kıtasal kara kütlelerinden uzak; ölçümler herhangi bir volkanik aktivite ile ilişkili değil.)



Çoğu bilim insanı, atmosferin karbondioksit içeriğinde kaydedilen bu istikrarlı artışın, tropikal yağmur ormanlarının büyük çaplı ormansızlaşmasıyla birlikte, çoğunlukla kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtları yakan insanların neden olduğunu düşünüyor. Fosil yakıtların yakılması atmosfere fazladan karbondioksit salgılar ve bitki örtüsünün yok edilmesi, fotosentez yoluyla karbondioksitin uzaklaştırması ve depolanması için daha az bitki bırakılmasına sebep olur. Okyanusların atmosferdeki fazladan karbondioksitin bir kısmını absorbe edebildiğini bilsek de, bilim adamları ne kadarının absorbe edilebileceğini ve bunun okyanusları nasıl etkileyebileceğini araştırmaya devam ediyorlar. Şekil 4.62'de gösterilen atmosferin karbondioksit içeriğindeki bu sürekli artış, ABD'deki Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından derlenen verilerin grafiğinde, 1960'lardan beri Dünya'nın sıcaklığındaki oldukça istikrarlı bir artışla bağlantılı olduğu görünüyor.

**Şekil 4.62.** NASA tarafından derlenen verilerden Dünya'nın yüzey sıcaklığındaki değişim



Dolayısıyla, atmosferdeki karbondioksit, büyük olasılıkla insan faaliyeti nedeniyle arttıkça, Dünya daha da ısınıyor. Daha soğuk ülkelerde yaşayan insanlar için daha sıcak bir Dünya iyi bir fikir gibi görünebilir, ancak Tablo 4.25'te öngörüldüğü gibi sürekli ısınan bir Dünya büyük sorunlara neden olabilir.

**Tablo 4.25.** Dünya'nın ısınmasından kaynaklanabilecek sorunlar

Potensiyel problem	Muhtemel etki
<b>Pozitif geri besleme döngülerinin Dünya'nın çok daha ısınmasına neden olduğu bir "dönüm noktasına" (Bölüm 1.3'te açıklandığı gibi) ulaşılabilir.</b>	Aşağıdaki tablodaki tüm problemler çok daha büyük olacaktır
<b>Daha sıcak okyanuslar atmosfere daha fazla ısı sağlarlar.</b>	Okyanus ısısı fırtınaları sürükler, böylece Dünya çok daha fırtınalı hale gelebilir
<b>Daha sıcak koşullar buharlaşma ve yağışma hızlarını artırır.</b>	Su döngüsü değişiklikleri, gezegenin bazı bölgelerinin daha ıslak ve bazılarının daha kuru hale gelmesi anlamına gelir.
<b>Karadaki buzullar eriyerek okyanuslara su ekler.</b>	Deniz seviyesindeki yükselmeler, özellikle fırtınalar sırasında deniz seviyesinin altında kalan alanların fazladan taşmasına neden olur.
<b>Okyanus suları ısındıkça genişler</b>	Okyanus sularının genişlemesi deniz seviyesinin yükselmesine katkıda bulunur
<b>Yükselen deniz seviyeleri, tarım ve sanayi için uygun arazi alanını azaltır</b>	Dünyanın zaten kalabalık olan bölgelerinde daha elverişli yerler arayan insan topluluklarının kitlesel göçü meydana gelebilir.
<b>Okyanusların ısınması, okyanusları ve atmosferi etkileyerek okyanus akıntılarının hacmini ve hızını etkiler.</b>	Okyanus akıntıları Dünya üzerindeki ısıyı yeniden dağıtır; bu akımların değişmesi bazı bölgeleri daha sıcak ve bazılarını daha soğuk hale getirebilir
<b>İklim kuşakları kutuplara doğru hareket ediyor</b>	İklim kuşaklarının hareketi, bazı türlerin yeni alanlarda gelişmesine, bazılarının ise yok olmasına neden olur.
<b>Okyanus suyu, karbondioksiti çözdükçe daha asidik hale gelir</b>	Daha asidik sulara uyum sağlayamayan mercanlar gibi türler, mercan resif topluluklarıyla birlikte yok olur.

Isınan bir Dünya'da, kutuplara yakın bölgelerde yeni mahsul yetiştirme olasılığı, ek karbondioksit ilavesiyle teşvik edilen artan orman gelişimi ve kuzey Kanada'nın kuzeyindeki Kuzeybatı deniz geçidinin yazın nakliye için uygun hale gelmesi gibi bazı avantajlar olabilir. . Bununla birlikte, çoğu insan, dezavantajların olası avantajlardan fazlasıyla ağır bastığını iddia edecektir.

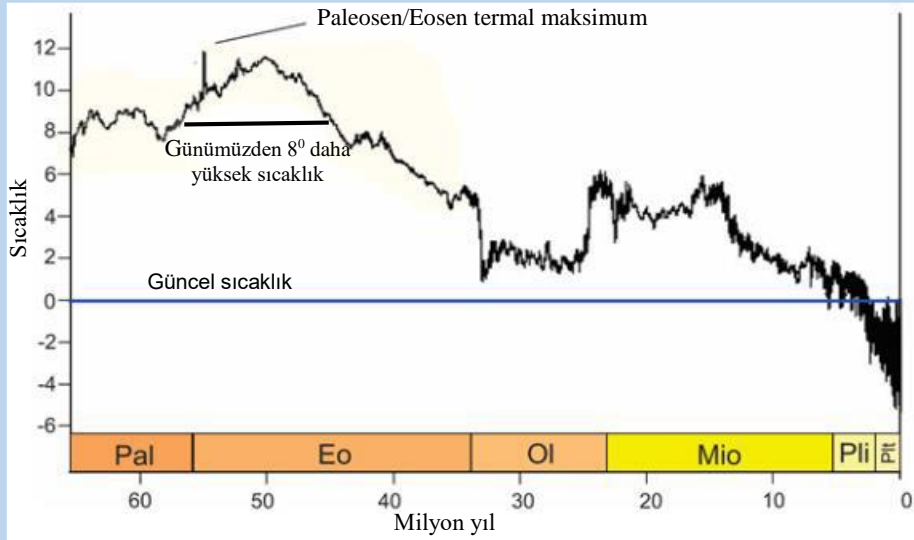
Dünya, Paleosen / Eosen dönemlerinde olduğu gibi geçmişte de güçlü bir küresel ısınmaya maruz kalmış ve ayakta kalmıştır. Bununla birlikte, bu koşullarda insanların ve çok çeşitli diğer türlerin hayatta kalması çok şüphelidir.

**Kutu 4.15.** Paleosen / Eosen sırasında Dünya termal maksimum

Yaklaşık 56 milyon yıl önce Paleosen ve erken Eosen dönemleri arasındaki sınırdaki sera koşulların süresince, Dünya'nın bugünden 12° daha sıcak olduğuna ve yaklaşık 10 milyon yıldır 8 dereceden daha sıcak kaldığına dair kanıtlar vardır. Bu, muhtemelen o sırada atmosfere büyük miktarda karbondioksit salınmasıyla bağlantılıydı, ancak yerbilimciler bu yüksek sıcaklık dönemini çok aktif bir şekilde araştırıyorlar, çünkü bu mevcut iklim değişikliği çalışmalarına biraz ışık tutabilir.



#### Kutu 4.15. Paleosen / Eosen termal maksimum sırasında Dünya, devam



O zamanda Dünya'da buz tabakası yoktu ve ılık okyanusun genişlemesi, alçakta bulunan çok sayıda kıta bölgesini sular altında bırakan deniz seviyelerinin yükselmesine neden oldu. Fosil kanıtları, ormanların birkaç kuru alan dışında Ekvator'dan kutuplara kadar tüm Dünya'yı kapladığını gösteriyor. Kuzey Amerika ve Avrupa'da tropikal yağmur ormanları, Arktik'te palmiye ağaçları büyüdü. Yeni memeli türleri evrimleşti, ancak bunlar çoğunlukla çok küçük cüce türlerdi, çünkü muhtemelen küçük memeliler, sıcak koşullara büyük hayvanlardan daha iyi adapte olmuşlardır. Sürüngenler, özellikle pitonlar ve kaplumbağalar boldu. Böcekler yaygındı. Okyanuslarda büyük değişiklikler oldu. Dipte yaşayan mikroskobik türlerin çoğu yok olurken, deniz yüzeyine yakın planktonik organizmalar çoğaldılar. Sıcak okyanuslar balıklarla ve diğer deniz yaşamıyla iç içedir. Bu, bugünkü Dünya'dan çok farklı bir dünyaydı.

Şekil 4.57 ve 4.59'da gösterildiği gibi, Dünya'nın özellikle son bir milyon yıldaki sıcaklık grafikleri, düzenli sıcaklık değişimi döngülerini gösterir. Bunların, Dünya'nın kendi etrafında ve Güneş'in etrafında dönme şeklindeki düzenli değişiklikler nedeniyle, Dünya tarafından alınan Güneş radyasyon miktarıyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, modern sera etkilerinin o dönemde neden olduğu bu düzenli değişikliklerden daha fazla etkisi olabilir.

## 4.4 Biyosfer

Dünya üzerindeki yaşamı ne kadar çok incelersek, biyosfer süreçlerinin diğer küreler, jeosfer, hidrosfer ve atmosferinkilerle nasıl yakından bağlantılı olduğunu keşfederiz. Ayrıca, bu sistemlerden birinin bir bölümündeki küçük değişikliklerin başka yerlerde nasıl büyük değişiklikler üretebileceğini keşfettik.

### 4.4.1 Evrim

William Smith, kayalardaki fosillerin her zaman aynı sırayla bulunduğunu göstermişti (bkz. Bölüm 3.2), ancak bilim adamları bunun neden olduğunu bilmiyorlardı. 1858'de, fosil dizilerinin neden bu şekilde değiştiğini açıklayan bir teori Charles Darwin ve Alfred Russel Wallace tarafından öne sürüldü; bu evrim teorisidir.

Evrin teorisi, biyosferle ilgili üç bilimsel gözleme dayanmaktadır:

- 1) bireysel organizmalar (hayvanlar, bitkiler, fosiller gibi) birbirinden farklıdır;
- 2) bazı bireyler hayatta kalmak ve üremek için diğerlerine göre daha iyi adapte olmuşlardır; ve
- 3) Bireylerin birçok özelliği bir nesilden diğerine aktarılır.

Bunlar, Darwin'in **doğal seleksiyon** olarak adlandırdığı, hayvan ve bitki gruplarının zamanla değişmesine veya evrimleşmesine neden olan bir sürece yol açtı. Bu daha sonra 'en uygun olanın hayatta kalması' olarak adlandırıldı, burada hayatta kalmak için en uygun organizmalar yavru üretirken, daha az iyi uyum sağlayanlar öldü. Evrim, ilk kez, Dünya'daki yaşam hakkında yapılan çok sayıda gözlemin çoğunu açıklayabiliyordu.

Artık evrimle ilgili üç bilimsel gözlemin nasıl açıklanabileceğini biliyoruz:

1) bireyler birbirinden farklıdır çünkü cinsel üreme her bireyin kendine özgü bir gen kümesine sahip olmasına neden olur;

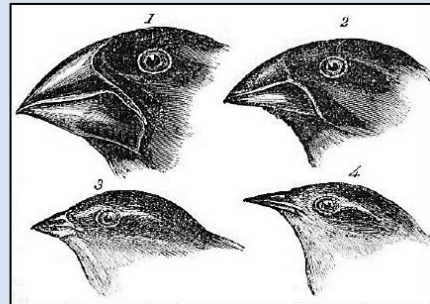
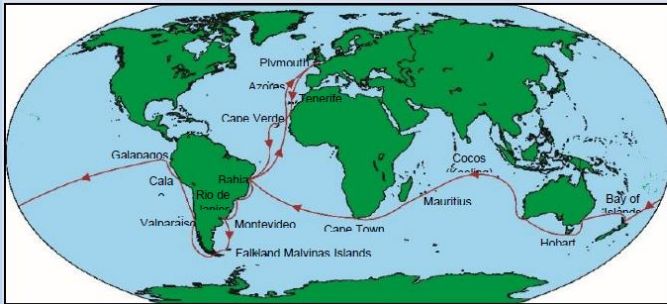
2) bir bireyin genlerinin bazı kombinasyonları, ona diğerlerinden daha fazla hayatta kalma şansı verir; örneğin, bazı gen kombinasyonları bir hayvana daha uzun bacaklar vererek daha hızlı koşmasını sağlayabilir; diğer gen kombinasyonları, bir ağacın daha kalın bir gövdeye sahip olmasına neden olarak daha uzun büyümesine izin verebilir;

3) bitkilerde ve hayvanlarda eşeyli üreme sırasında genlerin yarısı bir ebeveyninden, yarısı diğerinden gelir; bir ebeveyninden alınan genlerin yarısı, ebeveynin bazı özelliklerini sonraki nesle taşır.

Fosil kayıtlarından elde edilen kanıtlar, bazı yaşam türlerinin istikrarlı bir şekilde evrimleştiğini gösterirken, diğerlerinin bir grubun aniden farklı bir gruba dönüştüğünü gösteriyor. Ani evrimsel sıçramalar, bir grup hayvanın veya bitkinin kendi grubunun geri kalanından ayrıldığı yerde, örneğin bir adada veya bir dağ silsilesinin tepesinde, meydana gelir. Bu koşullarda, bir bitki veya hayvan yeni bir özellik geliştirdiğinde, diğer ana akım bireylerle melezleşerek kaybolmaz, ancak nesiller boyunca korunabilir ve gelişebilir.

#### **Kutu 4.16.** Charles Darwin ve evrim

1831'de Charles Darwin, HMS Beagle yelkenli gemisinin keşif yolculuğuna bir doğa bilimci, hem jeoloji hem de biyoloji üzerine çalışan bir bilim insanı, olarak katıldı. Yaklaşık beş yıl süren dünya turu sırasında Darwin, ziyaret ettiği ülkelerin jeolojisi, fosilleri ve vahşi yaşamına ilişkin muazzam sayıda gözlemler kaydetti ve birçok örnek topladı. Doğu Pasifik Okyanusu'ndaki Galapagos Adaları'ndan topladığı bazı kuşların daha sonra ispinoz türleri olduğu gösterildi. Bu kuşlar, fındık, meyve veya solucan yemelerini sağlamak için gagalarına özel uyarlamalar geliştirerek farklı adalarda farklı yaşam tarzlarına adapte olmuşlardı. Darwin, muhtemelen bir ispinoz türünün adalara Güney Amerika anakarasından ulaştığını, ancak farklı adalara taşındıklarında izole olduklarını ve böylece farklı türlere farklı bir şekilde evrimleştiklerini düşündü. Bu ve benzeri gözlem, evrim hakkındaki düşüncesi için önemli bir tetikleyiciydi.

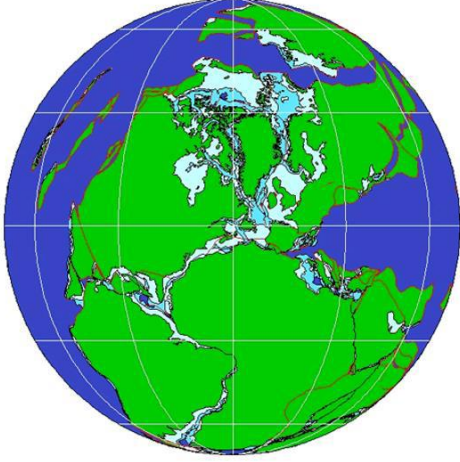


Darwin, 1839'daki yolculuktan sonra, volkanik kayalar üzerine yaptığı çalışmaları ve Şili'deki 8,5 büyüklüğünde bir deprem deneyimini içeren gözlemler kitabını yayınladı. 20 yıl sonra, 1859'da, evrim teorisi üzerine "Türlerin Kökeni Üzerine" adlı kitabını yayınladı.

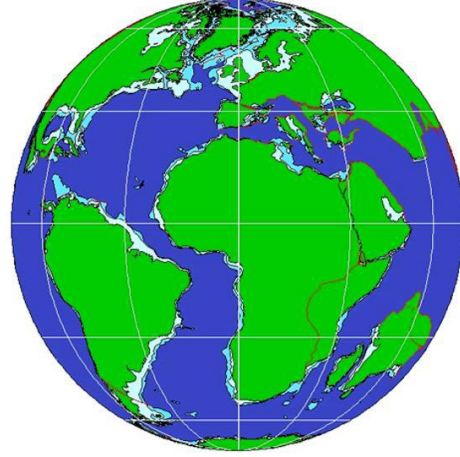
Levha hareketinden kaynaklanan kıtaların farklı dağılımları, Dünya'daki yaşamın evrimi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Tüm kıtalar bir süper kıtada bir araya geldiğinde, çok az izole kara alanı vardı ve çok az evrimsel sıçrama olasılığı vardı. Bu arada, süper kıtanın kıyıları etrafındaki sığ deniz alanları yeniden birbirine bağlanarak evrim fırsatlarını da azalttı.

Diğer zamanlarda, kıtalar ayrıldığında, ayrı kara kütlelerinde ve ayrılmış sığ denizlerde evrimsel sıçramalar meydana geldi. Bir örnek, Yeni Zelanda'ya böylesine eşsiz bir vahşi yaşam karışımı veren evrimsel değişikliklerdir.

**Şekil 4.63.** Permiyen dönemlerinde, kara alanları ve birbirine bağlı sığ denizlerle birleşen süper kıta ile 280milyon yıl önceki kıtaların haritası (daha yavaş evrim)

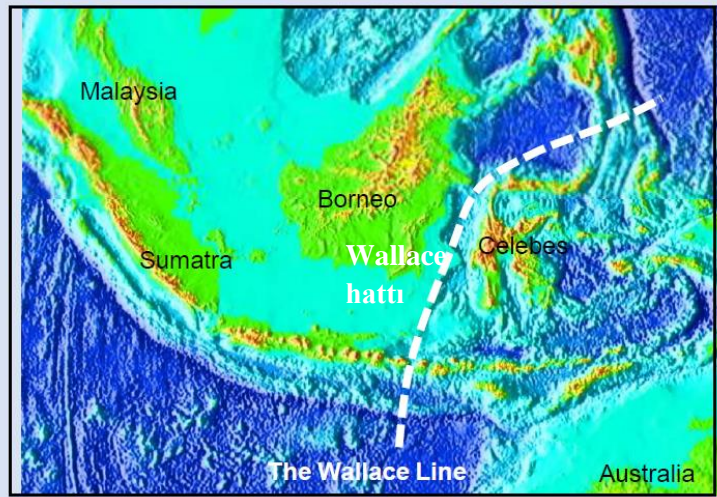


**Şekil 4.64.** Ayrı kıtalar ve sığ denizlerle 85Milyon yıl önceki Kretase zamanındaki kıtaların haritası (daha hızlı evrim)



#### **Kutu 4.17.** Wallace Hattı

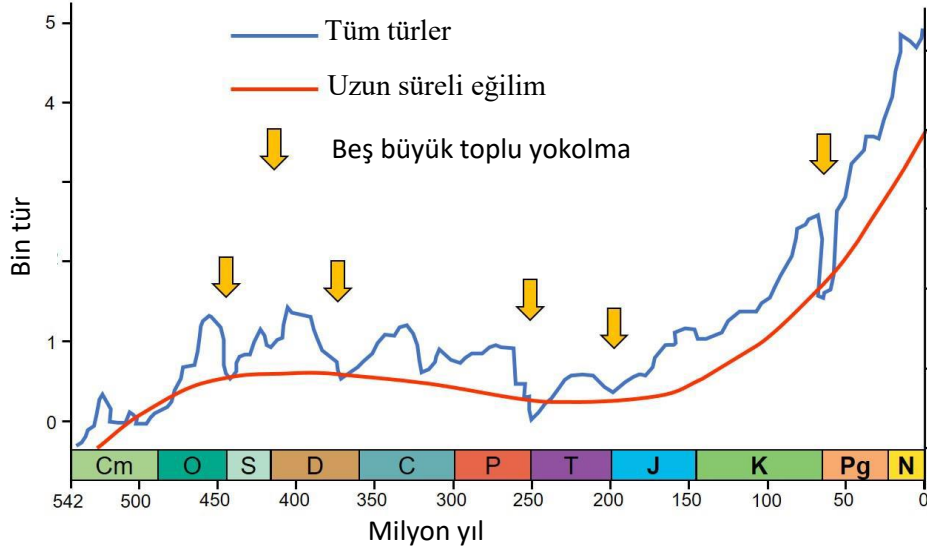
Charles Darwin ile birlikte evrim teorisini geliştiren Alfred Russell Wallace, önce Güney Amerika'nın Amazon bölgesinde ve daha sonra Güneydoğu Asya'da geniş seyahatlerinde fikirlerini bir araya getirdi. Batıdaki büyük ölçüde Asya hayvanlarını doğudaki Asya ve Avustralyalı hayvanların karışımından ayıran ve şimdi Wallace Hattı olarak adlandırılan güneydoğu Asya'daki çizgiyi tanımladı. Bu, onu bu farklı hayvan gruplarının ilk olarak nasıl oluşmuş olabileceğini düşünmeye ve böylece evrim teorisini geliştirmeye yöneltmiştir. Avustralasya, jeolojik geçmişte Asya'dan ayrıldığında, farklı bölgelerde farklı hayvan grupları gelişti.



Küresel kayaç istifi, birçok farklı grubun aynı anda öldüğü birkaç **kitlesel yok oluş** olayını kaydeder. Nitekim, Kambriyen'den bu yana ana jeolojik dönemlerin her birinin sınırları, fosil kayıtlarındaki kitlesel bir yok oluşun büyük değişikliklere neden olduğu yerde tanımlanmıştır. Genellikle, kitlesel bir yok olma olayından önce, yaşam normal bir şekilde ilerliyor gibiydi. Sonra olayda çok sayıda grup aniden yok oldu. Olaydan sonra, hayatta kalan gruplar bir dizi yeni gruba dönüştü, çünkü muhtemelen ölen gruplardan hiçbirinde direnme olmadı. Bu nedenle, birçok grubun yok olmasına yol açmanın yanı sıra, kitlesel yok oluşlar birçok yeni grubun daha sonraki evrimini de tetikledi.

Son 450 milyon yılda, tüm türlerin% 60'ından fazlasının öldüğü beş büyük kitlesel yok oluş oldu, ancak en büyüğü% 90'dan fazlasının neslinin tükendiği Permiyen döneminin sonunda oldu.

**Şekil 4.65.** Cinslerin sayısıyla gösterildiği gibi, Dünya'daki yaşamın uzun vadeli eğilimi ve başlıca yok oluşlar (türlerin sayısını içeren biyolojik gruplar)



Kitlesel yok oluşları açıklamak için birçok farklı teori öne sürülmüştür; bunlar arasında büyük volkanik patlamalar, deniz seviyesindeki küresel düşüşler, asteroidlerin çarpması ve iklimdeki büyük değişiklikler (soğutma ve ısınma) bulunmaktadır. Bazen diğer büyük değişikliklerle birlikte bu olaylardan birkaçı aynı anda gerçekleşmiş gibi görünmektedir.

**Kutu 4.18. "Büyük ölüm" kitlesel yok oluş**

252 My'da Permiyen döneminin sonunda (ve Triyas'ın başlangıcında), Dünya'daki tüm türlerin% 90'ından fazlası öldü. Tüm deniz türlerinin% 96'sı, kara hayvanları ve böceklerin de büyük ölçüde yok olmasıyla birlikte yok oldu. Bu kitlesel yok oluş sırasındaki yıkıcı koşulları hayal etmek neredeyse imkansızdır - sadece karada çok fazla hayvan ve bitki yaşamının değil, okyanuslarda da 'neredeyse tüm yaşam öldüğünde' yok oldu.

Bu 'büyük ölümü' açıklamak için, yok olma anında meydana gelen ve atmosfere muazzam miktarda kül ve volkanik gaz salacak olan büyük miktarlarda bazalt lav ekstrüzyonu da dahil olmak üzere birçok fikir öne sürüldü. Kül, güneş ışığını engelleyerek fotosentezi durdurabilirken, volkanik karbondioksitin salınması ise küresel ısınmaya ve okyanusların asitleşmesine neden olmuştur.

Kitlesel yok oluş, Dünya'ya çarpan bir asteroid tarafından tetiklenmiş olabilir, ancak böyle olsaydı ve çarpışma alanı okyanuslarda olsaydı, okyanus tabanı plaka tektoniği tarafından geri dönüştürüldüğü için alan muhtemelen şimdiye kadar ortadan kaybolmuştur. Bununla birlikte, o zamandan beri büyük bir çarpışmanın başka hiçbir kanıtı da korunmamış gibi görünüyor, bu nedenle bu olay için bir asteroid çarpışma açıklaması olası görünmüyor.



Glossopteris ağaç yaprakları ve tohum kabukları - "büyük ölüm" olayından önce bulundu, ancak sonrasında bulunmadı

#### **Kutu 4.19.** K-Pg kitlesel yok oluşu

Kretase'nin sonu ve Paleojen dönemlerinin başlangıcı olan 66 milyon yıl önce, Dünya'daki yaşamın dörtte üçü yok oldu. Büyük amfibiler, büyük sürüngenler (dinozorlar dahil ancak timsahlar hariç) veya büyük memelilerden hiçbiri hayatta kalmadı. Deniz grupları da çok etkilendi; birçok balık, köpek balığı ve plankton grubu ile birlikte ammonitlerin nesli tükendi. Karada ve denizde çok sayıda bitki ve hayvanın çok kısa bir süre içinde yok olmasına sebep olan o zamanki koşullar yıkıcı olmalıydı.

Deccan Traps bazaltlarının (şimdiki Hindistan'da) muazzam volkanik patlamaları, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim değişikliği veya bunların bir kombinasyonu da dahil olmak üzere, bu kadar ani dramatik bir olayı açıklamak için bir dizi bilimsel fikir öne sürüldü. 1980'lerde çok sayıda kayaç istifindeki K-Pg sınırının iridyum elementi bakımından zengin çamurlu bir tortu tabakası ile belirlendiği keşfedildiğinde, bir asteroidin Dünya'ya çarptığı fikri öne sürüldü; asteroidler iridyum açısından zengindir, ancak Dünya değildir. Kısa süre sonra, Chicxulub krateri, Orta Amerika'daki Meksika Körfezi'nde keşfedildi. 180 km genişliğinde, 20 km derinliğindeki bu kraterin, en az 10 km çapındaki bir asteroidin çarpma alanı olduğu düşünülüyor. Ekstra çarpma kanıtı olarak, "şoklanmış kuvars" (ani basınçla deforme olmuş kuvars kristalleri) ve çarpışma sırasında ergiyen ve fırlatılan cam boncukları (tektitler) verilmektedir. Bilim adamları, kratere bir asteroid çarpışmasının neden olduğundan neredeyse eminler, ancak bu çarpışmanın K-Pg'nin kitlesel yok oluşuna neden olup olmadığı veya buna katkıda bulunup bulunmadığı ya da o sırada Dünya üzerindeki yaşam üzerinde çok az etkisi olup olmadığı hala hararetle tartışılıyor.

K-Pg kitlesel yok oluşu, yok olma olayından sonra ani bir evrim patlaması için fırsatlar sunarak pek çok habitatı neredeyse boş bıraktı. Özellikle kuşlar, balıklar ve memeliler birçok yeni gruba evrildi; memeliler atlara, yarasalara, balinalara ve primatlara dönüştü.



*Tyrannosaurus rex* - K-Pg kitlesel yok oluşundan önce bulunan son dinozor gruplarından biri



ABD, Wyoming, K-Pg sınırında sediment toplayan jeologlar

Kretase / Paleojen kitlesel yok oluşuna genellikle K-Pg kitlesel yok oluşu denir, çünkü jeolojik zaman tablosunda Kretase dönemi 'K' olarak kısaltılabilir ('C' harfi jeolojik zaman tablosunda 'Carboniferous' için kullanılmıştır) ve Paleojen, 'Pg' olarak kısaltılmıştır ('P' daha önce 'Permiyen' dönemi için kullanıldığından) (Şekil 4.65). Kafa karıştırıcı bir şekilde, K-Pg kitlesel yok oluş, T ('tersiyer') alt bölümlere ayrılmadan önce K-T kitlesel yok oluşu olarak adlandırılıyordu. Bu alt bölümlerden birine "Paleojen" adı verildi ve "Tersiyer" terimi artık resmi olarak kullanılmıyor.

Her kitlesel yok oluş, yeni evrim patlamaları için yeni yaşam alanları bıraktığından, kitlesel yok oluşların sadece kötü değil, iyi etkileri de oldu. Dolayısıyla, genel olarak yok olma ve özelde kitlesel yok olma olmadan, evrim bugün Dünya'daki büyük yaşam çeşitliliğini üretmemiş olabilirdi.

## 4.4.2 Diğer sistemler üzerindeki etki



Görünüşe göre Dünya'nın sistemlerini ne kadar çok incelersek, yaşamın bu sistemler üzerindeki hayati etkilerini o kadar çok keşfediyoruz. Biyosferin tüm gezegenin evrimi üzerinde büyük etkileri oldu.

Örneğin, kayaların ayrışması bir dizi süreci içerir. Dondurma-çözme ve ısınma ve soğuma, kayayı daha küçük parçalara ayırmanın fiziksel etkilerine sahiptir. Bitkiler ayrıca kaya tanelerini ayırmaya zorlayan liken köklerinden, fırtınalı havalarda kayaların içerisindeki köklerle birlikte blokların kopmasına kadar birçok fiziksel etkiye sahiptir. Benzer şekilde, asidik yağmurun kimyasal etkileri ve kayaların kimyasal olarak parçalanmasındaki oksidasyon, topraktaki yaşamın yağmura fazladan karbondioksit katması, toprak suyunu daha da asidik hale getirmesi ve kayaları etkilemesi ile artar. Çürüten organik madde ayrıca bir dizi başka biyokimyasal parçalanma etkisiyle birlikte suyun asit içeriğine ek olarak asit üretir. Toprak, sadece bitkisel materyal ve toprak hayvanları üreten yaşamın olduğu yerde oluşur.


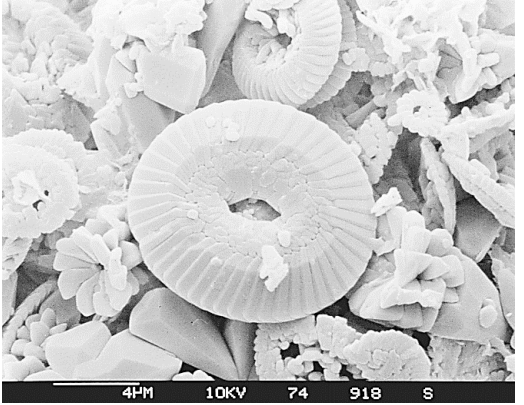

Dolayısıyla, kutup bölgeleri veya kuru çöller gibi yaşamın az olduğu yerlerde toprak yoktur. Tablo 4.26'da gösterildiği gibi yaşam, kaya oluşumunda ve kaya ayrışmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Dünya yüzeyinde bulunan tüm kayaların yaklaşık % 10'u kireçtaşıdır ve bunların çoğu biyolojik süreçlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yaşam, kaya oluşumu için çok önemlidir.

Yaşam aynı zamanda tüm fosil yakıt kaynaklarımızı da üretti. Kömür, Tablo 4.26'da açıklandığı gibi oluşturulur ve oluşumu sırasında doğal gaz veya metan açığa çıkar. Petrol, esas olarak küçük planktonik bitki ve hayvanların deniz tabanındaki çamurlarda birikip daha sonra gömülmesiyle oluşur.

**Tablo 4.26.** Canlıların kaya oluşumuna katkısı

Süreç	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Kömür oluşumu</b>	Bol bitki yaşamı olduğunda ve bitkiler öldüğünde, oksijensiz bir ortama düştüklerinde tamamen çürümezler; önce turba oluştururlar, sonra gömülerek kömür oluşur	 20mm	Karbonifer yaşlı kömür içerisindeki yaprak fosilleri
<b>Kireçtaşlarında resif oluşumu</b>	Mercanlar ve diğer hayvanlar güncel resifleri inşa ediyorlar ve aynı zamanda jeolojik geçmişte büyük resif yapıcılar olmuşlardır. Onlar kireçtaşı oluşumuna önemli katkı sağlıyorlar	 50mm	Windley Key Fossil Reef Jeolojik Eyalet Parkı'ndaki (Florida, ABD) Pleistosen çağına ait fosil mercan,

**Tablo 4.26.** Canlıların kaya oluşumuna katkısı, devam

Süreç	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Fosil kalıntılardan oluşmuş kireçtaşı</b>	Kireçtaşlarının çoğu fosil kalıntılardan oluşur. Fosiller, bu örnekte olduğu gibi bazen kolayca görülebilir, ancak aynı zamanda çıplak gözle görülmesi imkansız olan küçük parçalara da kırılabilir,		Ayrılmış yapı taşı: kırık Senozoik çift kavkılılardan ve gastropodlardan oluşan kireçtaşı; Zeus Tapınağı, Olympia, Yunanistan
<b>Tebeşir-kokolitlerin oluşturduğu çok ince taneli kireçtaşı</b>	Taramalı elektron mikroskopları (SEM'ler) kullanıma sunulmadan önce, jeologların tebeşirlerin nasıl oluştuğu hakkında çok az fikirleri vardı. Şimdi SEM'ler, tebeşirin esas olarak diğer mikrofosillerle birlikte planktonik alglerin küçük kalsiyum karbonat plaketleri olan kokolitlerden yapıldığını göstermiştir.		Kokolitlerin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü; bunlar sonunda tebeşir haline gelebilecek çok ince karbonat çamurunu oluşturur
<b>Oymalarla değişmiş sedimanlar</b>	Birçok kumtaşı ve çamurtaşındaki hayvan yuvaları, orijinal tabakaları ve diğer yapıları tahrip etmiştir.		Jura çamurtaşı içerisindeki yengeç benzeri hayvanların oyukları, Makhtesh Katan, Güney İsrail

Kireçtaşı oluşumunda karbonun depolanması ile ayrışma şartlarında açığa çıkan karbon salınması arasındaki denge, atmosferdeki karbondioksit miktarı ve bunun sonucunda ortaya çıkan sera etkisi ile birlikte jeolojik geçmişte muhtemelen anahtar bir rol oynamıştır. konverjan levha kenarlarında kireçtaşlarının dalması, daha sonra kireçtaşının parçalanması ile oluşan ve volkanik gazlar olarak salınan karbondioksit jeolojik geçmiş iklimlerinde önemli bir rol oynamış olabilir.

#### Kutu 4.20. James Lovelock'un Gaia hipotezi

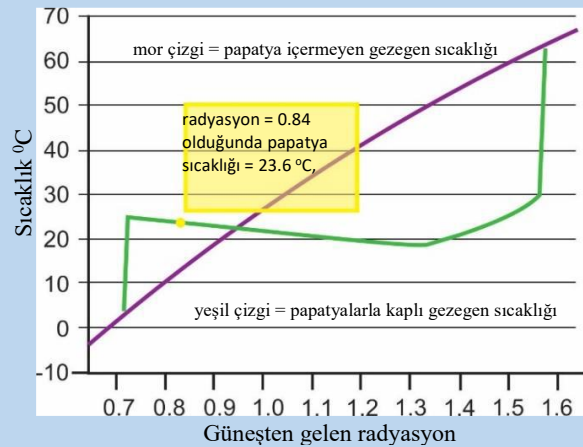
James Lovelock, yaşamın sadece Dünya sistemlerinde önemli bir rol oynadığını değil, aynı zamanda Dünya sistemlerini kontrol ettiğini öne sürdü. Fikrine Gaia hipotezi adını verdi (Yunan Toprak Ana tanrıçası Gaia'a atfen) ve tıpkı vücudunuzun onu düzenleyecek birçok farklı sistemi olduğu gibi, Dünya'nın da öyle olduğunu iddia ediyor. Örneğin, çok ısınırsanız, kendinizi serinletmek için terlersiniz, ancak çok üşürseniz titreme sizi ısıtır. Bilim adamları, Dünya'nın kendi sıcaklığını ve sistemlerinin diğer yönlerini düzenleyecek bir yapıya sahip olabileceği konusunda hemfikir olmadığında, Lovelock bunun nasıl çalışabileceğini göstermek için "Daisyworld" adını verdiği bir bilgisayar programı tasarladı.

Grafiklerde gösterilen simülasyonda, sağ taraftaki grafikteki kahverengi çizgi, eğer hayat yoksa, güneşten gelen radyasyon arttıkça simüle edilmiş gezegenin sıcaklığının nasıl artacağını gösteriyor. Lovelock'un simüle edilmiş gezegeni, Güneşimizden alınan radyasyonun jeolojik zaman içinde sürekli olarak arttığı Dünya'ya benzer.

Simüle edilen gezegenin ilk günlerinde büyük bir alan siyah papatyalarla kaplanmış olsaydı (soldaki grafikte siyah çizgi), siyah renk daha fazla radyasyon absorbe eder ve gezegenin sıcaklığını  $20^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkarırdı - yeşil çizgi sağ taraftaki grafik. Sonra, güneşten gelen radyasyon arttıkça, sıcaklık siyah papatyalar için çok sıcak olmaya başladı ve ölmeye başladılar, yerini beyaz papatyalar aldı (soldaki grafikte mavi çizgi). Güneşten gittikçe daha fazla radyasyon alındıkça, beyaz papatyalar gittikçe daha fazla radyasyonu geri yansıttı ve sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C}$ 'ye yakın tuttu. Sonunda, papatyalar artık radyasyonla başa çıkamadı ve yok oldu. Sonra gezegenin sıcaklığı, papatyalar hiç olmasaydı, olacağı gibi dramatik bir şekilde arttı. Bu nedenle, güneş parlaklığı (güneşten gelen radyasyon) iki katından fazla artarken, papatyaların etkisi, simüle edilen gezegeni oldukça sabit bir sıcaklıkta tutmak oldu.

Bu simülasyon sayesinde Lovelock, evrim geçiren yaşamın bir gezegenin sıcaklığını nasıl düzenleyebileceğini gösterdi. Yaşamın, farklı şekillerde, Dünya gibi gezegenin bütün sistemlerini düzenleyebileceğini, bol yaşamın ilk kez evrimleştiği zamandan bugüne kadar yaşam kapasitesini koruyabileceği sonucuna vardı.

Lovelock'un bazı düşünceleri, bilim insanlarının Dünya sistemlerini nasıl araştırdıklarının temelini oluşturuyor, ancak çoğu kişi hayatın tüm Dünya sistemini Lovelock'un tarif ettiği şekilde düzenlediği konusunda hemfikir değil.





## 5 Dünya'nın sistemi kaynaklar üretir

Doğal kaynaklar, insanlar tarafından kullanılabilen jeosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosferin tüm malzemeleridir. Tablo 5.1'de gösterilen geniş aralığı içerirler.

**Tablo 5.1.** Dünya'nın doğal kaynaklar

Kaynak	Kullanım için çıkarılan bazı doğal kaynaklar	Görüntü	Görüntü Kaynağı
<b>Jeosfer</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toprak</li><li>• İnşaat ve endüstri için kayalar</li><li>• yaşlı evaporit mineralleri</li><li>• Metal cevherler</li><li>• Fosil yakıtlar</li><li>• Jeotermal enerji</li><li>• Uranyum</li></ul>		Butchart Gardens, Victoria, British Columbia, Kanada, geri kazanılmış bir kireçtaşı ocağında bulunuyor.
<b>Hidrosfer</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• İçme suyu</li><li>• Sanayi ve tarım için su</li><li>• Evaporit mineralleri</li><li>• Hidroelektrik, dalga ve gelgit enerjisi</li></ul>		Tuz buharlaşma havuzları, La Palma, Kanarya Adaları
<b>Atmosfer</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atmosferdeki gazlar</li><li>• Endüstri için hava</li><li>• Güç için rüzgar</li></ul>		Havadaki oksijeni çıkarmak için kullanılan membran oksijen tesisi
<b>Biyosfer</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balıklar ve diğer deniz canlıları</li><li>• Ağaçlar</li><li>• Karada ve denizde tarım ürünleri</li></ul>		Endonezya'da deniz yosunu yetiştiriciliği

## 5.1 Hammaddeler ve fosil yakıtlar

Yerden çıkarılan tüm hammaddeler ve fosil yakıtlar ilk önce doğal olarak konsantre edilmiştir. Bu doğal yoğunlaşma iki yoldan biriyle gerçekleşir: ya doğal süreçler malzemenin kendisini yoğunlaştırmıştır ya da doğal süreçler diğer ekonomik olmayan malzemeleri ortadan kaldırarak yararlı malzemeleri geride bırakmıştır.

Malzemeler yalnızca ekonomik olarak uygunsa kullanılmak üzere çıkarılır. Bu, bir malzemenin yalnızca malzemeye yönelik yerel veya küresel ihtiyaç (talep) ile yerel veya küresel bulunabilirliği (arz) arasındaki denge fiyatı yeterince yüksek hale ulaştığı takdirde çıkarıldığı anlamına gelir. Fiyat, eğer araştırma, çıkarma ve iyileştirme, işleme ve nakliye maliyetlerini karşılayacak kadar yüksekse, malzeme çıkarılmaya değerdir.

İnsan ihtiyaçlarını karşılayacak tüm gelişmeler sürdürülebilir olmalıdır. **Sürdürülebilir kalkınma**, "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan gelişme" olarak tanımlanmıştır. Bu, ekonomik ve nüfus ihtiyaçlarının çevreye zarar vermeden ve gelecekteki ihtiyaçları da karşılanması gerektiği anlamına gelir. Doğal malzemelerin çıkarılması için, operasyonun tüm yönleri sürdürülebilir olmalıdır.

**İyileştirme**, malzemenin çevredeki topluluk ve çevreye mümkün olan en az zararı verecek şekilde çıkarılmasını ve daha sonra sorunların meydana gelmemesi için izleme ile alanı orijinal kalitesine yakın bir yere döndürmeyi içerir. Bazı ülkelerde uygun iyileştirme sağlayan yüksek düzeyde çevresel kontrol varken, diğer ülkeler daha düşük kontrol seviyelerine sahiptir.

### 5.1.1 İnşaat için hammaddeler

Büyük ölçekli inşaat, büyük miktarlarda malzemeye ihtiyaç duyar ve bunun nakliyesi çok maliyetli olabilir. Bu nedenle, birçok süper taş ocağı kıyıya yakın bölgelerde açılmıştır ve diğer büyük taş ocaklarının kendi tren hatları vardır. Çoğu kasaba ve şehir, inşaat ihtiyaçlarını karşılamak için yollarla iyi bir şekilde bağlanmış taş ocaklarına sahiptir. Bazı ocaklardan çıkan kırma kaya ve kum ve çakıl inşaat **agregası** olarak kullanılmaktadır.

**Tablo 5.2.** İnşaatta kullanılan hammadde örnekleri

Ham madde	Detaylar	Görsel	Lokasyon
<b>Magmatik kayaç</b>	Granit, gabro ve dolerit gibi volkanik kayalar çok serttir ve betonda, yol yapımında ve üzerine demiryollarının döşendiği kırma kaya balastında agrega için kullanılır.		Tepeler arkasındaki Avrupa'nın en büyük taş ocaklarından biri olan Glensanda granit süper taş ocağının yükleme iskelesi, Loch Linnhe, İskoçya,
<b>Kireçtaşı</b>	Kireçtaşı, agrega ve çimento yapımında kullanılır		Kireçtaşı taş ocağı Toyohashi, Japonya



**Tablo 5.2.** İnşaatta kullanılan hammadde örnekleri, devam

Ham madde	Detaylar	Görsel	Lokasyon
<b>Kum ve Çakıl</b>	Betonda agrega için kum ve çakıl çıkarılır		Lizbon, Portekiz yakınında kum ve çakıl ocağı

### 5.1.2 Endüstri için yığın (bulk)hammaddeler

Endüstri, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi kullanım için toplu ham maddelere ihtiyaç duyar: inşaat malzemeleri yapmak, seramik endüstrileri ihtiyaçları sağlamak ve kimyasal ve tarımsal gübre endüstrileri için hammadde (Tablo 5.3). Hammaddelerin nakliye maliyetleri yüksek olduğundan, ya işleme tesisleri taş ocaklarına mümkün olduğunca yakın konumlandırılmıştır ya da iyi ulaşım bağlantılarına ihtiyaç vardır. Yığın (bulk) ham maddeler olarak adlandırılırlar çünkü maliyetleri büyük kütleleri ve hacimlerine göre düşüktür, bu nedenle karlı olabilmeleri için büyük ölçekte toplu olarak kazılmaları gerekir.



**Tablo 5.3.** Yapı malzemeleri yapımında, seramik ve kimya endüstrilerinde kullanılan yığın hammaddelere örnekler

Ham madde	Detaylar	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Kireçtaşı</b>	Beton için çimento; çimento blokları ve harç, kireçtaşı ve kilin bir fırında birlikte ısıtılması ve elde edilen malzemenin alçı ile öğütülmesi ile yapılır.		Çimento işleri, Holcim, Eclépens, İsviçre
<b>Kireçtaşı</b>	Kireçtaşı, tarımda ve kimya endüstrisinde çelik yapmak, kağıt için kaplamalar, ağartıcı, şeker rafine etme ve su arıtma için kullanılan sönmemiş kireç elde etmek için ısıtılır		Modern bir döner kireç fırını, Wyoming, ABD

**Tablo 5.3.** Yapı malzemeleri yapımında, seramik ve kimya endüstrilerinde kullanılan yığın hammaddelere örnekler, devam

Ham madde	Detaylar	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Tuz</b>	Sodyum klorür yalnızca tuz havuzlarında buharlaşma yoluyla geri kazanılmaz, aynı zamanda eski halit yataklarından yeraltında da çıkarılır; gıda tuzlamasında, yolları buz çözmede ve kimya endüstrisinde plastik ve kağıt yapımında kullanılır.		Mineral halitin kübik kristalleri, Merkers tuz madeni, Almanya
<b>Potas</b>	Potas, potasyum klorürdür ve madencilik ve tuzlu su pompalama ile geri kazanılır; tarımsal gübrelerdeki ana potasyum kaynağıdır; aynı zamanda çok çeşitli endüstriyel kimyasallar üretmek için kullanılır		Çözünür potas cevherine pompalanan su, daha sonra potası, geri kazanmak için buharlaşma havuzlarına tuzlu su olarak pompalanır, Utah, ABD.
<b>Jips</b>	Kalsiyum sülfat minerali olan alçı, modern yapıların çoğunda kullanılan alçı ve alçıpan duvar kaplamalarının yapımında kullanılan Paris sıvası yapmak için ocaktan çıkarılıp ısıtılır.		Nottingham, İngiltere yakınında Triyas kayaları içinde bir jips ocağı
<b>Tuğla kili</b>	Tuğla kili, tuğla kalıplarıyla şekillenir ve daha sonra bina için ev tuğlaları üretmek için fırınlarda yakılır.		Tuğla kilinin kazılması, Baduria, Batı Bengal, Hindistan

**Tablo 5.3.** Yapı malzemeleri yapımında, seramik ve kimya endüstrilerinde kullanılan yığın hammaddelere örnekler, devam



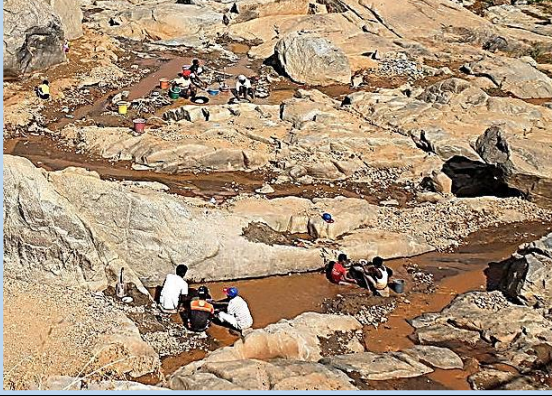
Ham madde	Detaylar	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Çin Kili</b>	Çin kili ince porselen çini yapmak için, kağıt yapımında ve kozmetikte kullanılır.		Çek Cumhuriyeti'ndeki Kaznějov yakınlarındaki Çin kili ocağı
<b>Silis kumu</b>	Silis kumu, soda (sodyum karbonat), kireç (kalsiyum oksit) ve diğer kimyasallarla karıştırılır, eritilir ve ardından camın günümüzün pencerelerinde kullanılması için erimiş metal üzerinde yüzdürülür.		Batı Almanya'da Frechen yakınlarındaki devasa silis kumu çukurunun havadan görünümü

### 5.1.3 Metal cevherleri

Metal cevherleri, ekonomik olarak değerli olan doğal metal konsantrasyonlarıdır. Madenciligi ekonomik hale getirmek için metal cevherlerinin yığın hammaddelerden daha fazla konsantrasyona sahip olmaları gerekir. Bir dizi tortul, magmatik ve metamorfik süreç doğal olarak cevherleri zenginleştirir ve bazı örnekler Tablo 5.4'te verilmiştir.

**Tablo 5.4.** Metal cevheri işletme örnekleri



Metal cevher	Doğal konsantrasyon	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Demir, Hematit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Avustralya ve diğer kıtasal bölgelerdeki muazzam bantlı demir taşı istifleri, Bilim insanlarının hala açıklamaya çalıştıkları tortul süreçlerle Prekambriyen döneminde oluştu.		Tom Price demir taşı madeni, Batı Avustralya - görünümdeki her şey hematit tozuyla kırmızıya boyanmış

Metal cevher	Doğal konsantrasyon	Görüsel	Görsel lokasyonu
<b>Bakır, Kalkopirit</b> <b>CuFeS<sub>2</sub></b>	Kalkopirit ve diğer bakır mineralleri, metamorfik ve hidrotermal süreçlerle yüzeyin derinliklerinde oluşan sıcak hidrotermal sulu akışkanlar tarafından konsantre edilir.		Bingham Canyon bakır madeni, Utah, ABD - bir kilometreden daha derin ve dört kilometre genişliğiyle dünyanın en büyük madeni
<b>Kurşun, galenit, PbS</b>	Kurşun cevheri genellikle çinko, bakır ve gümüş cevherleri ile birlikte bulunur; cevherler genellikle magmaların çevreleyen kayalara sokulum yaparken üretilen hidrotermal akışkanlar tarafından yoğunlaştırılır		Mt Isa madeni, Queensland, Avustralya; yüksek baca kurşun izabesi içindir; bakır izabe bacası kırmızı beyazdır
<b>Altın, Natif altın, Au</b>	Altın, başka herhangi bir elementle bileşik yapmadan doğal olarak bulunabilir; yoğun bir mineral olduğu için kayadan erozyonla salıverildikten sonra dere yataklarında plaser altın olarak birikebilir.		Madagaskar'daki Sakalava halkının ticari altın madenciliği

### 5.1.4 Endüstriyel mineraller

Bunlar petrol, metal cevheri veya yığın hammadde dışında kalan değerleri nedeniyle çıkarılmış minerallerdir. Çok geniş bir malzeme yelpazesi içerirler. Tablo 5.5'te iki örnek yer almaktadır.

**Tablo 5.5.** Endüstriyel mineral çıkarma örnekleri

Endüstriyel mineral	Detay	Görüntü	Kaynak
<b>Nadir toprak mineralleri</b>	Bu birikintiler, bilgisayar belleği, cep telefonları, DVD'ler, mıknatıslar, floresan aydınlatma ve şarj edilebilir piller gibi modern cihazlarda kullanılan nadir toprak elementleri içerir.		Bayan Obo, Çin'deki nadir bir toprak madeninin uydu görüntüsü
<b>Elmas</b>	Elmaslar Mantonun derinliklerinden gelen elmaslar, yüzeye kadar kayaları delen volkanik patlamalarla yüzeye çıkarılır; değerli taşlar olarak ve endüstriyel kesme ve taşlama için kullanılırlar		Mir maden ocağı, Mirny, Rusya

### 5.1.5 Fosil yakıtlar

Fosil yakıtlar, toprakta korunmuş bitki ve mikroskobik bitki ve hayvanların kalıntılarıdır. Canlı olduklarında bitkiler, fotosentez yoluyla Güneş'ten enerji absorbe ederler. Ölümlerinde kalıntıları genellikle çok az oksijen içeren veya hiç oksijen içermeyen suda birikir. Organik materyalin tamamen parçalanması için oksijen gerektiğinden, kalıntılar yalnızca kısmen ayrışarak organik materyal açısından zengin tortular oluşturur. Bu malzeme gömülüp sıkıştırıldığında, suyun ve ayrışma gazlarının çoğu dışarı atılarak organik içeriği daha da zenginleşir. Tüm organik malzemeler karbon elementini içerir ve karbonun fosil yakıtlarda yakılması enerjiyi açığa çıkarır.

#### 5.1.5.1 Turba ve kömür

Turba, çayırliklar ve bataklıkların oksijen bakımından fakir sularında kısmen ayrışmış bitki materyalinin birikmesidir. Turba, binlerce yıl içinde, genellikle 2 metreden fazla kalınlığa kadar birikir. Turbalıklar yalnızca karbon açısından zengin olmakla kalmaz, aynı zamanda ayrışma sırasında açığa çıkan karbondioksiti de tutar ve bu nedenle atmosferden uzaklaştırılan önemli karbon depolarından biridir. Turba gömülür ve sıkıştırılırsa daha da fazla karbon konsantrasyonunu korur. Turba yakmak ve bahçeler için organik kompost üretmek için kesilir. Bununla birlikte, bilim adamları turbalıkların atmosferden karbonun uzaklaştırılmasında bu kadar önemli bir rol oynadığını daha iyi anladıkça, turba kazıları küresel olarak azaldı.

**Şekil 5.1.** Ticari turba işletilmesi, Ljungby, İsveç



Turba, daha da derinlere gömülürse, üstteki çökeltilerin sıkıştırması onu kömüre dönüştürür. Bununla birlikte, çoğu kömür, tropikal bataklık alanların yağmur ormanı koşullarında üretilir. Bitkiler ve ağaçlar ılık ve nemli koşullarda hızlı büyür ve öldüklerinde ve oksijen bakımından fakir bataklıklara düştüklerinde yalnızca kısmen çürürler.

Alan gömülüyorsa, bazen yaprakları, kökleri veya bütün ağaç gövdelerini koruyarak, metrelerce organik malzeme birikebilir. Organik katman, üst üste gelen sedimentler tarafından sürekli olarak daha derine gömüldüğünde, su ve ayrışma gazları dışarı atıldıkça kömür damarları oluştururken sıcaklık doğal olarak yükselir. Basınç ve sıcaklıktaki artış ne kadar büyükse, o kadar fazla gaz dışarı atılır ve kömür kalitesi o kadar yüksek olur; en yüksek kalite kömür, en büyük oranda karbon içerir. Kömürün yeryüzüne çıkan tabakaları ilk olarak yüzeyde uzun zaman önce işlendi. Daha sonra galeri adı verilen yatay veya eğimli tüneller veya dikey şaftlar aracılığıyla yeraltında takip edildi. Yeraltı kömür madenciliği derin madencilik olarak adlandırılır ve bazı kömür madenleri 1 km'den fazla derinliğe ulaşmıştır. Derin kömür madenciliği dünyanın birçok yerinde devam ediyor, ancak daha ucuz bir alternatif, açık kömür madenciliği yapmaktır.

Modern açık ocak işletmelerinde üst toprak kaldırılır ve istiflenir. Daha sonra kömür damarlarını örten tortul kayalar çıkarılır ve başka yerlerde istiflenir. Kömür damarına ulaşıldığında, kömür dikkatlice temizlenir ve ardından kömürü kesmek ve çukurdan çıkarmak için büyük ölçekli makineler kullanılır. Bazen açık ocak işletmeleri, Şekil 5.2'deki gibi eski derin kömür madenciliği tünellerini ortaya çıkarır. Daha derin damarlar çıkarıldıkça, bazen 60 m derinliğe kadar daha derin ve daha derin açık işletme yuvaları kazılır. Daha sonra, bir sonraki slot kazılır ve önceki yuvadaki atık kaya ile geri doldurulur. Açık ocak madencileri, tüm kömür kaldırılana ve son yuva doldurulana kadar, her bir yuva boyunca bölge genelinde çalışır. Daha sonra üst toprak tekrar yerine konular ve alan mümkün olduğunca orijinal koşullarına yakın bir şekilde düzenlenir.

**Şekil 5.2.** Kalın bir eğimli kömür damarındaki açık ocak kömür madeni, eski bir derin maden ocağı galerisini ortaya çıkarıyor. Karbonifer Stellarton Formasyonunda Foord damarı, Stellarton, Nova Scotia, Kanada







### 5.1.5.2 Petrol ve doğal gaz

Dünya'dan çıkarılan doğal gazın çoğu, gömülme sırasında sıkıştırılıp ısıtıldığında kömürün doğal gazdan arındırılmasıyla üretilir. Bu arada, ham petrol ve doğalgaz, organik olarak zengin çamurtaşları ve şeyllerden de ısıtılarak ve gömülerek sıkıştırılarak oluşturulur. Petrol kaynağını sağlayan organik materyal, başlangıçta mikroskobik deniz planktonik bitkileri ve hayvanlarıydı. Bunlar öldüklerinde deniz tabanında biriktirilir ve sonunda çamurtaşı ve şist haline gelen çamurla gömülür. Dolayısıyla kömür ve organik zengin çamurtaşı ve şeyl, petrol ve gazın orijinal kaynak kayalarındır. Kaynak kayalardaki tüm organik materyaller, enerjilerini başlangıçta Güneş'ten fotosentez yoluyla elde eder ve bu nedenle "fosilleşmiş Güneş enerjisi" içeriyorlar.



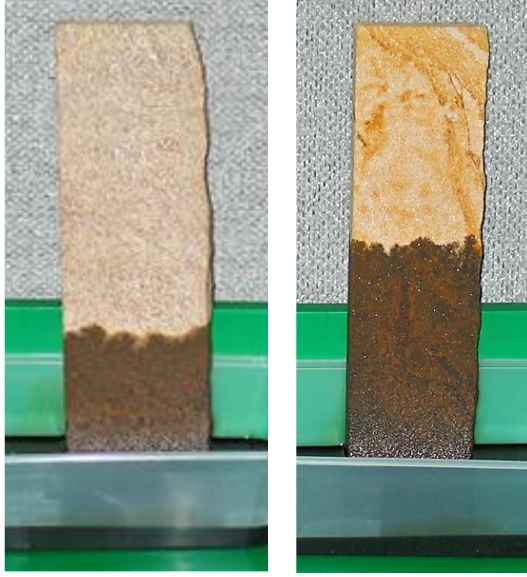
Yeraltında petrol ve gaz yataklarının oluşması için, Tablo 5.6'da gösterilen beş şey, tablonun altından üstüne doğru sırayla gereklidir.

**Tablo 5.6.** Bir petrol ve / veya gaz sahası oluşturmak için beş koşul

Petrol / gaz sahası gereği	Detay	Görsel	Görsel lokasyon
<b>Kapan</b>	Rezervuar kayasını örten örtü kayanın şekli, altında bombe şeklinde bir petrol veya gaz kütlelerini tutmalıdır. Yaygın bir kapan şekli antiklinaldir, ancak çok sayıda başka kapan türü de vardır.		Tibet'te Pang La geçidinde bir antiklinal
<b>Örtü Kaya</b>	Örtü kayaları, geçirimsiz (sıvılar içlerinden akamaz) ve altında petrol ve / veya gazı kabarcık şeklinde tutan ince taneli kayalardır.		Silüriyen yaşlı Yarralumla formasyonunun Deakin antiklinalindeki çamurtaşı, Canberra, Avustralya
<b>Rezervuar kayası</b>	Bir rezervuar kayası, su, petrol veya gaz gibi bir sıvıyı içerecek kadar birbirine bağlı gözenek boşluklarına sahip bir kayadır; hem gözenekli (gözenek boşluklu) hem de geçirgen (sıvının akmasına izin vermek için) olması gereken geçirgen bir kayadır. Kumtaşları en yaygın petrol rezervuar kayalarıdır		Kuzey Denizi'ndeki Hutton petrol sahasından doğal olarak petrol içeren kumtaşı
<b>Gömülme ısı ve basınç</b>	Kayalar gömüldükçe sıcaklıkları doğal olarak yükselir. Yaklaşık 2km derinlikte sıcaklık 60°C'ye ulaşır ve organik kayaçlar petrol salmaya başlar. 4 km derinlikte sıcaklık 120°C'dir ve petrolün çoğu serbest bırakılmıştır. Bu sıcaklıkta doğalgaz da çıkmaya başlar. 9 km derinlikte, 200°C'nin üzerindeki bir sıcaklıkta, kalan herhangi bir gaz grafit haline gelir ve salnamaz.		
<b>Ana kaya</b>	Kaynak kaya, petrol ve gazın orijinal olarak geldiği organik açıdan zengin kayadır. Doğal gaz için kaynak kaya kömür veya petrol kaynaklarıdır. Petrol ve bazı doğal gazların çoğu, siyah organik petrol şeylinden veya büyük hacimlerde soluk renkli çamurtaşının organik içeriğinden gelir.		Almanya, Frankfurt yakınlarındaki Messel ocağındaki Eosen yaşlı çökellerdeki petrol şeyl

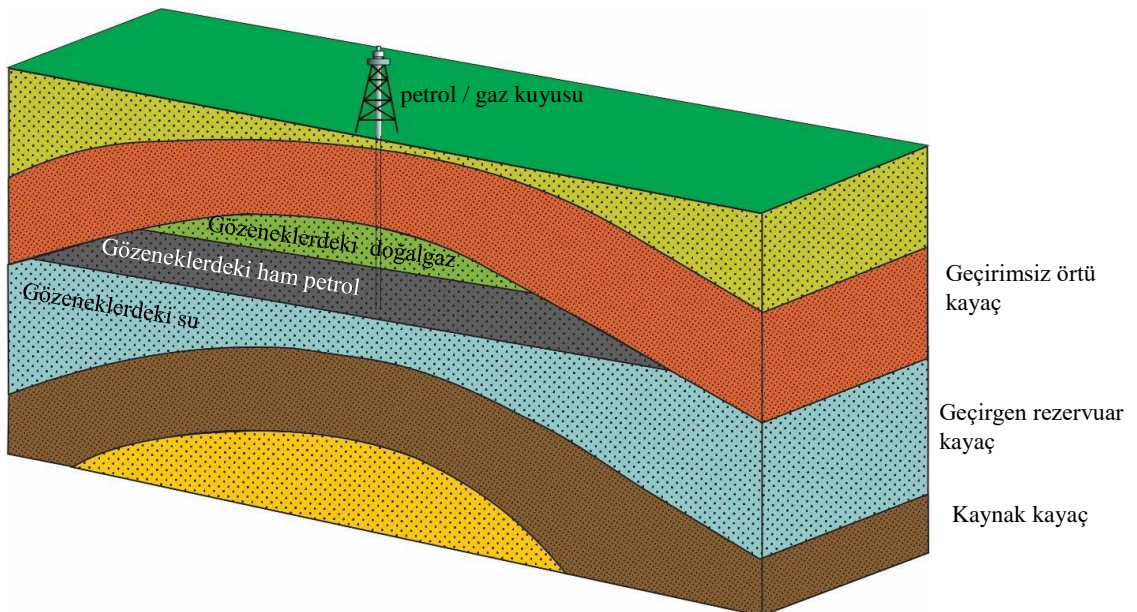
Tüm gözenekli kayalar, genellikle su olmak üzere gözenek boşluklarında sıvılar içerir. Gömme basınçları ve sıcaklıkları arttıkça, kaynak kayalar petrol ve gazlarını serbest bırakır. Petrol ve gaz gözenek boşluklarındaki sudan daha az yoğun oldukları için yükselirler. Ya Dünya yüzeyine ulaşır kaybolana ya da geçirimsiz bir örtü kaya katmanına ulaşana kadar geçirgen kayalar boyunca ya da çatlaklar boyunca yükselmeye devam ederler. Bir yeraltı petrol / gaz rezervuarı, eğer örtü kaya petrol / gazı altına hapsetmek için doğru şekildeyse, yeterince büyükse ve altında yeterli miktarda petrol / gazı tutacak kadar gözenekli bir kaya varsa( Şekil 5.3'tekiler gibi bir rezervuar kayacı) gelişir. Gözenek boşluklarındaki gaz, Şekil 5.4'te gösterildiği gibi sırayla su üzerinde yüzen petrolün üzerinde yüzer.

**Şekil 5.3.** Motor yağında duran iki kumtaşı tabakası - farklı kum taşlarının gözenek boşluklarında farklı miktarlarda yağı nasıl emebildiğini gösteriyor.



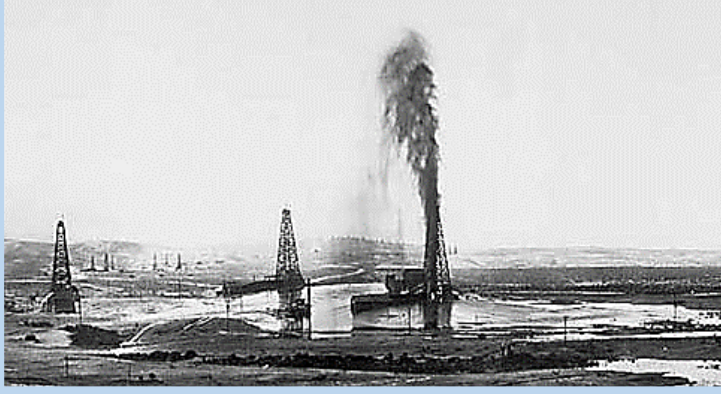
Petrol ve / veya gaz içeren bir kapanda bir sondaj kuyusu açıldığında, petrol / gaz, sudan daha düşük yoğunluğa sahip olduğu ve üzerini örten kayaların basıncı nedeniyle kuyudan yukarı çıkarır. Tüm petrol / gaz arama sondajlarının tepesine bağlanan bir dizi vana tarafından dikkatlice kontrol edilmediği sürece, yüzeye tehlikeli bir şekilde fışkırabilir.

**Şekil 5.4.** Yukarı kıvrılmış kayalardan oluşan bir kapan (bir antiklinal) - bunlar petrol, gaz veya her ikisini birden içerebilir



**Kutu 5.1. Petrol sondaj kuyusu vanaları**

Petrol / gaz sondaj kuyuları , doğal olarak basınçlı petrol / gazın sondaj kuyusundan tehlikeli bir şekilde fişkırmasını önlemek için bir "Noel ağacı" vanasına sahiptir (karşıdaki resim, Kuzey Dakota, ABD'deki bir sondaj kuyusundan alınmıştır). Geçmiş zamanlarda, bu vanaların kullanılmasından önce, petrol bazen 1911'de ABD'den aşağıdaki resimde görüldüğü gibi tehlikeli "fişkirticiler" vasıtasıyla yüzeye fişkıyordu.

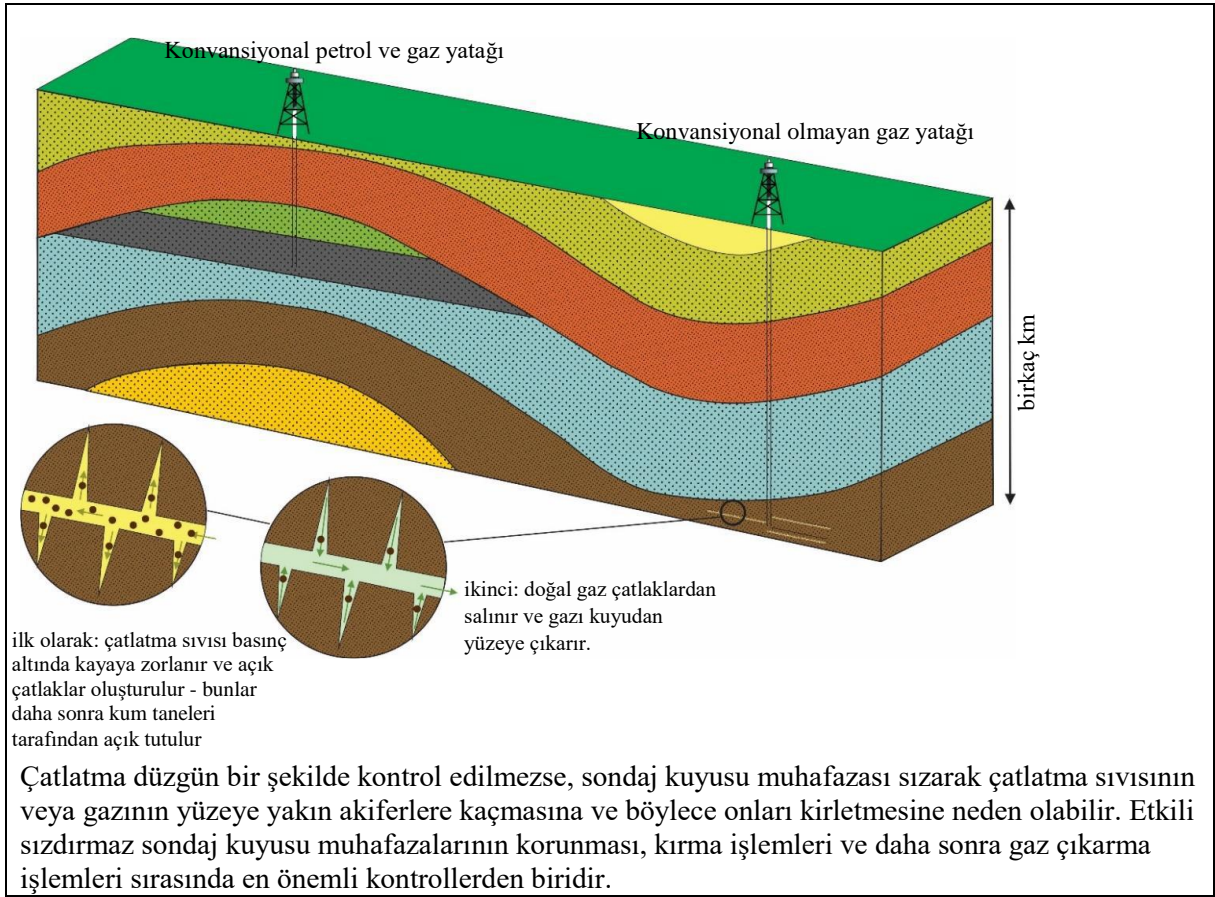


Pek çok modern petrol ve gaz sahasının rezervuar kayaları, kayadan salınabilecek petrol / gaz miktarını artırmak için hidrolik olarak kırılır (kırılır). Çatlatma sırasında, sıvı büyük basınç altında kayaya pompalanır ve gözenek boşluklarını kırarak onları genişletir. Sıvı, yeni çatlaklara yapışan ve onları açık tutan kum içerir. Daha geniş gözenekler ve kırıklar daha sonra petrol ve gazı daha kolay serbest bırakır.

**Kutu 5.2. Şeyl ve "sıkı" kumtaşı çatlatılması**

Çatlatma, az gözenek boşluğuna sahip veya gözenek boşlukları küçük olacak kadar derine gömülmüş şeyl kaynak kayalardan doğal gazı serbest bırakmak için kullanılabilir. Ekonomik miktarlarda petrol / gaz bu kayalardan çatlama olmadan salınamayacağından, şemada gösterilen geleneksel birikintilerin aksine bunlara genellikle 'geleneksel olmayan çökelti' denir. Geleneksel çökelti uzun yıllardır kırılıyor. Çatlatma delikleri yüzeyden dikey olarak ve ardından kırılacak tabakalar boyunca yatay olarak delinir.

Her dikey sondaj kuyusundan bir dizi yatay sondaj deliği açılır. Çatlatma sıvısı daha sonra, yukarıdaki kayaların kütlelerine karşı koymak için aşırı yüksek basınçta pompalanır. Kırma sıvısı, deterjan (bulaşık deterjanı gibi), sirke kuvvetinde asit, sakız (bazı tatlılarda bulunan sakız gibi), su ve kum karışımıdır. Deterjan sıvının delikten aşağı kaymasına yardımcı olur, asit kayacın kimyasal olarak parçalanmasına yardımcı olur ve sakız sıvıyı kalınlaştırır. Kum parçacıkları yeni çatlakları açık tutar. Bunun etkisi, daha önce neredeyse geçirimsiz kayaları, gazlarını serbest bırakacak kadar geçirgen hale getirmektir.



### 5.1.6 Maden arama

İlk araştırmacılar, Dünya yüzeyinde açığa çıkan doğal mineral birikintilerini veya petrol sızıntılarını ararlardı, ancak bu yüzey çıkıntıları ve işaretlerinin neredeyse tamamı bulundu, bu nedenle günümüzde daha fazla teknik yöntem ihtiyacı duyulmaktadır.

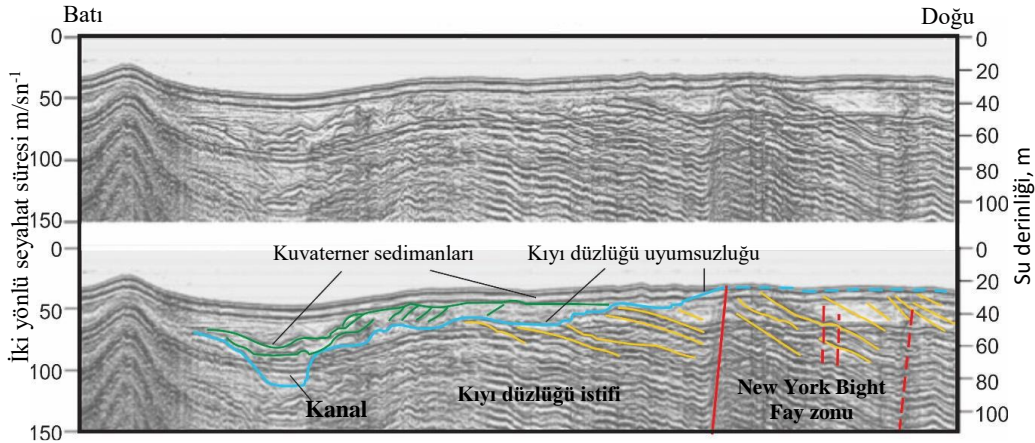
Günümüzün petrol arayıcıları, kaynak kayaçların, rezervuar kayaçlarının ve örtü kayaçların doğru sırada bulunma ihtimalinin yüksek olduğu yerleri karadaki yüzey jeolojisi haritalamasından biliyorlar, bu yüzden onlar çoğunlukla yeraltı kapan şekillerini araştırırlar. Bu araştırmaya uzaktan algılama, yerçekimi ve manyetik araştırmalarla başlayabilirler, çünkü bunlar daha yoğun veya manyetik kayaların yüzeye yaklaştığı yerleri gösterir ve yüzey altı antiklinallerin veya benzer oluşumların nerede meydana geldiğini gösterebilir. Daha sonra yerin altındaki kayaların yapısını göstermek için sismik araştırmalar yaparlar. Olası bir hedef yapı bulunduğu anda, petrol / gaz varlığı için bir araştırma sondaj kuyusu açılır. Bir sondaj kuyusunu delmek, özellikle açık denizde çok pahalıdır, bu nedenle araştırma yapan jeolog, bilgi toplamada ve olası hedefleri tahmin etmede büyük özen göstermelidir.

#### **Kutu 5.3.** Sismik araştırma

Sismik araştırma, şok dalgalarının kaya dizisindeki farklı katmanlar tarafından geri yansıtılmasına bağlıdır. Keşif ekibi karada bir patlama veya bir "titreşim kamyon" kullanarak veya denizde su tabancası veya patlamayla şok dalgaları oluşturur. Şok dalgaları kayaç dizisi içerisinde ilerler ve farklı katmanlar tarafından yansıtılır. Yansıtılan şok dalgaları, karada jeofon veya denizde hidrofona olarak adlandırılan bir dizi mikrofona tarafından algılanır.

### Kutu 5.3. Sismik araştırma, devam

Sonuçlar, aşağıda gösterildiği gibi, sismik bir iz oluşturmak için bilgisayar tarafından analiz edilir. Soldaki düşey ölçek, şok dalgasının yansıtıcı tabakaya ulaşması ve alıcıya geri dönmesi için gereken süre olan iki yönlü seyahat süresidir: bu, sağda gösterilen tabakanın derinliğini gösterir. Alttaki diyagram, jeolojik bir enine kesit gibi jeolojinin bir resmini oluşturmak için üst diyagramın sismik izinin bir yorumunu gösterir.



ABD, New York şehri açıklarında New York Bight boyunca çekilmiş sismik bir profil

Petrol / gaz arama sırasında böyle bir sismik profil alınmışsa, o zaman petrol / gaz için iyi hedefler profilin batı ucunda belirtilen antiklinal olabilir veya uyumsuzluğun üzerindeki kayalar geçirimsiz ise, uyumsuzluğun altındaki kayalar olabilir. .

Yerçekimi ve manyetik araştırmalar, olası metal cevheri hedeflerinin göstergeleri olarak yüksek yerçekimi (yüksek yoğunluk) anomalileri ve manyetizasyon anormallikleri aranarak diğer doğal kaynakların araştırılması sırasında da uygulanabilir. Metal cevherleri ararken sıklıkla kullanılan bir araştırma yöntemi, jeokimyasal akarsu ve toprak örneklemesidir. En yaygın olarak, bir dere yatağından bir dizi sediman numunesi toplanır, kurutulur ve ince taneli sediman elde etmek için elenir. Bunlar daha sonra 50'den fazla element için genellikle X-ışını floresans spektrometresi (XRF) ile analiz için bir laboratuvara gönderilir. Maden arama, hedef unsurların yüksek seviyeleri bulunduğunda, seviyeler genellikle kaynağa ulaşmaya kadar akarsu akış yukarı yönde artar; bu daha sonra daha ayrıntılı akarsu örnekleme ile kontrol edilir. Kaynak alan kesin olarak belirlendiğinde, toprak örnekleme, en yüksek değerler bulunana kadar bir kareyaj yapılarak örnekleme gerçekleştirilir. Son olarak, kaynak kaya belirlenene ve gelecekteki maden sahası olarak değerlendirilene kadar çukurlar kazılır.

### Kutu 5.4. Elmas madeni nasıl bulunur

- Daha önce elmasların bulunduğu bir kıtaya gidin (elmaslar yalnızca kalın eski kıtasal kabuk bölgelerinde oluşur).
- Akarsu örneklemesini gerçekleştirin ve ağır (yoğun) mineralleri konsantre etmek için her örneği işleyin. Elmaslar nadiren akarsularda bulunsun da, kimberlit adı verilen sıra dışı volkanik kayalardan gelirler ve bunlar koyu kırmızı renkli granatlar gibi diğer ağır kimberlitik mineraller içerir.
- Yoğun mineral konsantrasyonunu analiz için laboratuvara gönderin.
- Yüksek düzeyde kimberlitik mineral içeren akarsu alanlarını belirleyin ve kaynak alanlarına kadar takip edin.
- Kaynak alanında bir ızgara modeli üzerinde toprak örnekleme gerçekleştirin, ağır mineralleri yoğunlaştırın ve analiz için laboratuvara gönderin.
- En yüksek kimberlitik-mineral anomalisini bulun ve volkanik kimberlit bulmayı umarak kazın.
- Çok şanslıysanız, bulduğunuz kimberlit, çıkarılabilir hale getirmek için yeterli elmas içeren çok az sayıda kimberlitten biri olabilir.

#### Kutu 5.4. Elmas madeni nasıl bulunur, devam



Kuru dere yatağında ağır mineral numunesi toplamak



Arazide ağır mineral elek konsantresi



Bir kimberlit üzerinde ağır mineral konsantresi



Premier elmas madeni, Cullinan, Güney Afrika

Not: Bazen jeolojik geçmişte bir kimberlit erozyona uğradığında, nehir veya sahil çökeltisinde onları çıkarmaya değer kılacak kadar yeterli elmas konsantre edilebilir.






### 5.1.7 Çevre koruma ve iyileştirme

Modern maden çıkarma sahaları genellikle çevre koruma ve iyileştirme politikalarına sahiptir. Çevre koruma politikaları, yerel alanı ekstraksiyonun etkilerinden korur. İyileştirme politikaları, çıkarma işlemi bittikten sonra sahanın iyi durumda bırakılmasını ve sahanın sürekli izlenmesinin devam etmesini sağlar. Tablo 5.7'deki gibi bir dizi çevre koruma yöntemi kullanılmaktadır.

**Tablo 5.7.** Doğal kaynakların kullanılması sırasında çevreyi koruma yöntemleri

Çevre koruma yöntemleri	Detay	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Setler</b>	Banklar (setler), dışarıdan kolayca görülemeyecekleri ve toz ve gürültüyü azaltacak şekilde maden çıkarma alanlarının üst kısmına inşa edilir.		Almanya, Hohenfels-Essingen yakınlarındaki bir bazalt ocağının tepesine inşa edilen bank.

**Tablo 5.7.** Doğal kaynakların kullanılması sırasında çevreyi koruma yöntemleri, devam



Çevre koruma yöntemleri	Detay	Görsel	Görsel lokasyon
<b>Bitki ekimi</b>	Maden çıkarma sahalarının etrafına ağaçlar dikilir, böylece saha kolayca görülemez ve sahadan gelen gürültü ve tozu azalır.		Aktif bir bazalt ocağı çevresinde ağaç dikerek çeperleme, Hühnerberg, Bavyera, Almanya
<b>Çökeltme havuzları</b>	Madenlerden ve taş ocaklarından pompalanan ve yağmur fırtınaları sırasında oluşan su birlikte çökeltme havuzlarına yönlendirilir. Çamur çökeltildikten sonra, su yıkama işlemlerinde veya yerel akarsulara akmasına izin verilir.		Filipinler'de Cagdiano Mining Corporation demir madeninin çökeltme göleti
<b>Kirlenmiş suyun arıtılması.</b>	Atık su, nehir sistemlerine salınmadan önce kirliliği gidermek için arıtılır.		Avustralya'da metal kirliliğini ortadan kaldırmak için maden atık suyunun arıtılması
<b>Araç yıkama.</b>	Araçlardan çamur ve toz yıkanır, böylece yakındaki yollara taşınmaz.		Almanya'da bir kamyon tekerlek yıkama sistemi
<b>Atık yığınları üzerine bitki ekimi</b>	Bitki örtüsü atık yığınları üzerine ekilir, böylece kökler toprağı bağlar ve suyun yüzey üzerindeki akışını azaltır, böylece erozyonu azaltır.		Çin kil atıkları üzerindeki çim tohumlu teraslar, Higher Coldvreath, Cornwall, İngiltere

**Tablo 5.7.** Doğal kaynakların kullanılması sırasında çevreyi koruma yöntemleri, devam

Çevre koruma yöntemleri	Detay	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Yeraltı suyu izleme.</b>	Maden ocağı alanı çevresinde bir dizi sondaj kuyusu açılır ve yeraltı suyu kirlilik açısından izlenir.		Yeraltı suyu izleme, Coronado Ulusal Anıtı, Arizona, ABD




Bir maden sahası kapandığında, sahanın gelecekteki kullanımlara uygun hale getirilmesi için iyileştirilmesi veya mümkün olduğunca temizlenmesi gerekir. Bazen bölgeyi orijinal kullanımına geri döndürmek mümkündür, ancak diğer durumlarda kırsal bir park veya tekne yat limanı gibi yeni kullanımlara açılır. İyileştirme süreçleri, arazinin peyzajını, çıkarılan üst toprağın geri getirilmesini ve yeni koşullarda hayatta kalacak ve muhtemelen toprağın temizlenmesine yardımcı olacak özenle seçilmiş bitkilerin dikilmesini içerir. Madencilik ve taş ocakçılığı alanlarında, eski makinelerin bir kısmı ve diğer tarihi öğeler miras müzelerinde sergilenebilir. Kayaç yüzlerinden bazıları bilimsel, eğitimsel veya tarihsel değerleri nedeniyle veya yuva yapan kuşlar veya su seven hayvanlar gibi vahşi yaşam alanları olarak korunabilir. İyileştirmeden sonra bile, sahaların yeraltı suyu kalitesi ve ekolojisi için düzenli izlemeye ihtiyacı olabilir.

**Tablo 5.8.** İyileştirme örnekleri

Ekstraksiyon iyileştirme örneği	Detay	Görüntü	Kaynak
<b>Çevre düzenleme</b>	Eğimleri azaltmak için ocaklar, çukurlar, madenler ve maden atıklarına çevre düzenlemesi yapılır ve erozyonu en aza indirmek için bitki örtüsü ekilir.		Albuquerque'nin batısında, Laguna Pueblo'daki eski Jackpile-Paguete uranyum madeni
<b>Geri kazanım</b>	Açık işletme madenleri tarımsal kullanım için geri kazanılabilir.		Açık işletme kömür madeni ve Kuzey Antilop Rochelle kömür madeninde ıslah edilmiş arazi, Wyoming, ABD



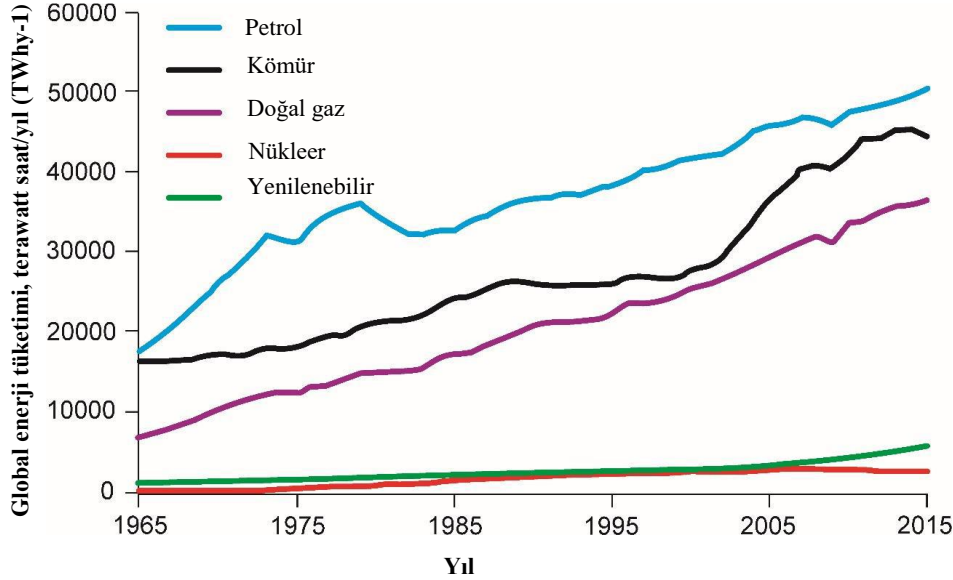
**Tablo 5.8.** İyileştirme örnekleri, devam

<b>Ekstraksiyon iyileştirme örneği</b>	<b>Detay</b>	<b>Görsel</b>	<b>Görsel lokasyonu</b>
<b>Koruma</b>	Eski maden çıkarma sahasının bazı kısımları tarihi değerleri nedeniyle korunabilir		Eski bir çinko, kurşun ve sülfür madeni üzerinde korunmuş fırın binası, Co. Tipperary, İrlanda
<b>Yeniden kullanım</b>	Dünyanın dört bir yanından bitkiler yetiştirilen Eden projesinin kubbeleri, eski bir çin kili ocağında bulunuyor.		Cornwall, İngiltere'deki Eden Projesi
<b>Arazi çalışması</b>	Eski taş ocağı sahalarındaki kaya yüzleri, bir dizi bilimsel ve eğitici kullanıma sahiptir.		Staffordshire, İngiltere'deki eski bir kireçtaşı ocağı olan Apes Tor'da öğrenci saha çalışması

## 5.2 Güç (Enerji) kaynakları

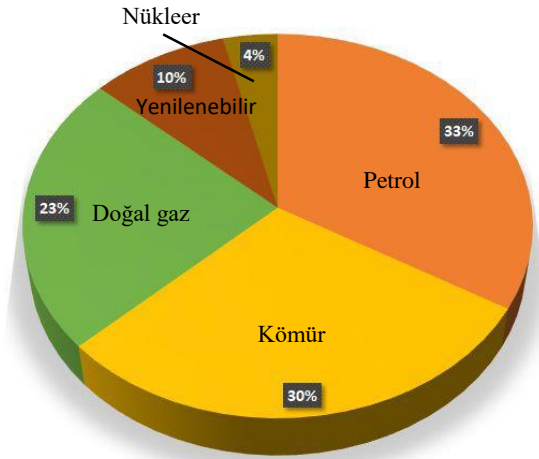
Şekil 5.5, petrol, gaz ve yenilenebilir kaynaklardan gelen gücün artmasıyla 1960'lardan bu yana farklı kaynaklardan dünya güç tüketiminin nasıl değiştiğini göstermektedir. Son zamanlarda nükleer enerji hafif bir düşüş ve kömür ise daha keskin bir düşüş oldu..

**Şekil 5.5.** Küresel enerji tüketimi; BP'nin dünya enerjisinin istatistiksel incelemesinden elde edilen veriler



Şekil 5.6, Dünya'daki mevcut enerji tüketiminin % 85'inden fazlasının fosil yakıtlardan, % 10'unun yenilenebilir kaynaklardan ve yalnızca % 4'ünün nükleer enerjiden geldiğini gösteren son rakamların pasta grafiğidir.

**Şekil 5.6.** Küresel enerji tüketimi; BP'nin dünya enerjisinin istatistiksel incelemesinden elde edilen veriler



Dünya genelinde fosil yakıt kullanımını azaltma ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçme girişimlerine rağmen, son veriler hala fosil yakıt kaynaklarının önemini ve kullanımının arttığını göstermektedir. Mevcut koşullar altında, bu eğilimleri tersine çevirmek açıkça uzun zaman alacaktır.

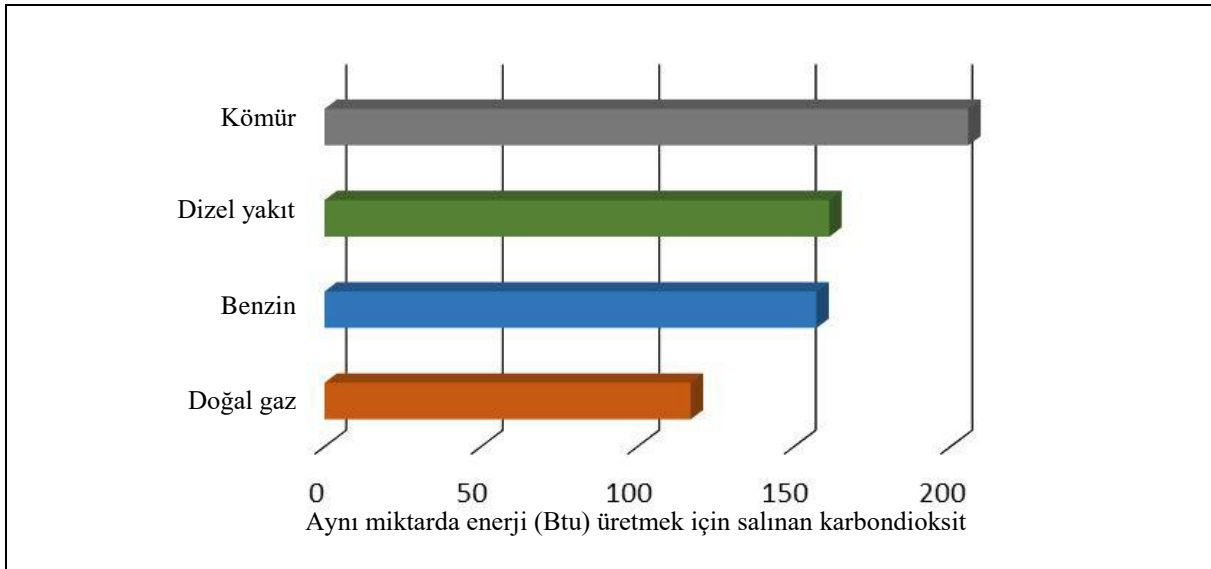
### 5.2.1 Fosil yakıtlardan elde edilen enerji

Elektrik üreten elektrik santrallerinin çoğu kömür, petrol veya doğal gaz gibi fosil yakıtları yakar. Bunların üçü de plastikler dahil kimyasallar ve diğer endüstriyel ürünlerin üretilmesinde de kullanılıyor. Petrol, rafine edildikten sonra, karayolu ve demiryolu araçları için en önemli güç kaynağıdır ve ticari hava ve deniz taşımacılığında kullanılan tek yakıttır.

Fosil yakıtların yakılmasının iklim değişikliği üzerindeki etkisi nedeniyle fosil yakıtların kullanımını azaltmak ve bunları yenilenebilir enerjiyle değiştirmek için küresel bir baskı vardır. Karbondioksit, sera etkisi ve iklim değişikliği arasındaki bağlantılar Bölüm 4.3.3'te açıklanmıştır.

Şekil 5.7'deki grafik, yandığında en çok karbondioksit üreten yakıtın kömür olduğunu göstermektedir. Kömür yakılmasında, ayrıca diğer fosil yakıtlardan daha fazla kirletici madde açığa çıkar. Bunlar, kükürt dioksit ve nitrik oksit gazlarının yanı sıra duman parçacıkları ve külü içerir. Küresel olarak, kömürle çalışan elektrik santrallerini kapatmak ve bunları doğal gazla çalışan elektrik santralleriyle değiştirmek için adımlar atılıyor, çünkü doğal gaz yakılması, kömürün yakılmasıyla açığa çıkan karbondioksit miktarının yarısından yalnızca biraz fazlasını serbest bırakıyor ve diğer kirletici miktarlarını da büyük ölçüde azaltıyor.

**Şekil 5.7.** Aynı miktarda enerji üretmek için farklı fosil yakıtların yakılmasıyla açığa çıkan karbondioksit miktarı

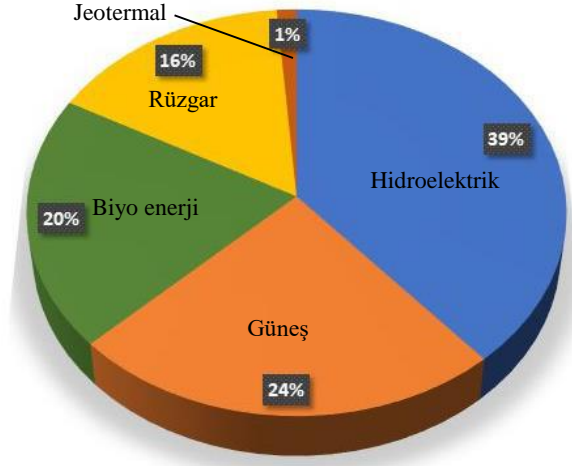


Fosil yakıtlar yenilenebilir değildir. Bu, günümüzde organik materyalin biriktirilmesi ve fosil yakıtlara dönüştürülmesi için gerekli koşullar mevcut olmasına rağmen, fosil yakıtların çıkarılmasından çok daha yavaş gerçekleştiği anlamına gelir. Bu nedenle, Dünya'daki fosil yakıtların çoğunun çıkarıldığı bir zaman gelecek - yani bu daha fazla çıkarmanın çok daha zor ve pahalı olacağı anlamına geliyor. Fosil yakıtlar yenilenebilir değil ve aynı zamanda kirletici olduğundan, yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru küresel bir yönelim var.




### 5.2.2 Yenilenebilir enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları, en azından kullanıldıkları kadar hızlı bir şekilde diğer enerji kaynaklarının yerini alıyor ve bu nedenle gelecekte de kullanılmaya devam edecektir. Farklı çevresel etkilere sahip olsalar da kullanım sırasında kirletici salmazlar. Bu nedenlerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanılmasında küresel artış vardır. Şekil 5.8, günümüzde en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağının hidroelektrik olduğunu, ardından güneş enerjisi, biyoenerji ve rüzgar enerjisinin geldiğini göstermektedir (Tablo 5.9). Jeotermal ve gelgit kaynakları, küresel olarak yalnızca küçük miktarlarda güç üretirken, dalga gücü deneysel aşamada kalmaktadır.





**Şekil 5.8.** Farklı yenilenebilir kaynaklardan yeni enerji üretimi; REN21 genel durum raporundan veriler, Tablo R1



**Tablo 5.9.** Yenilenebilir enerji kaynakları, tablonun en üstünden altına doğru küresel enerjiyi en çok üreten kaynaktan en az kaynağa doğru verilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynağı	Detay	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Hidroelektrik</b>	Hidroelektrik, rezervuarlar oluşturmak için barajlar inşa edilir ve rezervuardan dışarı akarken elektrik üretmek için suyu türbinlere kanalize ederek üretilir.		Yeni Zelanda'daki Pukaki Gölü rezervuarından elektrik santrali türbinlerine uzanan bir hidro kanal
<b>Güneş enerjisi</b>	Güneş paneli dizilişi, Güneş'ten en fazla güneş enerjisini toplayacak şekilde açılıdır.		Endülüs, İspanya'daki PS20 ve PS10 güneş enerjisi santralleri
<b>Biyoenerji</b>	Biyoenerjinin çoğu, biyokütlenin (özel olarak yetiştirilmiş mahsuller veya atık maddeler) elektrik üretmek için yakılmasıyla üretilir, ancak bazı mahsuller, nakliye için biyoyakıt üretiminde kullanılır.		Steinfelde, Ternitz, Aşağı Avusturya yakınlarındaki Biyokütle bölgesel ısıtma tesisi - arka planda kereste yakıt tedariki

**Tablo 5.9.** Yenilenebilir enerji kaynakları, tablonun en üstünden alta doğru küresel enerjiyi en çok üreten kaynaktan en az kaynağa doğru, devam

Yenilenebilir enerji kaynağı	Detay	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Rüzgar</b>	Rüzgar çiftlikleri, karada veya denizde rüzgar türbini gruplarından oluşur.		Açık deniz rüzgar çiftliği, Bac Liêu, Vietna
<b>Jeotermal</b>	Jeotermal enerji, genellikle hidrotermal güç olarak adlandırılan volkanik bölgelerde üretilir; diğer bölgelerdeki ılık kayalardan da çıkarılır.		İzlanda Thingvellir'deki Nesjavellir hidrotermal enerji santrali
<b>Gelgit</b>	Gelgit enerjisi birkaç ülkede küçük ölçekte üretiliyor, ancak şu ana kadar büyük ölçekli ticari gelgit santralleri yok.		Kuzey Rusya, Kola Yarımadası'ndaki Kislogubskaya gelgit santralinin modeli
<b>Dalga</b>	Dalga gücü henüz ticari olarak büyük ölçekte kullanılmamaktadır, ancak küçük ölçekli jeneratörler test edilmektedir.		Portekiz'deki Aguçadoura Dalga Parkı'nda dalgaların içinden geçen üç Pelamis makinesinden biri

Bazı yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili sorunlardan ikisi, çıktıların değişken olması ve şu anda güçlerini büyük ölçekte depolamak için hiçbir yöntemin olmaması. Bu nedenle, güneş ışığının az olduğu (güneş), rüzgarların hafif veya çok kuvvetli olduğu (rüzgar gücü), gelgit akıntılarının azaldığı (küçük gelgitler sırasında) veya dalgaların küçük olduğu (dalga gücü) günlerde, düzenli bir 'temel yük' kaynağına ihtiyaç vardır. Büyük ölçekli "baz yük arzı", geleneksel olarak ihtiyaca göre oldukça kolay bir şekilde açılıp kapatılabilen fosil yakıtlar ve nükleer kaynaklarla sağlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları yenilenebilir ve kullanım sırasında kirlilik oluşturmazken, inşaat sırasında hammadde ve enerji kullandıkları için hepsinin çevreye etkisi vardır. Bazıları başka nedenlerle de eleştiriliyor: hidroelektrik enerji üretmek için büyük barajların inşa edilmesi ve vadilerin rezervuarlar

tarafından sular altında kalması gerekiyor; güneş panelleri yapımında pahalı nadir toprak elementleri kullanır; biyolojik mahsuller, diğer tarım türleri için yararlı olan arazide yetiştirilebilir; ve rüzgar türbinlerinin yapımı pahalıdır; bazı insanlar rüzgar türbinlerinin görünüşlerinin çevreyi iyileştirdiğini düşünürken, diğerleri tam tersini düşünür.

**Kutu 5.5.** Jeotermal enerji - yenilenebilir mi?

Jeotermal enerji üç farklı jeolojik durumdan elde edilebilir:

- İçerdikleri radyoaktif minerallerin bozunması nedeniyle büyük plütonlardaki magmatik kayaların ısındığı yerlerde: iki sondaj kuyusu açılır ve aralarındaki kaya kırılır; su bir sondaj kuyusundan aşağı pompalanır, çatlaklardan geçerken ısınır ve ikinci delikten çıkarılır; ılık sudan ısı alınır ve tekrar aşağı pompalanarak geri dönüştürülür. Bu sıcak kuru kaya jeotermal enerjisidir.
- Yeraltı suyunun derine gömülü akiferlerinin olduğu yerlerde: Dünyanın derinliklerinden gelen ısı suyu ısıtır ve yukarıdaki tortuların kalın yalıtım katmanları nedeniyle sıcak kalır. Bu ılık su, yukarıda anlatıldığı gibi dışarı pompalanır ve geri dönüştürülür. Bu sıcak ıslak kaya jeotermal gücüdür
- Volkanik aktivite alanlarında: aşağıdaki magma odaları tarafından ısıtılan sular ısınır ve sıcak havuzlarda ve gayzerlerde aşağıdan yükselebilir. Bu sıcak sular sondaj kuyularından çıkarılabilir ve hidrotermal enerji santrallerinde türbinleri çalıştırmak için kullanılabilir. Bu hidrotermal enerjidir.

Hem sıcak kuru, hem de sıcak ıslak kayalarda ısı, binlerce yıl boyunca birikmiştir ve alınan ısının yenilenmesi uzun zaman alır. Bu nedenle bu tür jeotermal enerji yenilenebilir değildir. Hidrotermal enerji santrallerinin olduğu yerlerde, ısı genellikle yenilenme hızından daha hızlı bir şekilde alınır. Bu tür elektrik santralleri belirli bir süre sonra kapatılır ve hidrotermal sahanın başka bir yerinde yenileri açılır. Bu yüzden bu enerji de genellikle yenilenebilir olarak değerlendirilmez.



Hidrotermal enerji santrali ve sondaj deliği, Brühl, Batı Almanya.

**Not:** Yerel zemin kaynaklı ısı pompaları tarafından yerden alınan enerjiye de bazen jeotermal enerji denir; ancak, bu şekilde çekilen enerjinin çoğu, yer altı ısı kaynaklarından değil, kara yüzeyinin Güneş tarafından ısınmasından gelir. Sistemi çalıştırmak için biraz elektrige ihtiyaç duymasına rağmen bu yenilenebilir bir kaynaktır

## 6 İnsan / Dünya'nın sistem etkileşimleri

Dünya sistemi etkileşimleri olmadan, genel olarak Dünya üzerindeki yaşam ve özel olarak insan yaşamı var olamazdı. Dolayısıyla, aşağıdaki etkileşimlerin birçoğunun olumsuz ve hatta yıkıcı etkileri olsa da, atmosfer ve okyanus, kayalar ve topraklar, yaylalar ve ovalar ve Dünya sistemlerinin diğer özelliklerinin birleşimi olmadan, bildiğimiz yaşamın mümkün olmayacağını unutmamalıyız.

### 6.1 Doğal afetler

Doğal süreçler, yalnızca insan yaşamı ve mülkiyeti risk altında olduğunda **afet** haline gelir; uzak bir bölgede bir heyelan varsa, bu bir afet değil, sadece bir heyelandır. Doğal bir afetle baş etmenin en iyi yolu, planlama yetkililerinin insanların tehlikeli alanlarda yaşamamasını sağlamaktır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, riski azaltmak veya hafifletmek için başka yöntemler kullanılır.

#### 6.1.1 Volkan Patlaması

Yükselen magma Dünya'nın yüzeyine ulaştığında patlar; bazı patlamalar oldukça güvenli ve olağanüstüdür, ancak diğerleri felaket derecede tehlikelidir. Farklı volkanik aktivite çeşitleri, esas olarak magmanın akıcılığına (viskozitesine) bağlıdır. Magma yüzeye ulaştığında ve patladığında, artık magma olarak adlandırılmaz: Ya volkanlardan lav olarak akar ya da ince kül, daha büyük katı bloklar veya sıvı lav "bombaları" olarak patlar (Şekil 6.1.).

**Şekil 6.1.** İtalya, Sicilya yakınlarında Stromboli yanardağı tarafından gece püsküren sıvı lav "bombaları"







Magmanın viskozitesi, kimyasal bileşimine, sıcaklığına ve ne kadar volkanik gaz ve kristal içerdiğine bağlıdır. Bölüm 4.1.2.3. (Magmatik süreçler) ve 4.1.4. (Levha tektoniği), farklı levha kenarlarının genellikle farklı bileşimli magmalara sahip olduğunu göstermektedir.

Diverjan levha kenarlarındaki en yaygın magmalar, bazalt üreten demir / magnezyum açısından zengin magmalardır. Dalma bölgelerinde, andezit lavları üreten daha az demir zengini (ortaç) magmalar en yaygın olarak püskürtülür, ancak bazen silikon açısından zengin magmalar da patlar. Demir / magnezyum ve silikon bileşimi arasındaki denge akışkanlığı değiştirir: demir / magnezyum açısından zengin bazaltik magmalar, ölçeğin bir ucundaki en akıcı (düşük viskoziteli) olanıdır ve diğer ucunda silikon bakımından en az akışkan olanıdır (yüksek viskoziteli) . Bazaltik magmalar aynı zamanda genellikle en sıcak olanlardır ve magma ne kadar sıcaksa, o kadar az viskozdur. Bazaltik magmalar ayrıca bir miktar kristal içerme eğilimindedir ve akıcılıklarını artırır. Magmalar çok fazla gaz içerdiğinde, bu onları daha da akıcı hale getirir, ancak bazaltik magmalar genellikle fazla gaz içermez. Özetle, demir / magnezyum açısından zengin bazaltik magmalar düşük viskoziteli ve serbestçe akarken, orta ve silikon bakımından zengin magmalar yüksek viskoziteli ve çok yapışkandır.

Akan bazaltik magma lav olarak patladığında, uzun yüzey çatlakları boyunca veya volkanik delikler boyunca zeminden çıkar ve muhteşem lav çeşmeleri olarak havaya püskürtülebilir. Lav nehirleri yer üzerinde akabilir veya bloklu kütleler ilerledikçe daha yavaş hareket edebilir. Bunlar, çok yaklaşımsanız genellikle oldukça güvenli olan muhteşem püskürmelerdir.


Ortaç ve silis bakımından zengin magmanın püskürmesi çok farklıdır. Bacalardan bazen lav olarak fişkirir, ancak genellikle magma volkanik bacaların içinde katılaştır ve Tablo 6.1'de gösterildiği gibi çok daha patlayıcı püskürmeler oluşturur.

**Tablo 6.1.** Volkanik süreçler ve etkileri

Volkanik süreç	Açıklama		Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Lav püskürmesi</b>	Genellikle düşük viskozite	Lav, yanardağın yamaçlarından aşağı lav nehirleri olarak akmadan önce çatlaklardan lav çıkışları olarak püskürtülebilir; Bu hızlı lav akıntıları, az eğimli volkanlar veya su altındaysa yastık lavlar oluşturur.		Lav kaynakları ve lav akışı, Hawaii, 2004
<b>Yanal patlama</b>	Genellikle yüksek viskozite; magma havalandırma deliğinde katılaştır ve	Patlama yukarı yerine yana doğru patladığında, patlama yönünde bölgede yüzlerce kilometre kareyi tahrip eden yanal patlama meydana getirebilir.		St. Helens dağı patlamasıyla yatırılmış büyük ağaçlar, 1980 (ölçek rakamları, sağ altta)
<b>Kül / blok püskürmesi</b>	patlayıcı püskürmeye neden olur	Volkanik kül bulutları atmosfere yükselir. Katı bloklar da dışarı atılır ve eğimli yamaçlı kenarlı bir volkanik koni üreterek yağar. Kül, rüzgarla çok uzağa taşınabilir.		St Helens Dağı kül püskürmesi, Washington Eyaleti, ABD, 1980
<b>Nuée ardente/ piroklastik akış</b>		Patlayan volkanik kül bulutları, nuée ardentes (parlayan bulutlar) veya piroklastik akmalar olarak adlandırılan yüksek sıcaklık yoğunluklu akımlar olarak volkanların kenarlarından yüksek hızda akabilir.		Filipinler'deki Mayon Yanardağı'nın 1984'de aşağı akan Nuées ardentes,


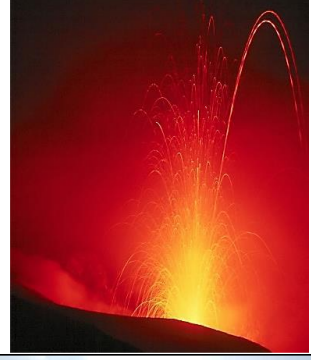



**Tablo 6.1.** Volkanik süreçler ve etkileri, devam





Volkanik süreç	Açıklama		Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Lahar akışı</b>	Genellikle yüksek viskozite; magma havalandırma deliğinde katılaşır ve patlayıcı püskürmeye neden olur.	Volkanik kül, bir krater gölündeki suyla, volkanik bir tepedeki erimiş buz / karla veya patlamayla ilişkili bir fırtına ile toplandığında, yüksek hızlı beton gibi bazen kilometrelerce yokuş aşağı akar.		Lahar, Galunggung yanardağı yakınlarında ki evleri gömerken, Endonezya, 1983

Volkanik Patlama Endeksi, Tablo 6.2'de gösterildiği gibi, patlayıcı olmayandan mega devasa olan volkanik patlamaların patlayıcılığını ölçer.



**Tablo 6.2.** Volkanik Patlama Endeksine (VEI) göre püskürmeler, patlama yüksekliğini (m), püskürtülen malzeme hacmini (m<sup>3</sup>) ve bu tür püskürmenin yaklaşık olarak ne sıklıkta meydana geldiğini (küresel frekans) gösterir.

VEI	Açıklama	Patlama yüksekliği	Görsel	Görsel lokasyonu
		Hacim		
		Global frekans		
0	Patlamalı olmayan	< 100m		Pu'u 'Ō'ō volkan konisinden akan parlayan lav, Kilauea, Hawaii, 1997
		1000s m <sup>3</sup>		
		Devamlı		
1	Orta patlamalı	100-1000m high		Stromboli'nin gece patlaması; havaya 100 metreden fazla ateşlenen volkanik bombalar, İtalya, 1980
		10,000s m <sup>3</sup>		
		Günlük		
2	Yüksek patlamalı	1-5 km		Ön planda asmaları öldüren Endonezya, Medan, Sinabung Dağı patlaması, 2014
		1,000,000s m <sup>3</sup>		
		haftalık		

**Tablo 6.2.** Volkanik Patlama Endeksine (VEI) göre püskürmeler, patlama yüksekliğini (m), püskürtülen malzeme hacmini (m<sup>3</sup>) ve bu tür püskürmenin yaklaşık olarak ne sıklıkta meydana geldiğini (küresel frekans) gösterir.

VEI	Açıklama	Patlama yüksekliği	Görsel	Görsel lokasyonu
		Hacim		
		Global frekans		
3	Şiddetli	3-15 km		Nevado del Ruiz; püsküren bu kül laharı ortadaki Armero kasabasını gömdü, Kolumbiya, 1985
		0.01km <sup>3</sup>		
		Ayda bir		
4	Felaket	10-25 km		Puerto Varas yakınlarındaki Calbuco Yanardağı'nın patlama bulutu, Şili, 2015
		0.1km <sup>3</sup>		
		İki yılda bir		
5	Paroksizmal	>25 km		Şili'deki 2011 Puyehue-Cordón patlamasından 800 km uzunluğundaki kül bulutunun uydu görüntüsü
		1 km <sup>3</sup>		
		10 yılda bir		
6	Devasa	>25 km		Filipinler'deki 1991 patlaması sırasında Pinatubo'nun kül bulutu
		10s km <sup>3</sup>		
		50-100 yılda bir		

**Tablo 6.2.** Volkanik Patlama Endeksine (VEI) göre püskürmeler, patlama yüksekliğini (m), püskürtülen malzeme hacmini (m<sup>3</sup>) ve bu tür püskürmenin yaklaşık olarak ne sıklıkta meydana geldiğini (küresel frekans) gösterir.

VEI	Açıklama	Patlama yüksekliği	Görsel	Görsel lokasyonu
		Hacim		
		Global frekans		
7	süper devasa	>25 km		Tambora püskürmesinden kül dyağı ile kaplanan tahmini alan, Endonezya, 1815
		100'lerce km <sup>3</sup>		
		500-1000 yıl		
8	Mega devasa	>25 km		Wyoming, ABD'deki üç Yellowstone patlamasından kaynaklanan dev volkanik krater (kaldera) - en son 630.000 yıl önce
		1000'lerce km <sup>3</sup>		
		>50,000		

Yakınlarda yaşayan insanlar için büyük patlamaların gerçekte ne anlama gelebileceğini hayal etmek veya tüm Dünya'yı nasıl etkileyebileceklerini anlamak zor olabilir, ancak belirli patlamalarla ilgili vaka çalışmaları bazı fikirler veriyor.

**Kutu 6.1.** Devasa bir patlama – Krakatoa, 1883

Endonezya'daki VEI 6 Krakatoa patlaması, zamanın yeni küresel telgraf bağlantıları ve Londra'daki The Times gibi gazetelerdeki yaygın haberler sayesinde küresel olarak bildirilen ilk muazzam patlama oldu.

**JAVA BATAVYA'DA VOLKANİK PATLAMALAR,**

27 Ağu

Dün gece volkanik Krakatoa adasından korkunç patlamalar duyuldu ve patlamaların sesi Soerakarta'ya kadar duyulabilirdi ve kül yağmurları Cheribon'a kadar ulaştı. Yanardağın parlamaları buradan açıkça görülebiliyor. Serang artık tamamen karanlıkta. Taşlar o yere düşüyor. Batavia da neredeyse karanlıkta. Gece boyunca tüm gaz lambaları söndürüldü. Anjer ile iletişim kurmak imkansızdır ve orada bir felaket olmasından korkulmaktadır. Anjer ve Serang arasındaki birkaç köprü yıkıldı ve eski yerin yakınlarındaki bir köy yokoldu, nehirler denizin iç akıntısıyla taşı.



Times'ın ertesi günkü haberi, farklı kaynaklardan gelen haberler süzölmeye başladıkça trajedinin ölçeğinin nasıl ortaya çıkmaya başladığını gösteriyor.

Sanatçının izlenimi patlamadan kısa süre sonra çizildi

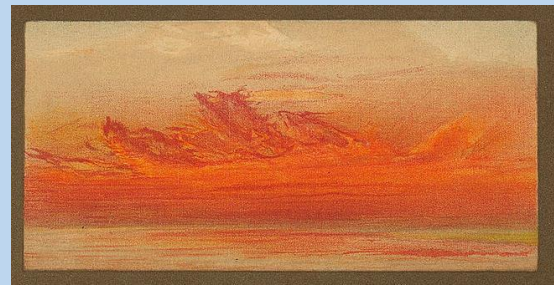
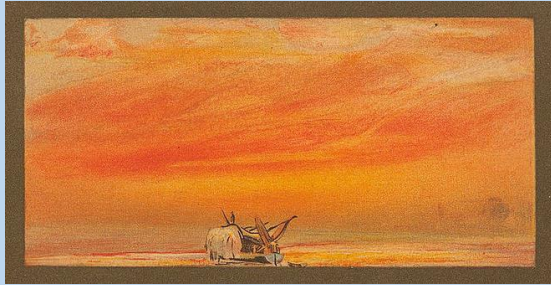
### Kutu 6.1. Devasa bir patlama - Krakatoa, 1883, devam

Felaketin tam ölçeği, ancak çok sayıda patlama hikayesi yerel olarak toplandıktan, jeologların bölgeyi inceledikten ve dünyanın dört bir yanındaki bilim adamlarından gözlemler toplandıktan sonra daha net hale geldi.

Soruşturma şunu gösterdi:

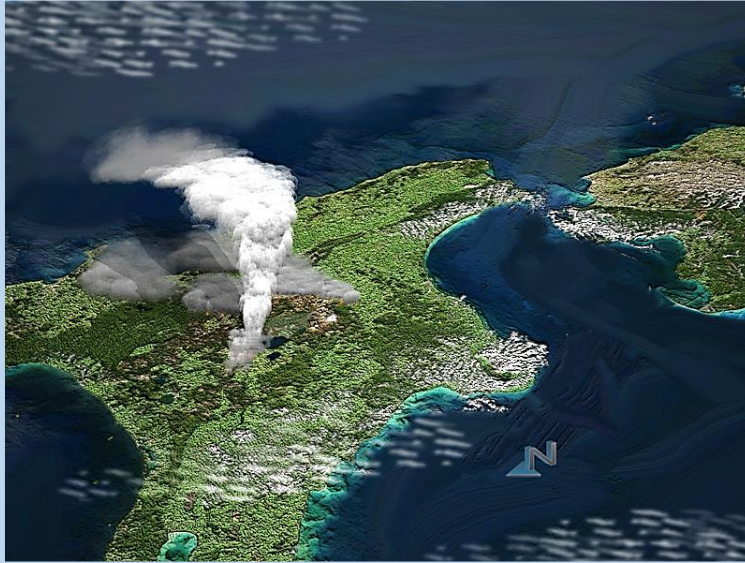
- Küçük Krakatoa adasının neredeyse dörtte üçü son patlamada tahrib edilmişti;
- patlama ve onun ürettiği tsunamiler nedeniyle yaklaşık 40.000 kişi öldü;
- havaya 27 km yükselen bir kül bulutu görüldü;
- 10 cm genişliğindeki pomza (süngertaşı) parçaları 20 km'den daha uzaktaki gemilerin güvertelerine düştü;
- okyanusun üzerinde aylarca yüzen devasa süngertaşı adaları;
- yaklaşık 20 km<sup>3</sup> malzeme püskürtüldü;
- insanlar patlamayı 4.800 km'ye kadar uzakta, Hint Okyanusu'ndaki Rodrigues Adası'nda (valinin açık denizde bir deniz savaşı olması gerektiğini düşündüğü yer) ve Avustralya'nın Perth ve Alice Springs kasabalarında duydular;
- bu patlama, son iki yüzyılda Dünya'da duyulan en yüksek sestir;
- ortaya çıkan tsunamiler 30 m'den daha yüksekti;
- dünyanın diğer tarafındaki İngiliz Kanalı'nda küçük tsunami dalgaları kaydedildi;
- atmosferik şok dalgası dünyanın her yerinde birkaç kez çevrelenerek kaydedildi;
- kül atmosferde 80 km yükseldi ve sonraki yıllarda küresel iklim şekillerini etkiledi;
- kül jet akımı tarafından üst atmosferde taşınmıştır; bu ilk kez görülmüştür
- Ertesi yıl, salınan volkanik gazların ürettiği yüksek seviyeli bulutlar tarafından güneş ışığının uzaya geri yansıtılması nedeniyle Kuzey Yarımküre'deki küresel sıcaklıklar, yaklaşık 1,2°C düştü;
- kül, dünya çapında birkaç ay boyunca muhteşem gün batımları yarattı ve Güneş ve Ay bazen tuhaf renklerde görüldü;
- Patlamanın açığa çıkardığı enerjinin, şimdiye kadar patlamış en büyük nükleer bombanın gücünün yaklaşık dört katı olduğu düşünülüyor.

Bu gözlemler, "devasa" bir patlamanın gerçekte neye benzediğine dair iyi bir fikir veriyor.



William Ascroft'un 1883'teki Krakatoa patlamasının külünün neden olduğu "son parıltıdaki" gökyüzü resimleri

**Kutu 6.2.** Mega-Devasa bir patlama - Oruanui patlaması, yaklaşık 25.360 yıl önce



Sanatçının uzaydan Oruanui patlamasıyla ilgili izlenimi

Taupo yanardağının Oruanui mega devasa patlaması, Dünya'yı etkileyen en son VEI 8 patlamasıdır. Patlama, insanlar Yeni Zelanda'yı kolonileştirmeden çok önce 25.000 yıl önceydi. Bu boyutta bir patlama muhtemelen tüm Yeni Zelanda'yı tahrip etti. Patlamaya ilişkin görgü tanığı hikayelerimiz olmadığı için, patlamanın nasıl olduğuna dair fikirlerimizi jeolojik kanıtlara dayandırmalıyız.

Bu gösterir ki:

- 1883'te Krakatoa tarafından püskürtülen malzemenin yaklaşık 60 katı olan 1170 km<sup>3</sup> silis bakımından zengin malzeme püskürtüldü;
- Gökyüzüne 430 km<sup>3</sup> kül püskürtüldü ve Yeni Zelanda'nın çoğunun üzerine kalın kül tabakaları olarak yağdı; 1000 km uzaktaki adalarda 18 cm kalınlığında kül kaydedilmiştir;
- nuées ardentes'de 320 km<sup>3</sup> kül püskürtülmüş ve geride 200 m kalınlığa kadar tortular bırakmıştır;
- magma odası çöktü ve Taupo Gölü tarafından işgal edilen 30 km'den daha geniş bir büyük krater (kaldera) oluşturdu
- Waikato nehrinin akışı, artık Kuzey Adası'nın kuzey sahili yerine batı kıyısında denize ulaşacak şekilde aktı.

Yeni Zelanda bölgesi bu şekilde etkilendi, ancak Dünya'nın geri kalanı üzerindeki etkilere dair hiçbir kayıt yok çünkü patlama, yazı icat edilmeden çok önce gerçekleşti. Kuzey Adası'nın merkezinde gerçekleşen patlama tsunamiler üretmemiş olabilir, ancak atmosfere büyük miktarda kül ve volkanik gaz püskürmesi dünya çapında iklimsel etkilere sahip olmalıdır. 1815'te Endonezya'da Tambora'nın VEI 7 patlaması Avrupa'da 'yazın olmadan bir yıl' ve kıtlık yaratabilirse, VEI 8 Oruanui patlamasının küresel etkileri ancak tahmin edilebilir, çünkü bu patlamayla VEI7 'in püskürttüğü kül ve volkanik gaz miktarın belki on katı atmosfere püskürtüldü.

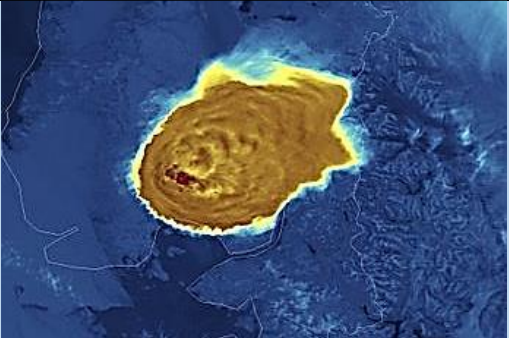
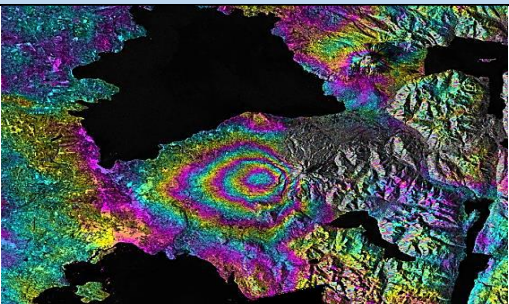
Yüksek patlayıcı volkanların patlamaları o kadar yıkıcı olabilir ki, bilim adamları yıllardır bunları tahmin etmek için çalışıyorlar. Çok çeşitli farklı yanardağ izleme yöntemleri test edilmiştir; bunlardan bazıları Tablo 6.3'te açıklanmıştır. Tüm bu yöntemlerle ilgili sorun, bir püskürmenin muhtemel olduğunu gösterebilmeleridir, bu da çevredeki alanların tahliyesine yol açarak, sadece işaretlerin herhangi bir patlama olmaksızın tekrar yok olmasına neden olur.

Bundan sonra insanların bir sonraki tahliye emrine itaat etme olasılıkları azalacaktır. Bu nedenle, şu anda aktif olan yanardağların patlamalarının gerçekleşeceğini bilsek de, patlamaların tam zamanını ve ölçeğini tahmin etmek çok zor bir görev olmaya devam ediyor.

**Tablo 6.3.** Volkanik patlamaları izlemek için kullanılan yöntemler

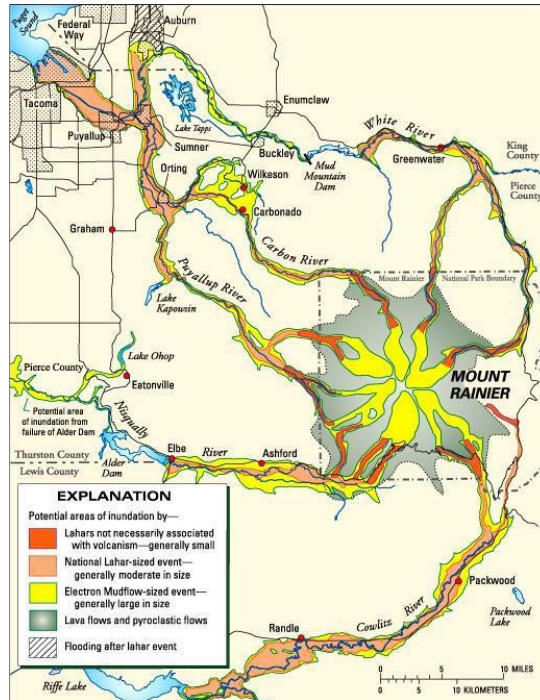
Patlama izleme metodu	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyon
<b>Sismisite</b>	Yeraltından akan magma tarafından üretildiği düşünülen harmonik titreme de dahil olmak üzere, volkanik patlamaların oluşumunda farklı türden yer sarsıntıları üretilebilir.	<p>Timing and size of earthquake tremors before the eruption of Eyjafjallajökull at 01.55 on Wednesday 14<sup>th</sup> April 2010</p>	İzlanda'daki Eyjafjallajökull'un 2010 patlamasına bağlı depremler
<b>Gaz emisyonları</b>	Gazın salınımı, volkanik patlamalardan önce artabilir veya azalabilir, bu da gelecekteki patlamalara ipuçları verebilir.		Volkanik bir gaz bacasından sarı kükürt; bir sensör tarafından izlenen gaz, White Island, Yeni Zelanda
<b>Zemin deformasyonu</b>	Bir volkanın kabarması, magmanın yüzeyin yakınında oluştuğunu gösterir. Bu, Global Konumlandırma Sistemi (GPS) kullanılarak bir istasyonun konumunun nasıl değiştiğini ölçerek ve ayrıca eğim ölçerleri kullanarak eğim değişimi ve gerinim ölçerleri kullanarak gerinimdeki değişiklikleri ölçerek izlenebilir.		GPS izleme istasyonu, Piton de la Fournaise yanardağı, Réunion Adası, Hint Okyanusu

**Tablo 6.3.** Volkanik patlamaları izlemek için kullanılan yöntemler, devam

Patlama izleme metodu	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Termal izleme</b>	Magma hareketi, gaz salınımı ve hidrotermal aktivite, patlamadan önce bir volkanı ısıtabilir; bu uydular tarafından ve yerde tespit edilebilir. Zemin ölçümleriyle, yüzey sıcaklığını doğrudan ölçebilir veya kaplıcalar veya su kuyularındaki değişiklikler izlenebilir.		Termal görüntü; 2015 Şili'deki Calbuco kraterinde karanın serin mavi arka planına karşı yüksek ısı akışı (kırmızı, kahverengi ve sarı)
<b>Uzaktan algılama</b>	Uydular, yukarıdaki gibi, sıcaklığı ayrıca zeminin deformasyonunu, volkanik gazların salınımını ve volkanların ürettiği kül bulutlarının püskürmesini izleyebilir.		2015 yılında Calbuco, Şili'deki patlama ile bağlantılı yanlış renkli uydu görüntüsünde gösterilen zemin deformasyonu,

Volkanik patlamalardan kaynaklanan riski azaltmanın veya hafifletilmesinin en etkili yolu, insanların tehlikeli alanlarda inşaat yapmasını engellemek için arazi kullanım planlamasıdır. Geçmişteki tehlikeli patlamaların işaretleri için alanları jeolojik olarak inceleyerek ve ardından tehlike haritaları oluşturularak tehlikeli alanlar araştırılabilir (örneğin, Şekil 6.2).

**Şekil 6.2.** Büyük bir volkanik patlamada neler olabileceğini tahmin eden bir volkanik tehlike haritası örneği, Mount Rainier, Washington Eyaleti, ABD



Tehlikeli alanların dışında inşaat yapmanın mümkün olmadığı durumlarda, hasar verici püskürmeler için hazırlık yapmak için adımlar atılır. Bunlar, volkanların izlenmesi ve uyarılara acil durum müdahaleleri için hazırlanmayı içerir. Halk acil bir durumda ne yapacağı konusunda eğitilir ve halkı uyarmak için sistemler kurulur. Acil servisler insanları tahliye etmek ve arama kurtarma yöntemleri konusunda eğitilir. İnsanların evlerini ve mülklerini kaybetme felaketiyle başa çıkmalarına ve aynı yerde veya başka bir yerde yerleşim birimlerini yeniden inşa etmelerine yardımcı olmak için hazırlıklar yapılır.

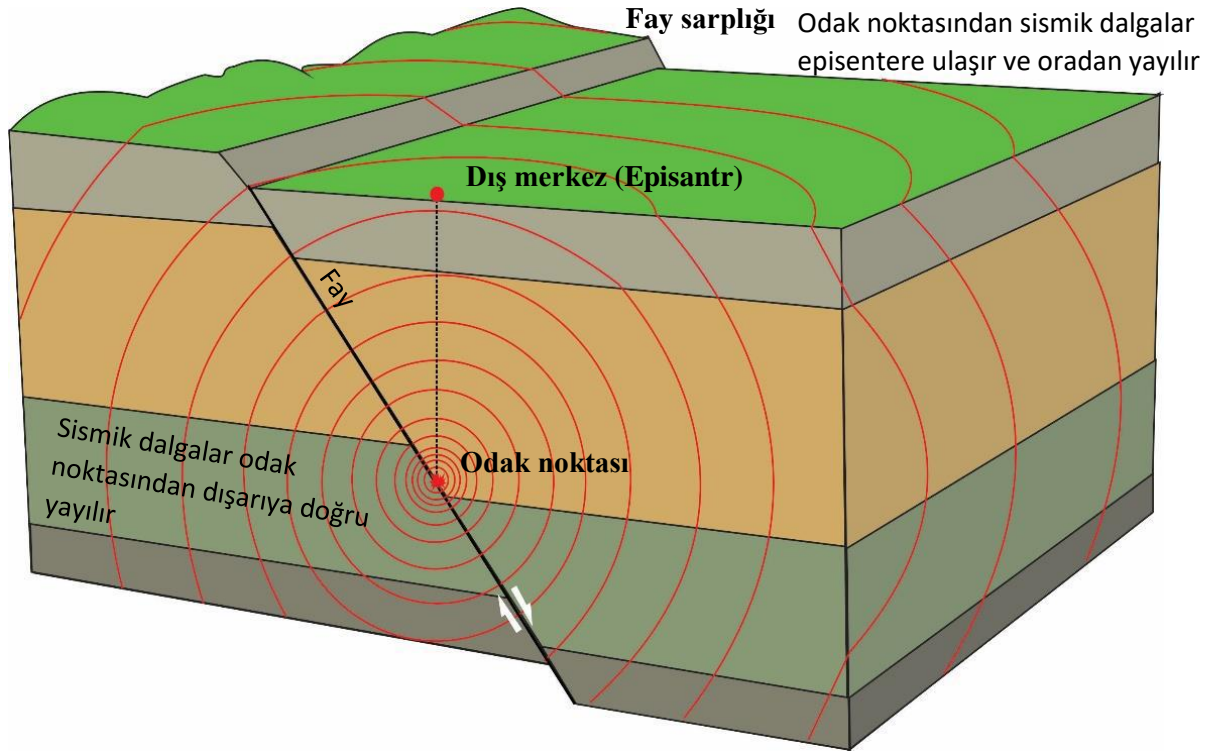
Bunun gibi sistemler kurulduğunda başarılı oldular. Filipinler'de 1991 VEI 6 devasa Pinatubo patlaması öncesi alınan önlemlerle 5000 can ve 250 milyon ABD doları değerinde mülk kurtardı. Batı Hint Adaları'ndaki Montserrat adasında 1995 VEI 3 felaket patlaması önlemleri 11.000 hayat kurtardı.

## 6.1.2 Deprem

Büyük depremlere faylanma neden olur, ancak bu, 1911'de HF Reid tarafından yapılan çalışmalara kadar netleşmemiş idi. O zamandan önce, insanların depremlere neyin yol açtığı konusunda çok az fikirleri vardı, bu nedenle bu felaket olaylarını açıklamak için dünya çapında pek çok efsane ve hikayenin ortaya çıkması şartıdır.

Yerküre içindeki basınçlar, yeraltındaki kayalar bir fay boyunca çatlayıncaya veya kırılıncaya kadar, her iki taraf birbirini geçince oluşur. En fazla hareketin olduğu kırılma noktası **odak noktasıdır** (veya hiposenter). Ani kırılma, deprem dalgaları olarak her yöne yayılan şok dalgaları üretir. Dünya boyunca ilerleyen şok dalgalarına **sismik dalgalar** denir. Şok dalgalarının, doğrudan odak noktasının üzerinde yeryüzüne ulaştığı yer, depremin en güçlü olduğu ve en fazla hasarın olduğu yerdir; bu depremin **episanter**'idir (Şekil 6.3). Şok dalgaları, gölet üzerindeki dalgalar gibi, merkez üssünden Dünya'nın yüzeyine yayılır ve bunu yaparken gücü azalır. Normalde deprem hasarlarının çoğu merkez üssünde gerçekleşir, ancak zeminin ve temellerin gücü gibi diğer faktörler bazı yerlerde diğerlerinden daha fazla hasara neden olabilir.

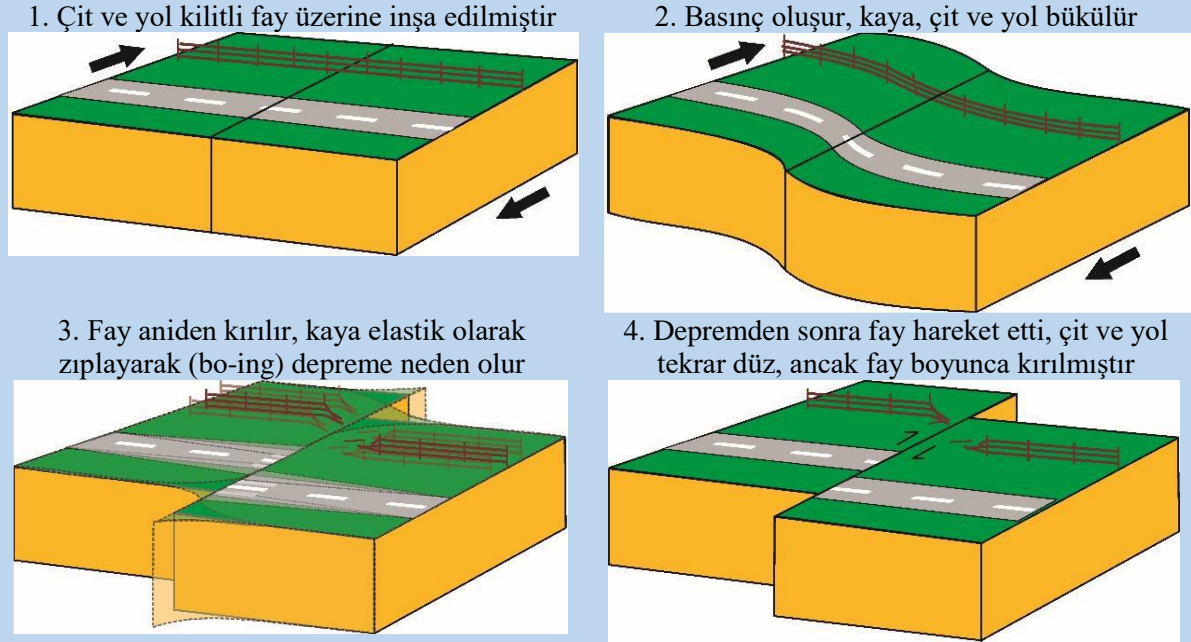
Şekil 6.3. Sismik dalgalar üreten bir deprem





### Kutu 6.3. Elastik geri tepme teorisi

Depremleri açıklamak için bilimsel bir teori, 1911'de ABD Kaliforniya'daki San Andreas fayının bazı kısımlarını inceleyen H.F. Reid tarafından geliştirildi. O fayın her iki tarafındaki noktaların hareketini inceledi ve depremden önce arazinin bir fayın her iki tarafında farklı yönlerde hareket ettiğini fark etti. Basınç arttıkça, her iki taraftaki arazi büküldü. Sonunda, daha fazla bükülemedi ve fay kırılarak depremde şok dalgaları yaydı. Buna "Elastik geri tepme teorisi" adını verdi çünkü fay hareket ettiğinde zemin elastik olarak geri hareket etti.



H.F. Reid'in 'Esnek geri tepme teorisinde' zeminin hareketi

Genellikle yer sarsıntısı olarak adlandırılan küçük depremler o kadar küçüktür ki, yalnızca sismometre adı verilen sismik tespit cihazları ile belirlenebilir. Sismometreler o kadar hassastır ki, ağır kamyonlardan veya trenlerden titreşimleri, taş ocağı patlamalarını ve hatta bir futbol stadyumunda gol atıldığında kalabalığın seslerini bile algılayabilirler. Sismometre ağırları dünyanın dört bir yanına yerleştirilmiştir ve sadece depremin boyutunu değil, aynı zamanda merkez üssünün konumunu ve odağının derinliğini de gösteriyor. Bu çalışma, levha tektoniği teorisine kanıt olarak kullanılan Tablo 4.22'de depremlerin konumlarını ve derinliklerini haritalamak için kullanılmıştır.

### Kutu 6.4. Sismometreler

Sismometrelerin içinde asılı duran bir kütle vardır, öyle ki Dünya hareket ettiği zaman sismometre, içindeki kütle, daha yavaş hareket eder. Sismometre ile içindeki kütle arasındaki fark büyütülür ve zamanla dönen bir tambur üzerindeki bir kalemle veya elektronik bir kayıt olarak kaydedilir. Dış mekan sismometreleri, verileri bir kayıt laboratuvarına göndermek için ekipman dahil olmak üzere, genellikle yakınlardaki kayıt ekipmanı ile zemindeki deliklere yerleştirilir. İç mekandaki sismometreler beton zeminlere monte edilmelidir; binaların üst katları çok titrer. Modern cep telefonlarında, doğru uygulamayla sismometre olarak kullanılabilen benzer bir titreşim sensörü bulunur.

**Kutu 6.4.** Sismometreler, devam



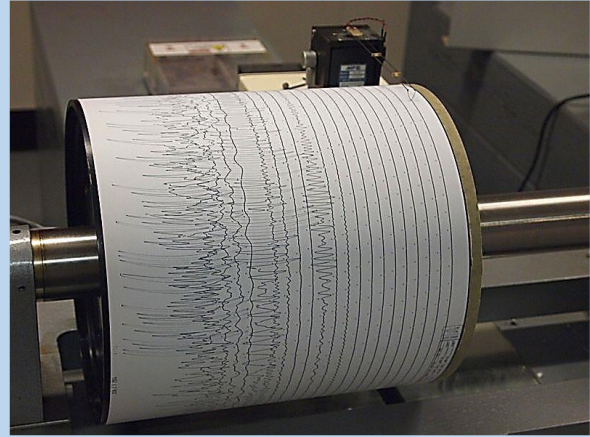
Corint Körfezi, Yunanistan yakınlarda bir delikte bulunan bir dizi sismometreden biri için kayıt ekipmanı



Corint Körfezi sismometresi için kayıt ekipmanı ve yedek elektrik kaynağı



Solda eski, sağda daha modern iki sismometre, Patras Sismoloji Laboratuvarı, Yunanistan



Bir sismometreden drum kaydı

Sismometreler, merkez üssündeki bir depremin şiddetini veya büyüklüğünü ölçebilir. Bu Richter ölçeği kullanılarak kaydedilirdi, ancak günümüzde bunun yerine Moment Magnitude ölçeği kullanılmaktadır. Her seviyedeki bir depremin gücü, bir önceki seviyedeki depremin büyüklüğünün on katıdır (Tablo 6.4).

**Tablo 6.4.** Moment Büyüklük ölçeği

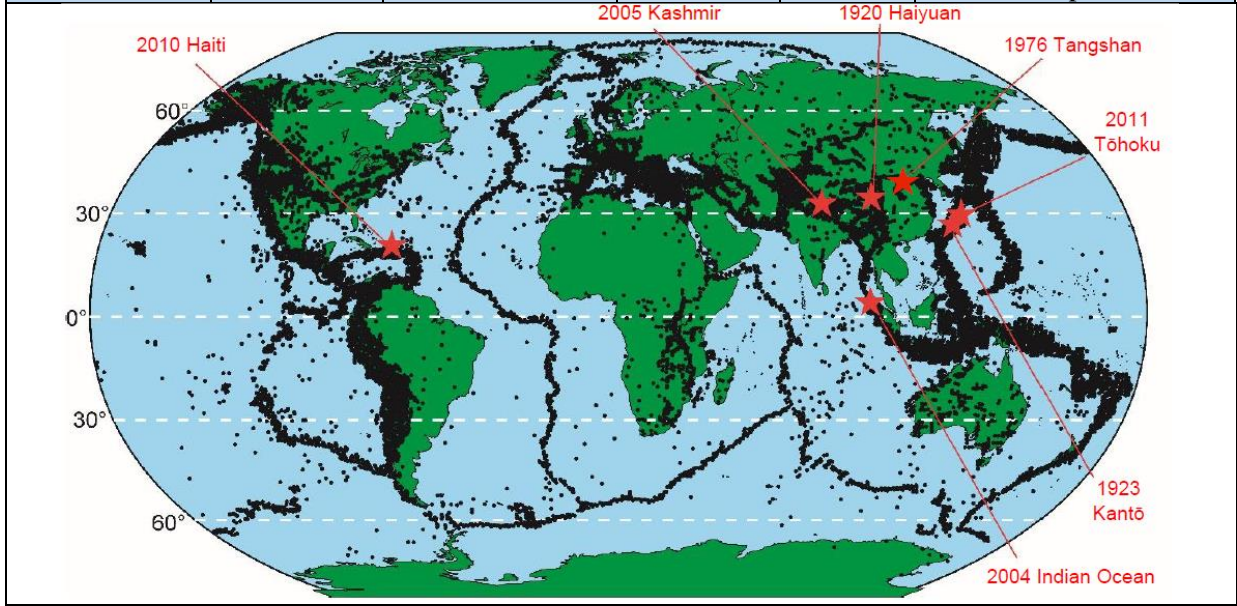
Moment büyüklüğü	Açıklama	Hasar	Yılda yaklaşık oluşumu sayısı
3 den küçük	İnsan hissetmez	Hasar yapmaz	Oldukça çok sıklıkta
3-5	hafif	Çok az	150,000
5-7	Orta kuvvetli	Çok azdan hasar yapıcıya	150
7-8	Majör	Ciddi hasar	15
8'den büyük	Büyük sallantı	Katastrofik	1

Şimdiye kadar kaydedilen en büyük deprem, 1960 yılında Şili'de meydana gelen 9,5 büyüklüğündeki depremdi. 10 büyüklüğünde bir deprem kaydedilmedi.

Yaklaşık ölüm sayılarına göre kaydedilen bazı büyük depremlerin detayları Tablo 6.5'te gösterilmektedir.

**Tablo 6.5.** Ölenlerin sayısına göre en tehlikeli depremlerden bazıları

Deprem	Tarih	Lokasyon	Ölü sayısı	Büyüklik	Açıklama
<b>Haiyuan</b>	16 Aralık 1920	Ning-Gansu, Çin	270,000' den fazla	7.8	Sallantı, yer yarılması ve heyelanlar
<b>Tangshan</b>	28 Haziran 1976	Hebei, Çin	240,000' den fazla	7,8	Yumuşak zeminden dolayı arttırılmış sallantı
<b>Hint Okyanusu</b>	26 Aralık 2004	Off Sumatra, Endonezya	230,000' den fazla	9,2	Ölümlerin çoğuna tsunami sebep oldu
<b>Haiti</b>	12 Ocak 2010	Haiti, Caribbean Denizi	100,000 – 316,000	7,0	Sığ odak derinliği şiddetli sarsıntıya sebep oldu
<b>Kantō</b>	1 Eylül 1923	Kantō, Japan	100,000' den fazla	7,9	Depremin sebep olduğu yangınlar çoğu ölümlere sebep oldu
<b>Kashmir</b>	8 Ekim 2005	Muzaffarabad, Pakistan	100,000' den fazla	7,6	Şiddetli sarsıntı
<b>Tōhoku</b>	11 Mart 2011	Off Sendai, Japonya	15,000' den fazla	9,0	Çoğu ölümlere tsunami sebep oldu; nükleer santral tahrip oldu



Tablo 6.5, depremleri bu kadar tehlikeli hale getirebilecek bazı farklı faktörleri göstermektedir. Çoğu depremde ana ölüm nedeni yer yüzeyinin sarsılarak binaların çökmesine neden olmasıdır. Polis Teğmen H. N. Powell, San Francisco'daki 1906 depreminde bunu şöyle anlattı: “*Valencia Caddesi... dalgalı bir deniz gibi dans etmeye ve dalgalar halinde dönmeye başladı. ... Bir erkeğin ayakta durması imkansızdı. ... Evler, sokağın kendisi gibi çatırdıyor, bükülüyor ve kırılıyordu.*” Binalar eski göl birikintileri veya ıslah edilmiş zemin üzerine inşa edildiğinde olduğu gibi, zemin yumuşak olduğunda sallanma ve yıkım çok daha kötü olabilir.

Eski deyişi hatırlamakta fayda var, "İnsanları öldüren depremler değil, binalar".

Derin faylar bazen çatlaklar olarak yüzeye ulaşarak köprüler, barajlar ve nükleer santraller gibi büyük yapılara zarar verebilir. Depremler, dik eğimli alanlarda heyelanları ve çığları tetikler. Kırık elektrik ve gaz şebekeleri, su şebekesi de kesilmişse kontrol edilemeyen yangınlara neden olur. Bazı depremler, kıyı bölgelerinde çok zararlı olabilen tsunamilere neden olur. Tüm bu faktörler deprem riskini artırır.

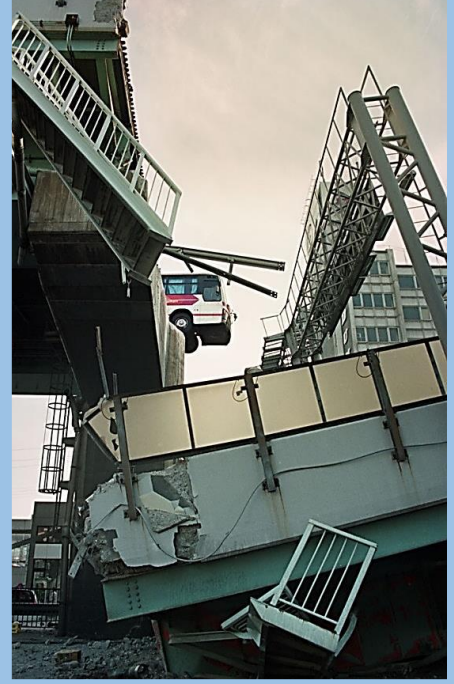
Tablo 6.5, ölenlerin sayısının bir depremin büyüklüğü ile yakından bağlantılı olmayabileceğini göstermektedir. Depremlerin, deprem için kendilerini hazırlanmış modern kasaba ve şehirleri vurduğu yerlerde, ölü sayısı genellikle az gelişmiş bölgelerdeki depremlerden çok daha düşüktür. Az gelişmiş bölgelerde, binalar kötü bir şekilde inşa edilmiş olabilir ve çökmüş iletişim ve kötü hazırlıklar nedeniyle kurtarma çalışmaları yavaş olabilir. Örneğin, Tablo 6.5'te gösterilen, 2010 yılında Haiti'deki 7.0 büyüklüğündeki depremin ölü sayısı 100.000'den fazlaydı, çünkü binaların çoğu zayıf güçlendirilmiş betondan yapılmıştır. Aynı yıl Şili'yi 8,8 büyüklüğünde çok daha büyük bir deprem vurduğunda, ölü sayısı sadece 520 idi, çünkü depreme dayanıklı bina kodları güçlü bir şekilde uygulanmıştı.

**Kutu 6.5. Kobe depremi, Japonya, 1995 - büyüklük 6.9**

**Akatsukayama Lise Öğrencisi,  
Yasuyo Morita (17 yaşında)**

"O sırada uyuyordum. Önce annemin beni uyandırdığını düşündüm, ama çığlıklarından anladım - bu bir deprem! Karanlıkta ne yapacağımı bilmiyordum. Merdivenler yıkılmıştı, ben de pijama giymiş çıplak ayaklı olarak bir merdivenle aşağı indim. Karanlık ve soğuktan gözyaşlarımı durduramadım. Panik içindeydim. Benim mahallemde [çok] ahşap ev var. Şimdi acımadan yok ediliyorlar. Hemen ortalık aydınlanmaya başladı ve ben etrafımı görebildim. Bazıları çıldırdı. Bir moloz yığınından kurtarılan büyükannemle hastaneye gittim. Parmağı kopuyordu. Hastaneye vardık. Orası Yeryüzü cehennemiydi. Kafasından kanayan bir adam, bir çocuk - morumsu belki de boğulma yüzünden. İnsanlarla doluydu. Büyükannem dezenfekte edildi, hepsi bu. Yaralanması diğerlerine kıyasla ciddi değildi. Büyükannemin evi ve büyükbabamın evi yandı. Hiçbir şey çıkaramadık. Sevdiğim kasaba bir anda değişti. Üzgündüm. Şimdi sığınaklardan birinde yaşıyorum ve gece korkuyorum. Kobe'nin yakında yeniden inşa edildiğini görmek istiyorum."

Gönderen: <http://www.sln.org.uk/geography/7-11kobe.htm>



Deprem, Japonya'nın Kobe şehrini 17 Ocak 1995 sabahı 05.46'da, çoğu insan hala uyurken vurdu. Deprem büyüklüğü, Moment Magnitude ölçeğine göre 6,9 olarak ölçüldü; 17 km derinliğindeki aktif fay hattına odaklandı. Bazı bölgelerde üç dakikaya varan şiddetli sarsıntı oldu. Fay üzerindeki hareket, Filipin Denizi levhasının Japonya'yı taşıyan Avrasya plakasının altına dalmasıyla tetiklendi.

Merkez üssü, 1.5 milyonluk nüfuslu Kobe şehrine 20 km uzaklıktaydı. Kobe nüfusunun yaklaşık 4.600'ü, çoğunlukla yıkılan binalar nedeniyle hayatını kaybetti. Gaz ve elektrik hatlarının kırılmasının yol açtığı çok sayıda yangın, kenti kasıp kavurdu. Liman bölgesindeki daha yumuşak zemin sıvılaştı, böylece binalar devrildi ve vinçler denize düştü. Birçok ulaşım bağlantısı yok edildi ve şehrin içinden geçen yüksek bir otoyol çöktü. Sorunlara ek olarak elektrik kabloları, gaz, su ve kanalizasyon borularının hepsi kırıldı. Kurtarma hizmetleri şehre kolayca ulaşamıyordu ve oraya vardıklarında tıkalı yollar ve bozuk iletişimlerle karşı karşıya kalmışlardı. Yüksek hızlı tren yolu ve diğer iki demir yolu kırılarak Japonya'da iletişim yarı yarıya kesildi.

Yıkılan binaların çoğu 1960 bina yönetmeliğine göre inşa edilmişti; daha yeni bina kodlarına göre inşa edilen binalar çoğunlukla hayatta kaldı. Depremin ardından bölgeye birçok gönüllü yardım etmek için seyahat etti, ülkenin afet önleme planları iyileştirildi ve bu daha sonraki bir depremde çok daha etkili oldu, birçok depreme dayanıklı sığınak inşa edildi ve bölge ekonomisi neredeyse bir yıl içinde normale döndü.

**Kutu 6.5.** Keşmir depremi, Pakistan, 2005 - büyüklük 7.6

**Shazia Ahmed - bir anne**

"Açım!" Kızımın bir zamanlar evimiz olan enkazdan çıkardığımda söylediği ilk sözler bunlardı. Hayatım boyunca hiç bu kadar rahat hissetmemiştim. Umbreen tozlu ve yaralanmış olmasına rağmen hayattaydı ve o anda bundan daha büyük bir mucize olamazdı. Kocam ve komşularım, bebeğimizi kurtarmadan önce üç gün boyunca ıstırap verici bir terör yaşamıştı. Sadece bir annenin anlayabileceği üç günlük işkence. Ona tutundum ve çılıncıca uzuvları, parmakları veya ayak parmaklarını kontrol ettim. Onu dağın aşağısındaki sahra hastanesine götürdüm ve birkaç kesik ve morluk dışında doktorlar ona temiz bir sağlık raporu verdiler. Hayatta ve sağlıklı olması bir mucize. ...

"Köyümüz" şu anda dağın eteğindeki yaklaşık 200 çadırdan oluşuyor. Herkesin evi yıkıldı. Neyse ki, Sungi'nin (bir Oxfam yerel ortağı) personeli bize yardım etmeye geldi. Sadece çadırlar, battaniyeler ve temiz içme suyu sağlamakla kalmadılar, en çok ihtiyacımız olan zamanda dayanabileceğimiz bir omuz sağladılar. Bazen kederinizi dinleyecek ve paylaşacak birine ihtiyaç duyarsınız. "

Gönderen: <https://www.oxfam.org.nz/whatwedo/emergencies/previous-emergencies/kashmirearthquake-2005/stories-from-balakot>



Kurtarılmadan önce Balakot'ta enkaz altında üç gün hayatta kalan Shazia bebeği ile



Yıkılmış Balakot şehri

Keşmir depremi, 8 Ekim 2005 sabahı 08.50'de kuzey Pakistan'ı vurdu. Burası Himalaya sıradağlarını oluşturan Avrasya ve Hint tektonik levhalarının çarpışma bölgesindeydi. Deprem, Güney Asya'yı vuran en kötü doğal afetlerden biriydi. Tahmini ölü sayısı 85.000'den fazlaydı; Muzafferabad şehri en ağır darbe aldı. Ölü sayısından daha çok insan yaralandı ve 3,5 milyon insan evsiz kaldı. Birçok okul çöktü, hastaneler ve kurtarma hizmetleri yetersiz kaldı. Uzak dağlık bölgelerdeki kasabalar ve köyler tamamen yok edildi. Heyelanlar nedeniyle tıkanan yollar, kurtarma hizmetlerini daha da zorlaştırdı. Çok sayıda artçı sarsıntı yaşandı. Daha sonra uydu ölçümleri, merkez üssünün üzerindeki arazinin birkaç metre yükseldiğini gösterdi. Hemen ardından büyük bir ulusal ve uluslararası kurtarma müdahalesi oldu, ancak bölgedeki tesislerin sonraki aylarda ve yıllarda yeniden inşası yavaştı.

Büyük depremlerin vurabileceği ülkelerde halkın korunması gerekir. Koruma önlemleri, hasar verici depremleri tahmin etme (Tablo 6.6) ve ön görme girişimlerini, depreme dayanabilecek binalar inşa etmeyi ve deprem etkileriyle başa çıkmak için planlar yapmayı içerir.

**Tablo 6.6.** Depremleri tahmin etme yöntemleri

Depremleri tahmin etme yöntemleri	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Uzayda sismik boşluk</b>	Büyük faylar boyunca, genellikle çok sayıda deprem bulunan alanlar ve az sayıda diğer alanlar vardır. Çok az depremin olduğu yerlerde gerilim yükseliyor olabilir, dolayısıyla bir sonraki depremin beklendiği yer burasıdır.		San Andreas Fayı'ndaki Loma Prieta sismik boşluğu, Kaliforniya, ABD. Üstteki diyagram, 'büyük olana' ve onun 1989'daki artçı sarsıntılarına kadar boşlukta birkaç deprem olduğunu göstermektedir - alt diyagram
<b>Zaman içinde sismik boşluk</b>	Bazı depremler oldukça düzenli bir tekrarlanma zaman düzenine sahiptir - bir sonraki depremin zamanının tahmin edilmesine izin verir.		Japonya'daki Tokai depremleri, her 100-150 yılda bir, 1498, 1605, 1707 ve 1854'te düzenli olarak meydana geldi. Bir sonraki depremin yakında olması bekleniyor.
<b>Sismik tehlike haritalama</b>	Bu, deprem riski en yüksek bölgeleri göstermek için mevcut tüm verileri kullanır.		ABD Jeoloji Araştırma Kurumu tarafından hazırlanan Güney Amerika'nın sismik tehlike haritası




Deprem öngörme yöntemleri, büyük depremlerin ne zaman ve nerede olası olduğunu gösterebilir. Ancak deprem tahmin yöntemleri, olası yeri ve zamanı daha doğru bir şekilde belirlemeye çalışır. Bunların birçoğu bilimsel olarak araştırılıyor, ancak şimdiye kadar hiçbirinin güvenilir olmadığı gösterilmedi. Yöntemler şunları içerir:

- Faylara yakın zemin yükselme ve eğimlenmesinin izlenmesi;
- Büyük bir depremin öncüsü olduğunu düşünülerek, sismometreler kullanarak küçük depremleri ölçmek;



- Su kuyularındaki su seviyelerin izlenmesi; Artan basıncın yeraltı suyunun yükselmesine veya artan gerilimin daha fazla kırılmaya neden olmasıyla su seviyeleri düşmesine sebep olabilir
- yerden radon gazı emisyonunun kontrol edilmesi - depreme kadar olan birikimde, küçük çatlaklar normalden daha fazla radon gazı açığa çıkarabilir ve bu, yeraltı sularında tespit edilebilir;
- Kayaların elektrik iletme yetenekleri (elektriksel dirençleri) depremden önce değişebilir. Bir kaya ne kadar çok su tutarsa elektriği o kadar iyi iletir, bu nedenle depremden önce daha fazla çatlak oluşursa, bunlar suyla dolar ve elektriği daha etkili bir şekilde iletir (böylece elektrik akımlarına dirençlerini düşürür).

Binaların depreme dayanacak şekilde inşa edildiği ve depreme dayanıklı bina yasalarının uygulandığı yerlerde, hasar büyük ölçüde azaltılabilir ve böylece ölümler de azalabilir. Binaların deprem hasarına direnmesine yardımcı olmak için kullanılan farklı yöntemler Tablo 6.7'de gösterilmektedir.

**Tablo 6.7.** Deprem hasarına direnmek için yöntemler geliştirme

Deprem dayanıklı metodlar	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
Sarsıntı sırasında güçlendirme	Deprem dalgaları hem yukarı hem aşağı hem de yana doğru hareket eder.		Oregon, ABD'deki bir binaya ekstra güçlendirmek için perde duvarlar inşa edilmiştir.
	Temel cıvataları duvarları esnek bir şekilde temellere bağlar.		Temel cıvataları ve kayışları, Napa, California, ABD
Sarsıntı sırasında izolasyon	Binaları zemin sarsıntılarından korumak için kauçuk amortisörler, yaylar, tekerlekler ve bilyalı rulmanlar dahil çok çeşitli yöntemler kullanılabilir.		Temel izolasyon yöntemlerini test eden sallama tablosu. Soldaki normal izole olmayan bina çöküyor. California Üniversitesi, San Diego, ABD

**Tablo 6.7.** Deprem hasarına direnmek için yöntemler geliştirme, devam

Deprem dayanıklı metodlar	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
Güçlendirilmiş beton ile yapılaşma	Güçlendirilmiş betonarme binalar, kırılğan betonun kırılmasına neden olan sarsıntıyı durdurabilen beton içindeki çelik çubuklar olan inşaat demiri ağları (takviye çubuğu) ile inşa edilir.		Beton köprü temeli için inşaat demiri çelik ağ
Dirençli su, gaz ve elektrik şebekesi	Gaz ve elektrik şebekelerine, yangınları önlemek için otomatik olarak kesilen cihazlar takılabilir; Esnek eklemlili su şebekeleri hasara karşı dayanıklıdır, böylece depremden kaynaklanan yangınlarda su kaynakları kesilmez.		Bir gaz şebekesine takılan otomatik kesme vanası, Seattle, ABD

Depremden etkilenen bölgelerde, nüfusu korumak için yetkililer tarafından planlar yapılmalıdır. Bunların genellikle dört aşaması vardır: hafifletme (olası etkileri, örneğin 6.7'deki yöntemlerle azaltma), hazırlıklı olma (idari planlama, hazırlık ve eğitim dahil), müdahale (acil servislerin deprem sırasında ve hemen sonrasında nasıl tepki vermesi gerektiği), ve iyileşme (topluluğu korumaya ve yeniden inşa etmeye başlar).

Deprem hazırlığının bir kısmı, okullarda ve daha geniş olarak halkın deprem sırasında ve sonrasında ne yapılacağı konusunda eğitilmesidir. Bunun en önemli kısmı her ailenin, okulun, fabrikanın, ofisin vb. Kendi planını geliştirmesidir.

#### **Kutu 6.7.** Bir deprem planı

ABD'nin California eyaletindeki Earthquake Country Alliance, "*Deprem güvenliğine giden yedi adım*" 1 vurguluyor

#### **Hazırlan**

1. Adım: Alanınızı emniyete alın - mobilyaların vb. malzemelerin tehlikeli bir şekilde devrilmemesini sağlayın.
2. Adım: Güvende olmak için plan yapın - kendi afet planınızı yapın ve herkesin ne içerdiğini bildiğinden emin olun.
3. Adım: Afet malzemelerini kolayca bulunabilecekleri bir yerde düzenleyin.
4. Adım: Belgelerinizi düzenleyerek, binayı güçlendirerek ve sigorta yaptırarak mali sıkıntıyı en aza indirin.

#### **Hayatta kal ve iyileş**

5. Adım : Bırakın, örtün ve tutun - deprem sırasında ağır mobilyalar altında kendinizi koruyun.
6. Adım: Güvenliği artırın - mümkünse binayı terk edin, yaralılara yardım edin ve diğer yaralanmaları önleyin.
7. Adım: Biraraya geliniz ve eski halinize dönün - başkalarıyla bağlantı kurun, hasarı onarın ve topluluğu yeniden oluşturun.



Deprem uyarı sinyali, Vancouver, Canada



### 6.1.3 Tsunami

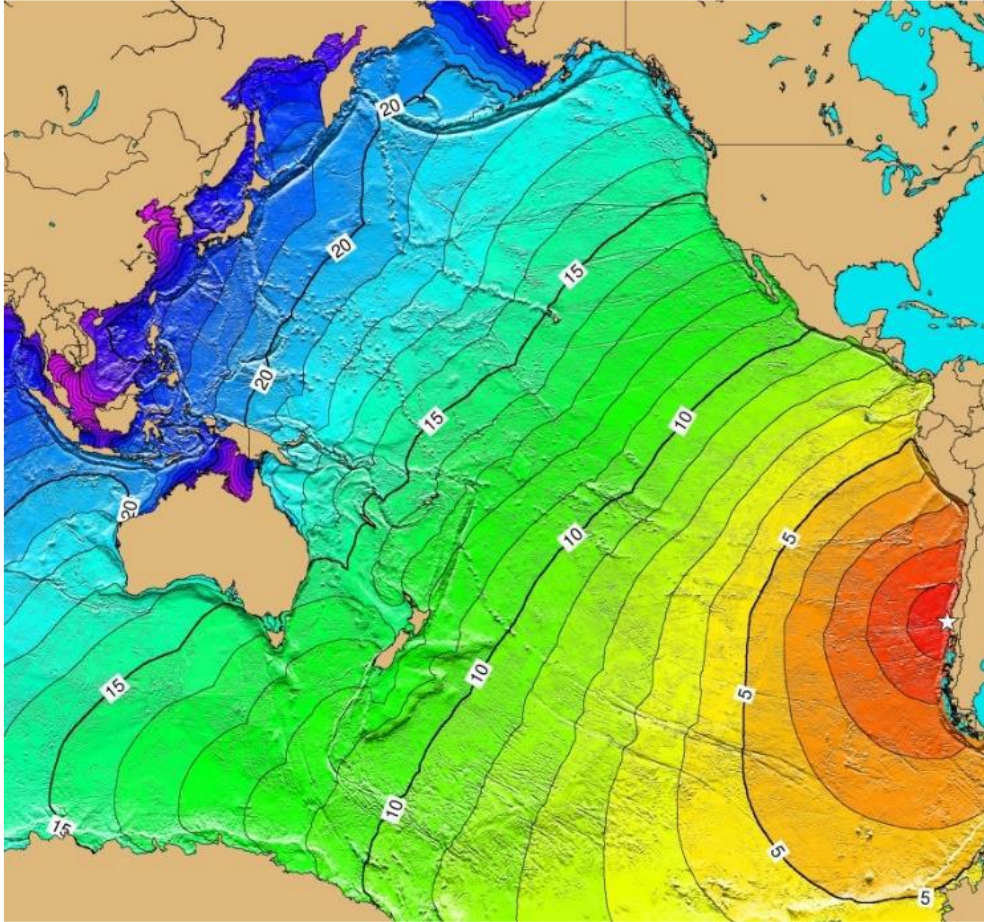
Tsunamiler, depremler, volkanik patlamalar, su altında gelişen heyelanlar veya göktaşı çarpmalarının neden olduğu büyük su dalgalarıdır; "Tsunami", Japonca'da "liman dalgası" anlamına gelir. Tsunamiler, gelgitlerle hiçbir ilgisi olmamasına rağmen geçmişte "gelgit dalgaları" olarak adlandırılıyordu.

Kıyıya ulaşan tsunami dalgalarının yüksekliği, tetikleme sürecinin boyutuna ve kıyı şeridinin şekline bağlıdır. Açık okyanusta tsunami dalgaların yüksekliği düşüktür ancak 800 km / sa-1'e kadar hızlarda hareket eder. Kıyı şeridinin yakınında daha sığ suya ulaştıklarında, sürtünme dalganın tabanını yavaşlatır ve sürekli olarak yükselmesine neden olur. Sığ eğimli kıyı şeritleri, dik eğimli kıyılarından daha yüksek dalgalar üretir. En büyük tsunami dalgaları, 12 katlı bir binanın yüksekliği olan 40 metreden fazla yüksekliğe ulaşabilir.

Zarar veren sadece dalga yüksekliği değil, tsunamiler karaya ulaştığında muazzam miktarda su kara üzerine taşabilir. Bunlar, kendileriyle bağlantılı olmayan her şeyi süpürerek 10 km'ye kadar karada iç kısımlara taşabilir. Bu yüzden tsunamiler çok sayıda insanı öldürebilir.





Büyük tsunami dalgaları geniş okyanusları baştan başa geçebilir. Şimdiye kadar kaydedilen en güçlü deprem olan Şili'deki 1960 Valdivia depremi, Pasifik Okyanusu boyunca seyahat eden ve yolda Hawaii adasını harap eden ve Yeni Zelanda, Avustralya, Filipinler, Japonya ve Çin'e ulaşan bir tsunamiye neden oldu (Şekil 6.4).

**Şekil 6.4.** Pasifik Okyanusu boyunca yıkıcı dalgaların seyahat sürelerini saat cinsinden gösteren, 1960 Valdivia depreminin neden olduğu tsunami



Bazı büyük ve yıkıcı tsunamilerin detayları Tablo 6.8'de gösterilmektedir.

**Tablo 6.8.** Büyük tsunamiler ve etkileri

Tsunami	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>2011Tōhoku, Japonya tsunamisi</b>	Açık denizde meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki bir deprem tsunamiye neden oldu ve 15.000'den fazla ölüme ve yüzbinlerce sakinin tahliyesi ile Fukushima nükleer santralinin erimesine neden oldu (yukarıdaki Tablo 6.5).		Tōhoku, Japon tsunamisi; Hasarlı bir petrol rafinerisinden siyah duman
<b>2004 Hint Okyanusu tsunami</b>	Endonezya'da ve Sri Lanka, Hindistan ve Somali dahil olmak üzere diğer Hint Okyanusu kıyı ülkelerinde 230.000 kişi öldü. (yukarıdaki Tablo 6.5).		Tayland'ın Krabi Eyaleti, Ao Nang'da 2004 tsunami
<b>1883 Krakatoa patlaması</b>	Krakatoan patlama tsunamisi 36.000'den fazla ölüme neden oldu.		1883 Krakatoan patlamasının neden olduğu tsunaminin sonucu
<b>1755 Lizbon, Portekiz depremi</b>	Deprem, tsunami ve yangınlardan kaynaklanan 40.000'den fazla ölüm; Portekiz'in başkenti Lizbon neredeyse tamamen yok edildi.		Bir sanatçının 1755 Lizbon depremi ve tsunamisine bakış

**Kutu 6.8.** 2011 tsunamisi, Tōhoku, Japonya

11 Mart 2011 Cuma günü, Japonya'da şimdiye kadar kaydedilen en güçlü deprem (9.0 büyüklüğünde), 40 metre yüksekliğe ulaşan ve 10 km kara içerisine akan büyük bir tsunamiyi tetikledi. Bu, Japonya'daki Yomiuri Shimbun ulusal gazetesinden muhabirler Sho Komine ve Yasushi Kaneko tarafından kaydedilen Unosumaicho bölgesindeki okul çocuklarının hikyesidir.

2011 tsunamisinden sonra  
Minamisanriku'daki devlet hastanesi



“Tsunami, Kamaishi-Hogashi Ortaokulu'nun üçüncü katına ve yakındaki Unosumai İlkokulu'na ulaşan sel sularıyla Kamaishi'nin Unosumaicho bölgesini vurdu. Son depremden önce iki okul ortaklaşa afet tatbikatları yapmıştı. Ortaokulda depremden hemen sonra anons sistemi arızalandı ve tahliye çağrılarını yayınlamaz hale geldi. Ancak, öğrenciler pratik yaptıkları gibi binayı ve spor salonunu çabucak terk edebildiler ve aynı zamanda binadan kaçmanın eşiğinde olan ilkokul öğrencilerinin ellerini yakaladılar ve birlikte daha yüksek bir yere koşular. ” “Bir ortaokul birinci sınıf öğrencisi, 13 yaşındaki Dai Dote, iki üçüncü sınıf ilkokul kızının [8 yaşında] ellerini tuttu. Tepeye çıkarken kızlardan biri ağladı ve hiperventilasyona başlarken, diğeri konuşamıyordu. Dote, kızlara okullarından iki kilometreden daha uzaktaki tepeye koşarken, "Sorun değil," dedi. Dote, tüm arkadaşlarının güvenliğini onayladıktan sonra, kızlar rahatlamış görünüyordu, dedi. ” Bir öğretmen Yomiuri Shimbun'a, “Sınıftaki çocuklara defalarca tsunamiyi beklenenden daha büyük yaşayabileceğimizi söyledim. Bu kadar çocuğun kurtarılması neredeyse bir mucizeydi. Kendi başlarına [hayat kurtaran] kararlar aldıkları için çocuklarla gurur duyuyorum. ”

**Kutu 6.9.** Hint Okyanusu tsunami, 2004

26 Aralık 2004'te (Noel / Noel'in ertesi günü), 11 yaşındaki İngiliz kız öğrenci Tilly Smith, babası, annesi ve küçük kız kardeşi ile Tayland Phuket'te sahildeydi.

Daha sonra hikyesini bir muhabire anlattı.

Phuket sahilini vuran tsunami dalgası



**Kutu 6.9.** Hint Okyanusu tsunamisi, 2004, devam ediyor

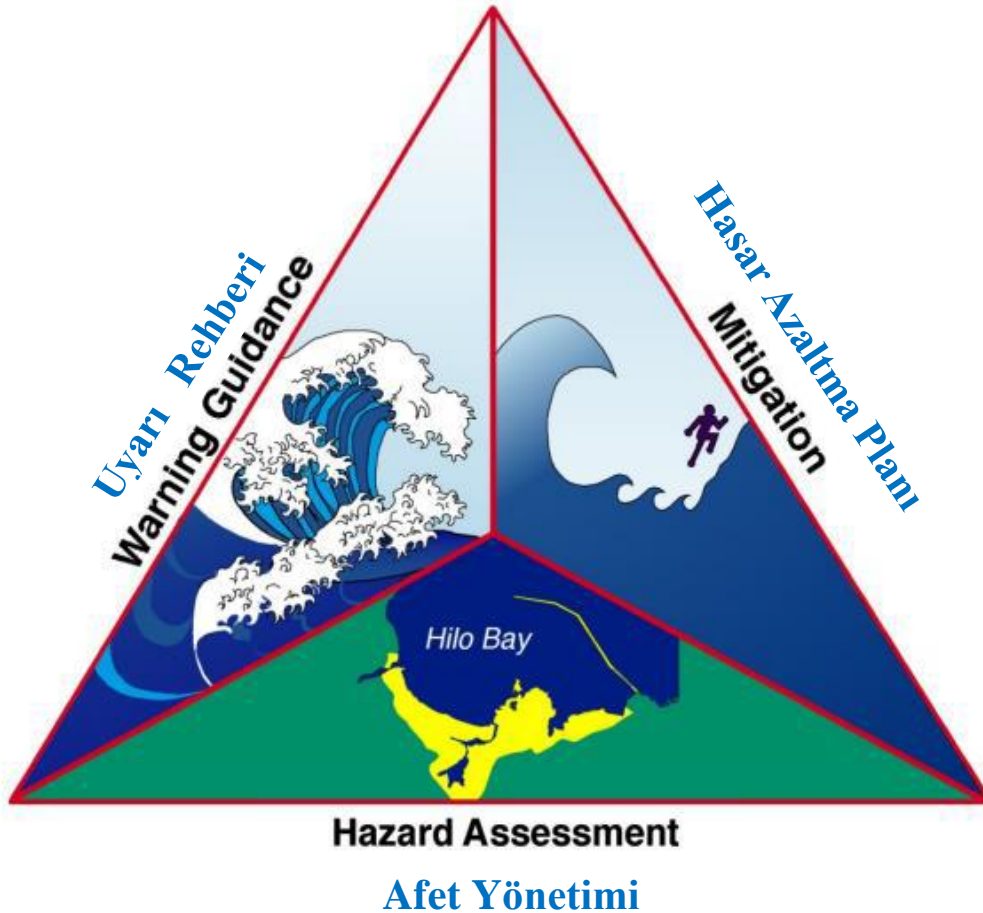
Tilly'nin hikayesi:

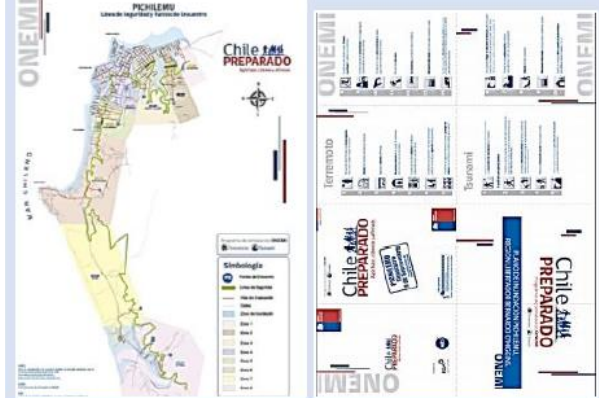


Bir coğrafya dersinde bana öğretildiğini hatırladım. Aynı bir bira üzerinde gördüğümüz gibi cızırtılıydı. 'Kesinlikle bir tsunami olacak dedim, annem bana inanmadı ve bu yüzden yürümeye devam etti'. Ama babam bana inandı ve kız kardeşim Holly gerçekten korkuyordu. Böylece [otelde] Annem havuza geri koştu ve babam da onun arkasından gitti. Ve sonra 'tamam anne, gidiyorum, kesinlikle gidiyorum, kesinlikle tsunami olacak' dedim. Ve o sadece, 'Hmmm -' o zaman güle güle '. Bu yüzden geri döndüm ve ben gittiğimde biraz sonra tedirgin oldu ve bu yüzden iyi olup olmadığını görmek için geri döndü. Ve geri döndüğü anda, su sahilden yukarı çıkmaya başladı. "tamam, babama ve babam güvenlik görevlisine ve güvenlik görevlisi de sahildeki insanlara söyledi. Sahilde suyun içinde epeyce aile vardı. "Bay Kearney (coğrafya öğretmenim) olmasaydı, o zaman muhtemelen ölmüş olurum ve ailem de ölürdü. Bu yüzden bana bunu zamanında öğrettiği için oldukça gurur duyuyorum. Annem, gençken tsunamiler öğretilmediğinden ve tsunaminin ne olduğunun farkında olmadığından farkına varmamıştı. O kelimenin varlığından bile haberi yoktu. Bu yüzden kelimeyi gerçekten bilmek ve ona öğretilmek gerçekten iyi. "

Tilly'nin ailesi otelin üst katına çıktı ve tsunami dalgalarının yüzme havuzunu molozla doldurmasını izledi. Tilly, sadece Tayland'da 8.000'den fazla insanın öldüğü o gün sahilde yaklaşık 100 hayat kurtarmış olabilir.

ABD'deki Ulusal Tsunami Tehlikesini Azaltma Programı, Tablo 6.9'da olduğu gibi Şekil 6.5'te gösterilen üç bölümden oluşmaktadır: uyarı kılavuzu, hafifletme ve tehlike değerlendirmesi.

Şekil 6.5. ABD Ulusal Tsunami Tehlikesini Azaltma Programı logosu



Tsunami Güvenlik metodu	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
Tehlike değerlendirmesi	Topluma yardımcı olmak için olası tehlikeler değerlendirilir ve sonuçlar yayınlanır. Bu Şili uyarı broşürü tsunami risk bölgeleri, buluşma noktaları, acil bakım alanları ve tahliye yolları hakkında bilgi içerir.		Orta Şili'deki kıyı kenti Pichilemu için tsunami tehlike uyarı broşürü
Önceden önlem alma (Mitigation)	Tsunami tehlikeleri tsunami duvarları inşa edilerek azaltılır.		Japonya'daki Tsushi'de bir tsunami duvarı
Uyarı ve rehberlik	Derin Okyanus Değerlendirmesi ve Tsunamilerin Raporlanması (DART) sistemi, tsunamilerin neden olduğu basınç değişikliklerini tespit eden okyanuslarda bir dizi şamandıraya dayanır, böylece erken uyarılar verilebilir.  Halk, uyarılar duyulduğunda ne yapılması gerektiği konusunda eğitilirken, bilgiler broşürlerde ve işaretlerde yayınlanır.		DART II şamandıra ve ağ uyarı sistemi  Tsunami uyarı levhası, Okumatsushima, Japonya, tahliye yolları ile.

### **Kutu 6.10.** Tsunami uyarı bilgisi

ABD'de çevrimiçi olarak yayınlanan bir tsunami etkisini azaltma bilgi formu bu kılavuzu içermektedir.

Genelde bir tsunaminin gelebileceğini düşünüyorsanız, ayaklarınızın altında yer sallanın veya bir uyarı olduğunu duyarsanız, akrabalarınıza ve arkadaşlarınıza söyleyin ve **hızlıca daha yüksek bir yere gidin.**

#### **Tsunamiler Hakkında Bilinmesi Gereken Önemli Gerçekler**

- Pasifik Okyanusu Havzasında kıyı bölgelerini vuran tsunamilerin neredeyse hepsi depremlerden kaynaklanır. Bu depremler yaşadığınız yerden uzakta veya yakınında meydana gelebilir.
- Bazı tsunamiler çok büyük olabilir. Kıyı bölgelerinde yükseklikleri 30 fit (9 m) veya daha fazla olabilir (aşırı durumlarda 100 fit (30 m)) ve karaların iç kesimlerinde birkaç yüz fit (10s - 100s pf metre) hareket edebilirler.
- Deniz seviyesinin altında kalan tüm kıyı bölgelerini tsunamiler vurabilir.
- Bir tsunami, bir dizi dalgadan oluşur. Çoğunlukla ilk dalga en büyüğü olmayabilir. Tsunamiden kaynaklanan tehlike, ilk dalganın gelmesinden sonra birkaç saat sürebilir.
- Tsunamiler bir insanın koşabileceğinden daha hızlı hareket edebilir.
- Bazen bir tsunami kıyıya yakın suyun çekilmesine ve okyanus tabanının açığa çıkmasına neden olur.
- Bazı tsunamilerin gücü muazzamdır. Birkaç ton ağırlığındaki büyük kayalar, tekneler ve diğer enkazlarla birlikte tsunami dalgaları ile karaların iç bölgelerine yüzlerce fit hareket ettirilebilir. Evler ve diğer binalar yıkılır. Bütün bu malzeme ve su büyük bir güçle hareket eder ve insanları öldürebilir veya yaralayabilir.
- Tsunamiler gece veya gündüz herhangi bir zamanda meydana gelebilir.
- Tsunamiler, okyanusa akan nehir ve akarsuların gerisine doğru hareket edebilir.

#### **Karadaysanız:**

- Tsunami gerçeklerinin farkında olun. Bu bilgi hayatınızı kurtarabilir! Bu bilgiyi akrabalarınız ve arkadaşlarınızla paylaşın. Hayatlarını kurtarabilir!
- Okuldaysanız ve bir tsunami uyarısı olduğunu duyarsanız, öğretmenlerin ve diğer okul personelinin tavsiyelerine uymalısınız.
- Evdeyseniz ve bir tsunami uyarısı olduğunu duyuyorsanız, tüm ailenizin uyarıdan haberdar olmasını sağlamalısınız. Bir tsunami tahliye bölgesinde yaşıyorsanız, aileniz evinizi boşaltmalıdır. Düzenli, sakın ve güvenli bir şekilde tahliye sahasına veya tahliye bölgenizin dışındaki herhangi bir güvenli yere gidin. Yerel acil durum ve kanun uygulayıcı makamların tavsiyelerine uyun.
- Plajda veya okyanusun yakınıdaysanız ve yerin sarsıldığını hissederseniz, hemen daha yüksek bir yere gidin. Bir tsunami uyarısının duyurulmasını BEKLEMİYİN. Bir tsunami varsa sahilden ve okyanustan uzak duracağınız gibi okyanusa giden nehirlerden ve derelerden de uzak durun. Yerel bir depremden kaynaklanan bölgesel bir tsunami, bir tsunami uyarısı duyurulmadan önce bazı bölgeleri vurabilir.
- Uzak yerlerde üretilen tsunamiler genellikle insanlara daha yüksek yerlere gitmeleri için yeterli zaman verecektir. Yer sarsıntısını hissedebileceğiniz yerel olarak üretilen tsunamiler için, daha yüksek bir yere gitmek için yalnızca birkaç dakikanız olabilir.
- Yüksek, çok katlı, betonarme oteller alçak kıyı bölgelerinde yer almaktadır. Bu otellerin üst katları, bir tsunami uyarısı varsa ve iç kesimlerde daha yüksek bir yere hızla hareket edemiyorsanız, sığınmak için güvenli bir yer sağlayabilir. Bununla birlikte, yerel Sivil Savunma prosedürleri, bölgenizde bu tür bir tahliyeye izin vermeyebilir. Alçak kıyı bölgelerinde bulunan evler ve küçük binalar tsunami etkilerine dayanacak şekilde tasarlanmamıştır. Tsunami uyarısı olursa bu yapılar kalmayın.
- Açık deniz resifleri ve sığ alanlar tsunami dalgalarının kuvvetini kırmaya yardımcı olabilir, ancak büyük ve tehlikeli dalgalar bu bölgelerdeki kıyı sakinleri için yine de tehdit oluşturabilir.




**Bir tsunami uyarısı olduğunda tüm alçak alanlardan uzak durmak en güvenli tavsiyedir.**

## 6.1.4 Heyelanlar




Kayalar yerçekimine karşı dirençlerini kaybettiğinde heyelanlar oluşur ve kayaların dirençlerini kaybetmesi depremler, patlamalar, fırtınalar veya kayanın bir şekilde zayıflaması nedeniyle tetiklenebilir. Suya düşen toprak kaymaları da tsunamileri tetikleyebilir.

**Heyelanlar**, aynı zamanda **toprak kayması** olarak da adlandırılır, oldukça hızlı ama aynı zamanda çok yavaş gerçekleşebilecek birkaç farklı düşme, kayma ve akıntı türünü kapsar. Yavaş heyelanlar bile zarar verir (Tablo 6.10). Heyelanlar karada veya su altında olabilirler.

**Tablo 6.10.** Farklı düşme, kayma ve akış türleri

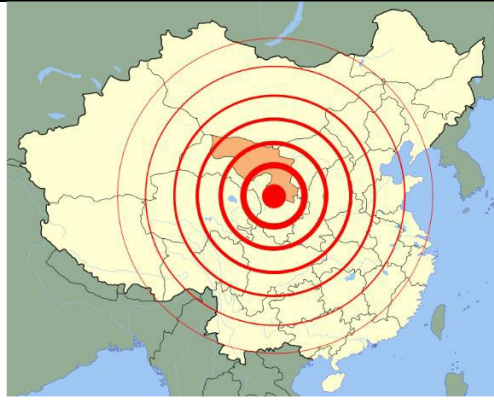
Kaya direnç kaybetme şekli	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Kaya Düşmesi (Rockfall)</b>	Kayalar, yerçekimi nedeniyle tahrip edici bir hızla devrilir veya düşer.		British Columbia dağlarındaki kaya düşmesi, Kanada, 2011.
<b>Kayma (Slide)</b>	Kayalar, tek tek bloklar olarak değil, bir kitle olarak tahrip edici bir hızla kayar.		Kayma, Oddicombe sahilinde, Devon, İngiltere, 2010.
<b>Göçme (Slump)</b>	Göçmeler, malzemenin tek bir kütle olarak eğim aşağı doğru hareketlenmeleridir; bazı çökmeler felaket derecede hızlıken diğerleri çok yavaş sürünmeye sahip; Blok, kavisli bir yarıлма yüzeyi boyunca aşağı doğru kayarken kavisli yüzey geriye doğru eğildiğinde bazı çökmeler rotasyoneldir.		Mam Tor, Derbyshire, İngiltere'de old road geniş göçme bölgesindeki rotasyonel çökmeler.

**Tablo 6.10.** Farklı düşme, kayma ve akış türleri, devam

Kaya direnç kaybetme şekli	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Kaya akması</b>	Kaya akmaları, moloz akmalarını ve moloz çığlarını içerir; çok su içerdikleri için özellikle dik yamaçlarda ve vadilerde saatte onlarca km'ye varan yüksek hızlarda akarlar.		Vargas, Venezuela, Aralık 1999'daki enkaz akışından bir ay sonra
<b>Yavaş akma (Creep)</b>	Toprak gibi yüzey malzemeleri, ya yuvarlatılmış kütleler halinde ya da daha sonra çiftlik hayvanları tarafından genellikle yollar olarak kullanılan bir dizi küçük teras oluşturarak, yokuş aşağı yavaşça akarlar.		toprak yavaş akma (krip) lobları, Wyoming, ABD
			Morgan's Hill eteklerindeki teraslar, Wiltshire, İngiltere




En çok zarar veren küresel heyelanlardan bazıları Tablo 6.11'de gösterilmektedir.

**Tablo 6.11.** Büyük heyelanlar

Önemli Heyelanlar	Açıklama	Görüntü	Görüntü Lokasyonu
<b>Haiyuan heyelanları, Aralık 1920</b>	Heyelanlar 16 Aralık 1920'de 7,8 büyüklüğündeki Haiyuan depremi (Çin'de 8,5 büyüklüğünde kaydedildi) tarafından tetiklendi (Tablo 6.5); dengesiz ince taneli silt (lös) yamaçları çöktü ve toplamda 100.000'den fazla ölü sayısı ile 600'den fazla heyelana neden oldu.		Orta Çin'deki Haiyuan akmalarını tetikleyen 1920 Haiyuan depremi



**Tablo 6.11.** Büyük heyelanlar, devam

Önemli Heyelanlar	Açıklama	Görüntü	Görüntü Lokasyonu
<b>Vargas akmaları, Venezuela, Aralık 1999</b>	15 Aralık 1999'da şiddetli yağmur bir dizi moloz akmalarını tetikleyerek 30.000'den fazla insanı öldürdü, birçok evi yıktı ve devlet tesislerinin çökmesine neden oldu; tüm kasabalar yokoldu ve evler denize sürüklendi.		Caraba-lleda bölgesinde 6 m kalınlığındaki enkaz akışının neden olduğu geniş çaplı yıkım.
<b>Nevado Huascarán moloz düşüşü, Yungay, Peru, Mayıs 1970</b>	Bu harabenin üzerindeki bir yazıtta "Burada 35.000 kişinin yaşadığı bir kasaba duruyordu; bir deprem ve ardından Huascarán'dan [arka planda yanardağ] bir heyelan altında burada sadece bir taş moloz [sic] var. Her şey, 31 Mayıs 1970'de birkaç dakika içinde gerçekleşti." yazılıdır.		Yungay'da çekilen fotoğraf, trajediden on yıl sonra - yazıtlı bina
<b>Khait toprak kaymaları, Tacikistan, Temmuz 1949</b>	7,4 büyüklüğündeki Khait depreminde yüzlerce heyelan tetiklendi; suya doymuş ince taneli alüvyon 30m / sn'den fazla hızla akarak Khait'te yaklaşık 4000 kişiyi ve çevresindeki alanlarda yaklaşık 28.000 kişiyi öldürdü.		Chokrak dağındaki kayma izi ve Khait köyünü tahrip eden heyelan.

Toprak kaymaları felaket bir şekilde ani olabilir, insanların evlerini boşaltmaları için zaman kalmaz ve birçok ölümle sonuçlanır.

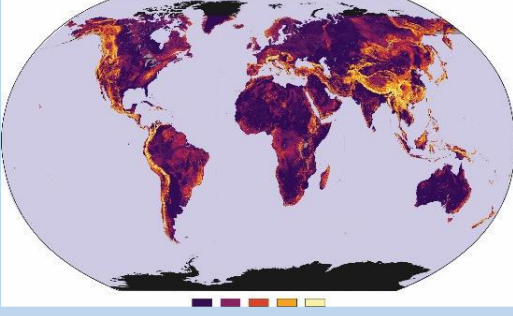




**Kutu 6.11.** Oso çamur akışı, 29 Mart 2014

ABD tarihindeki en zarar verici heyelan, Seattle yakınlarındaki Washington Eyaleti'nin Cascade Dağı bölgesinde Oso yakınlarında 50 kadar evi yıkarak 43 kişiyi öldürdü. Su ile doymuş bir yamaç büyük bir çamur akması oluşturarak göçtü. Görgü tanıkları, yük trenleri, uçak çarpışmaları ve "birbirine çarpan on binlerce şey" sesiyle vadiden kendilerine doğru ilerleyen, belki de sekiz metre yüksekliğinde bir çamur duvarını tarif ettiler. Önceki haftalarda yağın şiddetli yağışlar yamacın duraylılığını bozmuş olabilir.








Heyelan riskini azaltmak için bir dizi yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, Tablo 6.12'de olduğu gibi, uyarı sistemleri aracılığıyla tehlikelerin haritalanması ve izlenmesinden toprak kaymalarını önlemenin veya etkilerini azaltmanın farklı yollarına kadar uzanmaktadır.






**Tablo 6.12.** Heyelan ve kaya düşmesi riskini azaltma yöntemleri

Heyelan risk azaltma	Açıklama	Görsel	Görsel Lokasyonu
<b>Tehlike haritası</b>	Heyelan tehlikeleri yerel ve küresel ölçekte haritalanır. NASA haritası, en tehlikeli bölgelerin, levha kenarı dağ bölgeleri de dahil olmak üzere aktif iklimsel ve tektonik alanlarda olduğunu gösteriyor.		ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından derlenen küresel heyelan tehlike haritası.
<b>İzleme</b>	Duraysızlaşması muhtemel yamaçlar, kablolu ekstansometreler, sismik jeofonlar ve yağmur ölçerler dahil olmak üzere bir dizi cihaz ve yeraltı su basınının ölçülmesiyle izlenir.		Duraysız bir alana kabloyla bağlanan ve verileri radyo ile uzaktan ileten bir kablolu ekstansometre izleme cihazı
<b>Yapı kodları ve uyarı işaretleri</b>	Bina kodları (uygulandığında), binaların yüksek derecede tehlikeli alanlarda inşa edilmesini engellerken, uyarı işaretleri hem trafiği hem de genel halkı uyarır.		Trafik uyarı işareti
<b>Yamaç eğimi azaltma ve teraslama</b>	Eğimler daha azaltılarak ve aralıklarla bir dizi yatay teras kazılarak tehlikeler azaltılır; teraslar kaya duvarlarının yüksekliğini azaltır ve molozları yakalar		Route 23, Pound Gap, Cumberland Dağları, Virginia, ABD üzerinde kaya teraslama
<b>Drenaj</b>	Suyu hızlı bir şekilde uzaklaştırmak için, eğimlerin üst ve alt kısımlarının yanı sıra yamaçların içine drenajlar yerleştirilir ve böylece artan su basınçlarının bir heyelanı tetikleme olasılığını azaltır.		Sedimanı tutmak için çakılla doldurulmuş, suyu uzaklaştırmak için delikli borulu (üstte küçük delikler bulunan) bir Fransız drenaj hendeği

**Tablo 6.12.** Heyelan ve kaya düşmesi riskini azaltma yöntemleri, devam

Heyelan risk azaltma	Açıklama	Görüntü	Görsel lokasyonu
Ağaçlandırma	Ağaçlar veya diğer bitkiler, kökleri gevşek malzemeleri birbirine bağlayacak ve suyu uzaklaştıracak, böylece yamaçları stabilize etmeye yardımcı olacak şekilde dikilir.		Yeni Zelanda'daki Broken River Kayak Alanı'ndaki dik ve gevşek bir yamaçta erozyonu kontrol etmek için dikilmiş karaçam ağaçları
Gevşek yüzeyli malzemelerin kaldırılması ve kaya bulonlama	Gevşek döküntüler uzaklaştırılır ve daha büyük levhalar ve diğer gevşek malzemeler yamaca uzun kaya bulonları ile tutturulur.		İngiltere, Sussex kıyısındaki Black Rock'ta kaya cıvataları
Tel örgü ve jeotekstiller ile kaplama	Bunlar, döküntülerin düşmesini önlemek için yamaç üzerine sabitlenir.  Jeotekstil örnekleri		Düşen kayalara karşı tel örgü koruması, Marine Drive, Llandudno, Galler
Püskürtme beton kaplaması	Gevşek kaya yüzeylerinin üzerine onları birbirine bağlamak ve stabilize etmek için bir çimento tabakası püskürtülür.		Shotcrete, Auckland, Yeni Zelanda ile stabilize edilmiş bir uçurum.

**Tablo 6.12.** Heyelan ve kaya düşmesi riskini azaltma yöntemleri, devam

Heyelan risk azaltma	Açıklama		Görsel	Görsel Lokasyonu
Duvarlar ve gabyonlarla korunan yarmalar ve yüzleri	Duraysız yamaçların tabanları, kayma ve göçme olasılıklarını azaltmak ve erozyonu önlemek için güçlendirilir	Duvarlar, yarma yüzeylerini korumak için doğal taş veya betondan yapılmıştır		Tabanda beton istinat duvarı ile üstte doğal taş duvarla stabilize edilmiş yol yarması, Rebernice, Slovenia
		Gabionlar, kayalarla dolu tel örgü kutulardır; koruma için örgü galvanizlenmiştir		Gabion ile stabilize edilmiş bir yol yarması
Bariyerler	Bariyerler, molozları tutmak için inşa edilir ve bariyerlerin arkasında birikmesi için yer bırakır			ABD Oregon, Multnomah Şelalesi'nde bir yürüyüş yolunda kaya yakalama ağı
Koruma barınakları	Sığınaklar, ulaşım yollarını ve ortak alanları düşen döküntülerden korumak için inşa edilmiştir.			Heyelan / kaya düşmesi koruma tüneli, Narvik / Beisfjord yolu 751, Norveç
Beton payandalar ve rip rap	Beton payandalar inşa edilir ve büyük rip rap kaya blokları, muhtemelen yıkılma yada erozyona uğrama ihtimali olan yamaçların eteklerine dökülür			Yukarıdaki Fairlight köyünü korumak için İngiltere, Doğu Sussex sahiline Rip rap kayaları dökülmüştür

## 6.2 Çevre sorunları

İnsanlar, yerelden küresele her ölçekte çevreyi etkiler. Bu değişikliklere sıklıkla alışırız ve bu nedenle bunları çevre için bir sorun olarak görmeyiz. Büyük değişiklikler, yerleşim yerlerinin inşası ve geniş bölgelerin tarımıdır. Bu nedenle, bugün Dünya'nın birçok bölümünün çevresi, orijinal vahşi hallerinden çok farklıdır. Gerçekten de, insan faaliyetinin etkisi, en derin denizlerden en yüksek dağlara ve kutuplardan sıg tropikal denizlere kadar, Dünya üzerindeki hemen hemen tüm ortamlarda kaydedilmiştir.

### 6.2.1 Erozyon

Bir patika boyunca her yürüdüğünüzde, özellikle birçok başka insan da yolu kullanıyorsa, erozyona neden olma tehlikesi vardır (Şekil 6.6).

**Şekil 6.6.** Patika erozyonu, Paris yakınlarındaki Fontainebleau Ormanı, Fransa





Halk tarafından bu erozyonu önlemenin tek yolu, yolu kapatmak ya da yeniden yönlendirmek ya da taş veya ahşap yürüyüş yolları döşeyerek güçlendirmektir.

Bu arada, toprak zayıf tarım yöntemleriyle açığa çıktığında veya bitki örtüsü yandığında, toprak su ve rüzgar tarafından kolaylıkla aşınabilir (Tablo 6.13).

**Tablo 6.13.** Toprak erozyonu

Toprak erozyonu	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Su ile toprak erozyonu</b>	Bitki örtüsüyle korunmayan eğimli alanlarda, toprak erozyonu, oluştuktan sonra geri kazanılması çok zor olan derin oluklar oluşturabilir; bu oluklu alanlara çürük alan denir.		Ön plan toprak erozyonu, Huesco eyaleti, İspanya; Yeşil alan, iyi tarım yöntemlerinin yaratabileceği farkı gösteriyor.

**Tablo 6.13.** Toprak erozyonu, devam

Toprak erozyonu	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
Rüzgarla toprak erozyonu	Rüzgar erozyonu büyük miktarda toprağı toz olarak uzaklaştırabilir.		İran'ın Hamadan ilçesinde bir toz fırtınası.
	Orta ABD'nin Great Plains bölgesinde 1930'larda kötü tarım yöntemleri toprakların parçalanmasına yol açtı; bu nedenle, 1930'larda kuraklık olduğunda, Amerikan 'toz çanağı' bölgelerinde büyük miktarda toprak erozyona uğradı.		Rüzgarla savrulan toza gömülü tarım makineleri, Dallas, Güney Dakota, ABD, 1936

Toprakları korumak için iyi tarım uygulamaları şunları içerir:




- yamaçları yukarı ve aşağı yönde sürmemek, yamaçlarda konturlara paralel sürüm yapılmalı; bu yağmur fırtınalarında suyun yokuş aşağı akmasını durdurur; bunun yerine su toprağı sızılır;
- Ağaçların kökleri toprağı tutacak şekilde hendekler ağaçlandırılmalı;
- toprağın yılın mümkün olduğunda büyük bir bölümünde özellikle rüzgarlı mevsimlerde, ekinlerle kaplanması sağlanmalı;
- Rüzgar erozyonunu azaltmak için rüzgâr siperi olarak ağaç ve çit sıraları dikmek;
- ekinlerin büyümeye devam etmesi için gübre içinde toprağı besin eklenmeli;
- Bitki örtüsünün aşırı otlatılmamasını ve toprağın hayvanlar tarafından aşırı sıkıştırılmamasını sağlamak.

Gelgitler dalgaları özellikle fırtınalar sırasında sahillerde yukarı ve aşağı hareket ettirdikçe kıyıları doğal olarak aşınır. İnsanların yaşadığı, kıyı iletişiminin olduğu veya plajların turistler tarafından kullanıldığı alanları etkilemediği sürece bu bir sorun değildir. Kıyı erozyonunu azaltmanın farklı yöntemleri Tablo 6.14'te gösterilmektedir.

**Tablo 6.14.** Kıyı erozyonunu azaltma yöntemleri

Sahil erozyonu azaltma	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
Erozyon önleyici setler (Groynes)	Erozyon önleyici setler, sahil boyunca sediman hareketini azaltmak için sahil boyunca inşa edilen ahşap, kayalar veya beton bariyerlerdir. Tortu bir tarafta birikerek bir dizi kısa kavisli plaj alanı oluşturur.		Capbreton, Landes, Fransa'da "du Prevent" sahilinde inşa edilmiş kayalı erozyon önleyici set.

**Tablo 6.14.** Kıyı erozyonunu azaltma yöntemleri, devam

Sahil erozyonu azaltma	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Deniz duvarları (Sea walls)</b>	Deniz duvarları, kıyı bölgelerini korumak için büyük kayalar, çimentolanmış kesme taş veya betondan yapılır.		Plogoff, Finistère, Bretagne, Fransa'da deniz duvarına çarpan dalga
<b>Rip rap</b>	Rip-rap blokları aşınma bölgelerin serilir		Rip rap ve deniz duvarı, Beesands, Devon, İngiltere
<b>Tetrapodlar (Tetrapods)</b>	Dalgaların gücünü kırmak için özel olarak tasarlanmış büyük beton yapılar.		Baltık kıyısındaki Górký Wschodnie, Gdańsk, Polonya'da bir dalgakırandaki tetrapodlar

Kıyının bir kısmında erozyonu azaltmada karşılaşılan sorunlarından biri, bölgenin kıyı boyunca daha ilerideki diğer alanlar için tortu kaynağı olabileceğidir. Bu nedenle, sahilin bir bölgesi korunduğunda, yakındaki diğer alanlarda erozyon artabilir. Bu, dinamik kıyı bölgelerinde kıyı mühendisliğinin başka yerlerde nasıl "öngörülemeyen sonuçlara" sahip olabileceğini vurgulamaktadır.

## 6.2.2 Drenaj-değişiklikler

Çoğu bina ve diğer yapılar yağmur suyunu yönlendirir. Yağmur suyu kanallara ulaşır ulaşmaz daha hızlı akar ve erozyona neden olma olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle, binalar oluklara, olukların inşa edilmesi için özel kanallara veya sel sularını tahliye kanallarına ihtiyaç duyarlar ve bun kanalların içine aktığı nehirlerin yapacağı erozyonu azaltmak için tasarlanmalıdır (Şekil 6.7). Bütün bunlar, yağmur suyunun yerleşik alanlardan uzağa yönlendirilmesi ve akiferlerin yeniden beslenmesi için toprağa süzülmesini azaltma etkisine sahiptir. Ancak aynı zamanda akış yönünde ani taşkınlara da neden olabilir. Bu sorun, bazı bölgelerde her şeyin üzerine beton dökerek veya her şeyi zedeleyerek değil, bunun yerine bilinçli olarak yağmur suyunun toprağa süzülmesi için alanlar bırakarak çözülür.

Şekil 6.7. Sel suları tahliye kanalı, Dobney Avenue, Wagga Wagga, New South Wales, Avustralya



### 6.2.3 Atık bertarafı

İnsanlar muazzam miktarlarda atık üretir. Dünya Bankası, Dünya genelinde ortalama olarak her bir kişinin günde 1 kg'dan fazla atık ürettiğini tahmin etmiştir, ancak bu her yerde aynı değildir, bazı bölgeler diğerlerinden çok daha fazla atık üretir.

Çok sayıda insan atıklarını bir çöp kutusuna atar ve bu atığa ne olacağı hakkında pek fazla düşünmez. Ancak tüm atıkların yönetilmesi gerekiyor. Atık yönetimi metotları bölgeden bölgeye farklılık gösterir (Şekil 6.8 ve 6.9) ve zamanla değişmiştir, ancak modern yöntemler genellikle "azalt, yeniden kullan ve geri dönüştür" şeklindeki "üç R ('reduce, reuse and recycle')" yi içerir.

Bu, atıktan en yüksek değeri elde etmeyi ve minimum miktarda malzemeyi bertaraf etmeyi amaçlamaktadır.

Şekil 6.8. Katmandu, Nepal'de atık yönetimi







Şekil 6.9. Stockholm, İsveç'te atık yönetimi



Her ne kadar çöpün önemli bir kısmı yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir de, bazılarının sonunda atılması gerekecektir. Atılması gereken başlıca atık türleri Tablo 6.15'te gösterilmektedir.



Atık malzeme	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Atıl atık</b>	Atıl atık kimyasal olarak tepkimeye girmeyen atıktır; bu, yıkılmış binalardan inşaat molozu ve malzemeleri içerir. Bununla birlikte, bu atık yine de kağıt, kereste ve alçıpan gibi kimyasal olarak reaktif malzemeler ve asbest gibi tehlikeli malzemeler içerebilir.		Çek Cumhuriyeti'nin Milovice kentinde yıkılmış bir binanın molozları
<b>Evsel atık</b>	Evsel atık, çok çeşitli malzemeler içeren evsel atıklardır; Bu atıklar çürürken sızıntı suyu adı verilen zehirli bir sıvı üretir ve metan da dahil, gaz açığa çıkarır.		Avustralya'daki bir depolama sahasında evsel atık sıkıştırılıyor
<b>Zehirli atık</b>	Toksik atık, yutulduğu, bulunduğu veya cilt tarafından emildiğinde zararlı olabilen katı veya sıvı kimyasal olarak reaktif atıktır; boya, yağlar ve çok çeşitli kimyasalları içerir ve en çok geçirimsiz depolama sahalarında bertaraf edilir.		1980'lerde Drums Vadisi toksik atık sahası, Kentucky, ABD; bunun gibi atık sahaları ABD'de çevre yasasını değiştirdi
<b>Radyoaktif atık</b>	Radyoaktif atık, binlerce yıl veya daha uzun süre zararlı radyasyon yaymaya devam eder; genellikle düşük, orta ve yüksek seviyeli atık olarak sınıflandırılır; düşük seviyeli atık yüzeye yakın gömülebilir, ancak yüksek seviyeli atıkların derin gömülmesi gerekir.		ABD, Nevada'da düşük seviyeli radyoaktif atıkların bertarafı

Evsel ve toksik atıklar özel olarak hazırlanmış sahalarda uygun şekilde bertaraf edilmektedir. En iyi alanlar, geçirimsiz arazi yüzeylerindeki çukurluklar kullanılsa da, geçirimsiz kayalardaki eski taş ocakları ve tuğla ocaklarıdır. Sızdırmazlık, sıvı sızıntı suyunun yer altı suyuna sızmasını ve gazların çukurun duvarlarına kaçmasını engeller. Daha geçirgen alanlarda, kayalar pahalı geçirimsiz plastik membran ile kaplanabilir (Şekil 6.10). Çukur veya taş ocağı bulunmayan alanlarda, çevre düzenlemesi ve kapama işleminden önce depolama alanı alçak tepelere inşa edilebilir.

**Şekil 6.10.** Güney Doğu Yeni Bölgeleri Jeotekstil membran ile kaplı depolama sahası, Hong Kong



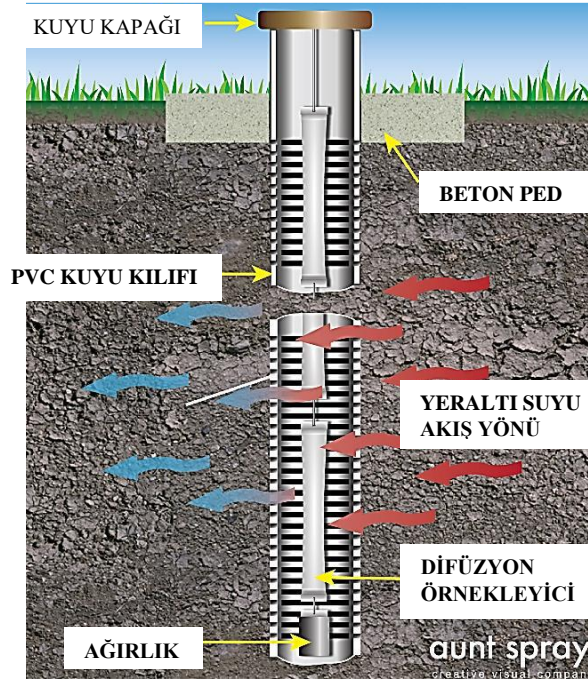
Depolama sahaları dolduğunda, dikkatlice şekillendirilir ve ardından yağmur suyunun sızıntı suyunu dışarı taşımasının engellemek için kil veya diğer geçirimsiz malzemelerle kaplanır. Daha sonra üst toprakla örtülür ve gazın kaçmasına izin vermek için metan delikleri eklenir. Son olarak, sahanın çevredeki alana uyum sağlamasına yardımcı olmak için çim veya diğer bitkilerle yeşillendirilir. Bazı sahalarda metan toplanıp enerji üretmek için kullanılır, böylece atmosferdeki sera gazlarına katkısı azalır.

**Şekil 6.11.** Geçmişte petrolü şeylin çıkarıldığı, peyzajlı eski bir depolama sahasındaki bir dizi metan gazı menfezi, Seafield, West Lothian, İskoçya



Son olarak, iyi yönetilen düzenli depolama sahalarında, çevredeki kayalara sondaj delikleri açılır ve yeraltı suyu kirliliği açısından izlenir (Şekil 6.12).

Şekil 6.12. Tipik bir yeraltı suyu izleme kuyusunun şeması



## 6.2.4 Kirlilik

**Kirleticiler**, çevreyi kirleten atık maddelerdir. Kirletici güçlerini üç faktör etkiler: kimyasal yapıları; konsantrasyonları; ve kalıcılıkları (ne kadar uzun süre toksik kaldıkları).

Yeraltı suyu, düzenli depolama sahalarından sızıntı nedeniyle ve ayrıca bölüm 4.2.1.3'te gösterildiği gibi bir dizi endüstriyel ve tarımsal süreçle kirletilebilir. Bu durumlarda, Şekil 6.12'deki gibi yeraltı suyu kuyuları ile izlemek çok önemlidir.

Benzer işlemler de yüzey suyunu kirletebilir, bu nedenle insan ve endüstriyel kullanım için su kullanımdan önce arıtılmalıdır.

### Kutu 6.12. Asit maden drenajı

Madenlerden su pompalanması durduğunda ve oksijenli suyla dolduğunda eski maden alanlarında bir sorun ortaya çıkar. Bu, maden mineralleriyle reaksiyona girer, onları çözer ve ulaştığı herhangi bir dereye tüm yaşamı öldürebilecek çok asitli, demir açısından zengin su olarak yüzeye çıkarır.

Maden kapandığından, bu pahalı sorunla başa çıkmak için genellikle hiçbir fon yoktur ve yerel makamlar tarafından çözülmesi gerekir.

Eski bir madenden asit drenajı,  
Rio Tinto, İspanya



Yüzey ve yeraltı suyu kirliliğine ek olarak çok çeşitli başka kirlilik türleri de kabul edilmektedir. Bunlar:

- hava kirliliği - atmosfere salınan kimyasallar, gazlar ve kurum gibi partiküller;
- toprak kirliliği - toprağa sızan endüstriyel ve tarımsal kimyasallar;
- çöp - halka çöp atma ve yasadışı çöplük;
- özellikle sokak lambalarından kaynaklanan ışık kirliliği - kentsel alanlarda yaşayan insanlar gece gökyüzünde karanlık alanlarda görülenden daha az yıldız görürler;

- termal kirlilik - özellikle yerel suları ısıtan elektrik santrallerinden gelen soğutma suyu;
- gürültü kirliliği - yol, uçak ve endüstriyel gürültü dahil;
- görsel kirlilik - madenlerden ve taş ocaklarından (aşağıya bakınız), aynı zamanda elektrik hatlarından, reklam panolarından, rüzgar çiftliklerinden, atık çöplüklerinden ve terk edilmiş endüstriyel sitelerden;
- deniz kirliliği - denize dökülen hem işlenmiş hem de işlenmemiş atıklardan.

Son zamanlarda kirlilik, "kirleten öder" prensibine göre ele alınmıştır, kirletenlerin temizlik işlemleri için ödeme yapması gerekir. Günümüzde bu genellikle olası kirletici endüstrilerin ve madencilik ve taşocakçılığı operasyonlarının sözleşmelerine dahil edilmiştir; ancak kirletenin bulunamaması durumunda bu mümkün değildir.

Üç ana kirlilik kaynağının: kirliliğin okyanuslara doğrudan akışı; dereler ve nehirler aracılığı ile akan yağmur suyu; ve atmosferden gelen kirleticiler, bulunduğu deniz alanlarında kirletici bulmak çok zordur.

Kirleticiler, lağımlardan gelen kanalizasyon suyu olarak veya maden atıkları dahil endüstriyel atık olarak doğrudan denize akabilir. Yüzeysel akışı, binaların, yolların ve limanların inşasından ve tarım topraklarından, gübre ve pestisitlerden kaynaklanan kirliliği getirir. Atmosferik kirlilik, araç kirliliğini, rüzgârla savrulan tozu ve depolama sahalarından kaldırılan topları içerir. Atmosferdeki artan karbondioksit seviyeleri, özellikle mercan resif topluluklarını etkileyen, okyanusları asitleştiriyor gibi görünüyor.

Petrol, büyük bir okyanus kirleticisi olup, en ünlüsü büyük petrol sızıntılarından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, okyanus petrol kirliliğinin çoğu, atık suyu pompalayan tankerlerden, sızan boru hatlarından veya karada kanalizasyona atılan petrolerden kaynaklanmaktadır.

Plastik artıklar büyük bir sorundur çünkü plastik çok yavaş bozulur. Küçük mikroplastik boncuklar birçok mutfak fırçasında, diş macunlarında ve kozmetikte kullanılmaktadır ve şimdi kıyı bölgelerinden derin deniz çukurlarına kadar deniz ortamlarını kirlettiği görülmüştür. Deniz hayvanları bunları yiyeceklerinde yerler ve Manş Denizi'ndeki balıkların üçte birinden fazlasının bu boncuklarla kirlendiği tahmin edilmektedir. Bunlar birkaç ülkede yasaklandılar ve 2020 yılına kadar dünya çapında aşamalı olarak kaldırılmaları umuluyor.

**Şekil 6.13.** Beyaz bir kaptaki bulaşık süngeri ile serbest bırakılan mikroplastik boncuklar; mikro boncuklar, boyut olarak bir milimetreden bir milimetrenin yüzde birine kadar değişir



### 6.2.5 Madencilik / taş ocakçılığı

Geçmişte, madenler ve taş ocakları dünyanın birçok bölgesini görsel olarak kirletmiş, ayrıca su, hava ve gürültü kirliliğine neden olmuştur. Günümüzde, dünyanın birçok yerinde, Tablo 5.7'deki gibi kirliliği azaltmak için kullanılan bir dizi yöntemle sıkı çevresel kontroller bulunmaktadır. Bu arada birçok eski maden alanı inşa edilirken, eski taş ocakları kır parkı ve doğa koruma alanı haline geldi. Eski taş ocakları, kaya yüzleri ve göletler gibi, normalde bölgedeki vahşi yaşam için mevcut olmayan çok çeşitli ekolojik nişler sağlayabilir ve bu da onları hem doğa hem de halk için çekici kılar.

**Şekil 6.14.** Eski bir taş ocağındaki Heeseberg doğa koruma alanı, Aşağı Saksonya, Almanya



### 6.2.6 Fosil yakıtların yakılması ve sera etkisi

Birçok bilim adamı, atmosferik değişimle ilgili Bölüm 4.3.3'te tartışıldığı gibi, fosil yakıtların yakılmasının atmosferdeki artan karbondioksit miktarına katkıda bulunduğunu ve bunun da iklim değişikliğine katkıda bulunduğunu düşünüyor. Yanan yakıt, karbondioksit açığa çıkarır ve kömür ile birlikte, doğal gazın neredeyse iki katı karbondioksit açığa çıkarır (bkz. Şekil 5.6). Bununla birlikte, özellikle kireçtaşından çimento üretimi olmak üzere diğer endüstriyel işlemler de, karbondioksit salmaktadır.

Halihazırda, bu süreçlerle oluşan karbondioksitin "yakalanıp" eski petrol veya gaz sahalarına pompalanıp pompalanamayacağını ve dolayısıyla atmosfere salınıp salınamayacağını araştırmak için araştırmalar yapılmaktadır. Araştırma, "**karbon tutmanın**" (veya "karbon yakalama ve depolamanın, CCS ('carbon capture and storage)) mümkün olduğunu, ancak aynı zamanda pahalı olduğunu gösteriyor. Dolayısıyla şu ana kadar dünyanın herhangi bir yerinde büyük ölçekli bir karbon yakalama operasyonu yürütülmemektedir (Şekil 6.15).

**Şekil 6.15.** Bir kömür madeninde karbon yakalama teknolojisi test ediliyor



## 6.3 İnsanlık tarihi üzerindeki etki

Yerbiliminin insanlık tarihinin seyri üzerindeki etkisini görmek genellikle zordur, çünkü birçok başka faktör aynı anda işliyor. Yine de, Dünya süreçlerinin kritik etkilere sahip olduğu örnekler vardır.

### Kutu 6.13. Minos uygarlığının sonu

Akdeniz'deki Girit adasına dayanan Minos uygarlığı, Avrupa'daki ilk büyük uygarlık olabilir. Bu medeniyet yaklaşık 6600 ila 3400 yıl önce gerçekleşti ve çöküşünün nedeni yakınlardaki volkanik Thera adasının (bugün Santorini olarak anılıyor) patlaması olabilir.

Thera patlaması 6 veya 7 Volkanik Patlama Endeksine (VEI) sahipti ve kaydedilen tarihteki en büyük patlamalardan biriydi. Thera (Santorini) adasını yok ederek dev bir krater bıraktı ve Minos kenti Akrotiri'yi volkanik kül katmanlarının altına gömdü. Patlamanın neden olduğu bir tsunami, muhtemelen depremlerle birlikte Minoan sahil kasabalarını yok etmiş gibi görünüyor. Patlama Minoanları o kadar zayıflattı ki, sonradan gelen Miken halkı orayı kolayca fethetti.



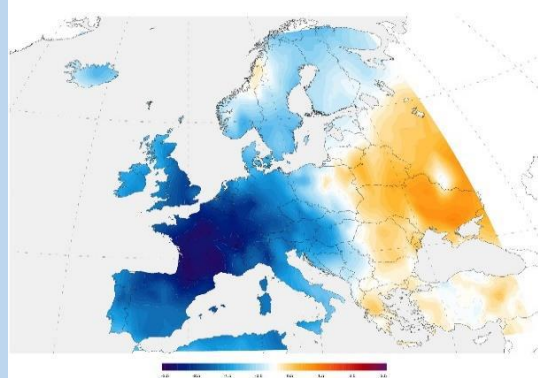
Thera (Santorini) kraterinin günümüzdeki uydü görüntüsü

### Kutu 6.14. "Yazsız yıl", 1816

1816, dünya çapında çiftçilik için felaket bir yıldır ve on binlerce insanın açlıktan ölmesine neden oldu. Bu küresel felaketin 1815'te Endonezya'daki Tambora Dağı'nın patlamasından kaynaklandığı düşünülüyor. Patlama külün yanı sıra atmosfere büyük miktarda kükürt dioksit gazı saldı. Sonuç olarak, küresel sıcaklıklar yaklaşık 0,5°C azaldı ve bunun etkileri şunları içeriyordu:

- Hindistan musonlarındaki değişiklikler üç hasatsız döneme neden oldu;
- Avrupa genelinde hasatsız dönemlere neden olan soğuk hava ve şiddetli yağışlar;
- donlar, kar ve yaz aylarında orta ABD tarım kuşağında yoğun sis, binlerce insanın başka yerlere göç etmesine neden oluyor;
- soğuk hava kuzey Çin'deki ağaçları ve pirinç mahsullerini kurutuyor ve Yangtze Nehri vadisinde su baskını neden oluyor;
- ressamlar atmosferdeki külün neden olduğu güzel gün batımlarının resimlerini yaptılar;
- İsviçre'de tatilde olan bir grup yazar, içeride kalmak ve korkunç hikayeler yazmak için bir yarışma düzenleyerek Frankenstein'in yayınlanmasına ve ilham verici Drakula'ya yol açtı.

1816'daki kıtlık, dünyanın farklı yerlerinde ayaklanmalara ve yaygın hastalıklara yol açtı. 1816 atmosferindeki yüksek kükürt dioksit konsantrasyonu Grönland buz karotlarında kaydedildi.



Avrupa'da 1816 sıcaklık düşüşü



Chichester Kanalı, İngiltere'de, J.M.W. Turner tarafından yapılan gün batımı sahnesi

### 6.3.1 Kaynak savaşları

Geçmiş zamanlarda, kaynaklar için birçok savaş yapıldı. Bazen kaynaklar çatışmanın ana faktörü olurken, diğer zamanlarda daha küçük roller oynarlar, ancak geçmişte açıkça savaş ve barışın kilit parçaları olmuşlardır.

#### **Kutu 6.15.** Su savaşları

Orta Doğu bölgesi, Arap Yarımadası ülkeleri ile Mısır, Suriye, Irak, İran ve Türkiye'yi çevreleyen bölgeleri içerir. Bu bölge bazen 'verimli hilal' olarak adlandırılır, çünkü özellikle Nil, Dicle ve Fırat nehirlerinden gelen su, sulama ve mahsul yetiştirmek için kullanılır ve yaklaşık 5000 yıl önce Dünya'daki en eski uygarlıkların bazılarının temelini oluşturdu. Bu bölgenin uzun tarihi, bazıları su kaynaklarına dayanan birçok savaşı kaydetmektedir. Örneğin, Asur İmparatorluğu yaygın sulamaya dayanıyordu ve Asur krallarının düşmanlarının sulama sistemlerini tahrip ettiğine veya düşmanlarının şehirlerini sel basması için sulama kanallarına moloz attıklarına dair kayıtlar vardır.

Orta Doğu'daki en son "su savaşlarından" biri, 1960'ların ortalarında Ürdün Nehri üzerindeki çatışmaydı. Ürdün Nehri'nden gelen su, İsrail için hayati bir sulama kaynağıdır. Onsu, nüfusu beslemek imkansız olabilir. Bununla birlikte, Ürdün Nehri İsrail'in dışında çıkıyor ve çevredeki Arap devletleri, suyun% 35'inin İsrail'e ulaşmasını durdurmak için Ürdün'ün ana sularından su yönlendirme kararı aldı. 1967 Altı Gün Savaşı'nda İsraililer buna direndi ve planın terk edilmesine yol açtı.



Ürdün Nehri, kuzeyden İsrail'e su getiriyor

#### **Kutu 6.16.** Petrol savaşları

1930'lardan beri yapılan savaşların çoğu 'petrol savaşları' olarak tanımlandı çünkü bir ülkenin petrol kaynakları, savaşa neden olan en önemli faktörlerden biriydi. "Petrol savaşı" olarak adlandırılan ilk savaş, 1930'ların ortalarında Güney Amerika'da Bolivya ve Paraguay arasındaydı. Paraguay tarafından kazanılmasına rağmen, on binlerce asker öldü ve her iki ülke de kötü şekilde etkilendi. Daha sonraki yıllarda hem petrol hem de gaz bulunmasına rağmen, bölgede ticari miktarlarda petrol bulunamamıştır.

1990'daki ilk Körfez savaşı, Irak'ın Kuveyt'i işgaliyle tetiklendi; ülkeler arasında petrol konusunda çıkan anlaşmazlıklar işgalin önemli bir nedeniydi. Kuveyt'teki petrol yatakları ateşe verildi, onlara büyük zarar verildi, atmosfere büyük dumanlar saçtı ve geniş çapta kirliliğe neden oldu. Tüm yangınların söndürülmesi ve petrol kuyularının kapatılması savaşın bitiminden sonra birkaç ay sürdü.

2003'te başlayan ikinci Irak savaşı sırasındaki stratejinin önemli bir parçası, Irak petrol sahalarının güvenliğini sağlamaktır; bu petrol sahalarına zarar verilmeden tamamlandı.



Terk edilmiş bir tankın arkasında yanan petrol sahaları , Kuveyt

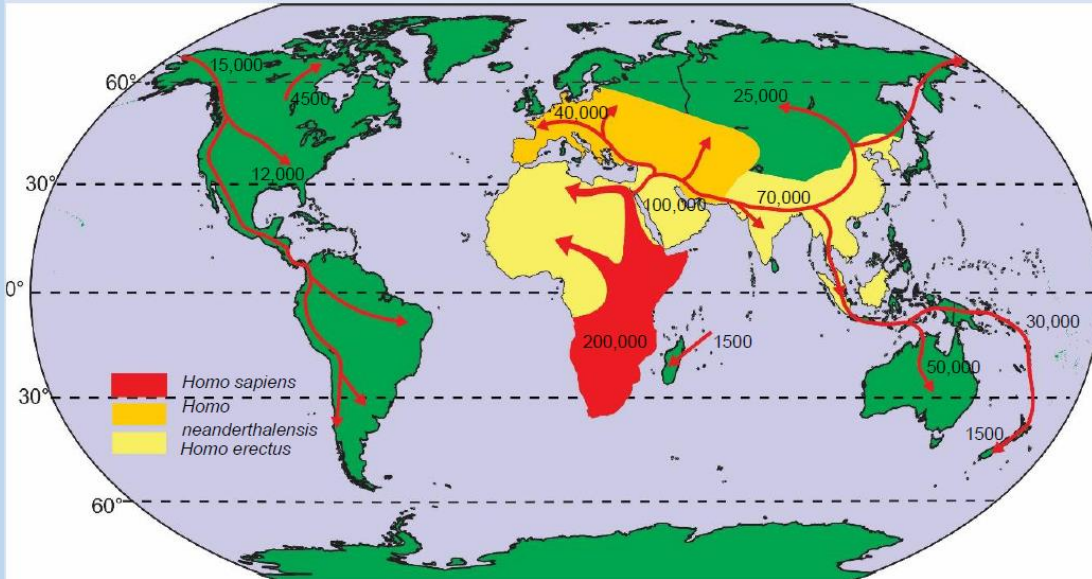
Dünya çapındaki pek çok çatışmanın en önemli nedenlerinden birinin petrol kaynakları olduğu iddia edilmiştir.

### 6.3.2 İklim değişikliğine bağlı göç

Doğal iklim değişikliği, değişen iklim ve buna bağlı deniz seviyesindeki değişiklikler nedeniyle jeolojik geçmişte hayvanların ve insanların göçüne neden olmuştur. Deniz seviyesindeki değişiklikler ve iklim kuşaklarının ve tektonik levhaların hareketi, jeolojik geçmişte büyük habitat değişikliklerine neden olmuş olmalı, ancak daha yakın jeolojik zamanlarda neden olunan göçlerin en ayrıntılı kanıtlarına sahibiz.

#### Kutu 6.17. Erken insanların Afrika'dan göçü

İlk insanların ve diğer birçok grubun göçü, iklim değişikliğiyle bağlantılıdır. Sahara Pompası teorisi, yağışlı dönemlerde Kuzey Afrika ve Orta Doğunun, birçok farklı türün Afrika'dan Asya'ya göç etmesine izin veren otlaklar haline geldi. Ancak daha kurak zamanlarda, "Sahra Pompası" durduğu için bu alanlar tekrar çöle döndü. Pompa teorisi, atlar da dahil olmak üzere birçok farklı memelinin ve farklı erken insan gruplarının göç dalgalarını açıklamak için kullanılmıştır. Afrika'dan Asya'ya ilk erken insan göçü yaklaşık 1.75 milyon yıl önce olmuş gibi görünür. Daha sonra Afrika'da insan grupları geliştikçe, bunlardan biri de aynı yoldan, yaklaşık 70.000 yıl önce, Asya'yı ve nihayetinde Avrupa, Amerika ve dünyanın geri kalanını kolonileştirmek için göç etti.



İlk insan gruplarının yayılma tarihleriyle birlikte tüm dünyaya yayılması: ilk - *Homo erectus*; ikinci - *Homo neanderthalensis*; üçüncü - *Homo sapiens*

#### Kutu 6.18. Sahra'nın kuruması

Yaklaşık 6000 yıl önce, şimdi Sahra Çölü olarak adlandırdığımız alan çok yağışlı bir otlaktı. Orada yaşayan insanlar daha sonra manzarayı kaya sanatı olarak kaydetti; bunlar o zamanlar çayırılık alanlarda yaşamış olması gereken birçok farklı hayvanı gösterdi. Aşağıdaki resim alanında develer diğer hayvanların üzerine çizilmiştir ve bu nedenle sonradan eklenmiş olmaları gerekir. Bu, Çad'ın birçok bölgesini çok az su, bitki örtüsü veya vahşi yaşamla dünyanın en kurak bölgelerinden biri olarak bırakan iklim değişikliğinin başlangıcını kaydedebilir. Bugün atmosferdeki Hadley sirkülasyon hücrelerinin dalan havası, Sahra'da çok kuru bir ortam yaratıyor. Ancak kanıtlar, yağmurlu ekvator koşullarının ekvatorun bugünkü olduğundan daha uzaklara gidebileceğini gösteriyor. Bu, Sahra bölgesinin bazı bölümlerinin geçmişte neden bu kadar ıslak olduğunu açıklıyor gibi görünür. Bilim insanları, iklim kuşaklarının bazı kısımlarının neden bu şekilde hareket ettiğini araştırmaya devam ediyor.



**Kutu 6.18.** Sahra'nın kuruması devam etti



Manda Guéli Mağarası, Ennedi Dağları, Çad



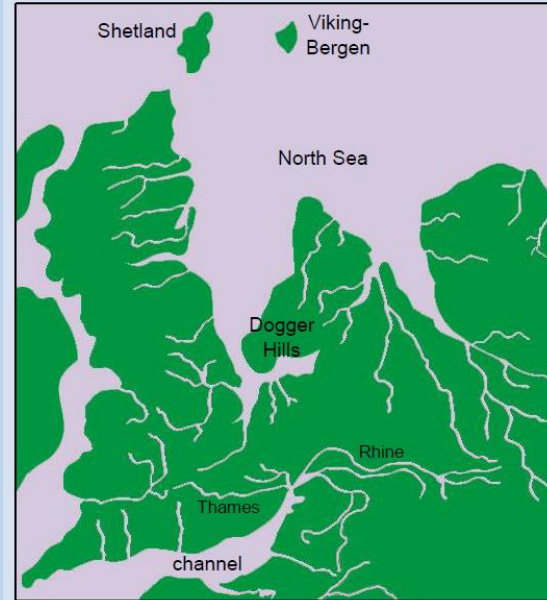
Rüzgarla aşınmış kaya oluşumu, Ennedi Dağları, Çad

**Kutu 6.19.** Kuzey Denizi bölgesinde "Doggerland"

Doggerland, şimdi Kuzey Denizi'nin altında, Birleşik Krallık'ı Avrupa'ya bağlayan kuru arazi olan bir bölgeye verilen addır.

Bölge, alçak tepeler, bataklıklar ve zengin bitki örtüsü ve yaban hayatıyla geniş sığ bir vadiydi ve insan avcı / toplayıcı gruplarının yaşadığı yerdı. Bu, tarih öncesi alet ve silahların yanı sıra mamutların, aslanların ve diğer hayvanların kemiklerini sürükleyen su altı taramalarının bulguları ile gösterilmiştir. Son buzul çağının sonunda buzullar eridikçe, deniz seviyeleri yükseldi ve bölgeyi kademeli olarak sular altında bıraktı. Yaklaşık 8200 yıl önce Kuzey Denizi'ndeki ani bir su altı kaymasına bağlı bir tsunami, bazı bölgeleri sular altında bırakmış olabilir. Yükselen deniz seviyesi, Doggerland'ı 6.000 yıl önce tamamen suyla kaplamış gibi görünüyor.

Petrol arama şirketlerinden alınan sismik araştırma verileri, yükselen deniz seviyeleri tarafından insanlar ve diğer vahşi yaşamın sürülmesinden önce Doggerland'ın geçmişte neye benzediğinin modellerini yeniden oluşturmak için kullanıldı. Doggerland'ın sel baskını İngiltere'yi Avrupa anakarasından kopararak İngiltere, Galler ve İskoçya'yı bir ada haline getirdi.







Bugün iklim değişikliği, deniz seviyelerinde büyük değişikliklere veya iklim kuşaklarının büyük hareketlerine neden olursa, gelecekte farklı hayvan türlerinin daha fazla göçünü görmeyi bekleyebiliriz.


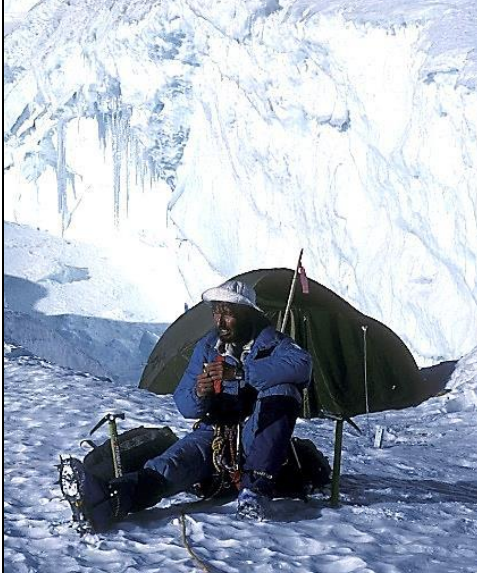


## 7 Dünya'nın sistemi arazi çalışması ve pratik çalışmalarla keşfedildi

Yer bilimciler, Dünya'yı atomik ölçeklerden küresel ölçeklere birçok farklı şekilde araştırırlar. Bunlar, saha çalışması sırasında gözlem ve ölçüm yoluyla veri toplamaktan, uzaktan algılama tekniklerini kullanmaya, laboratuvarında jeolojik süreçleri modellemeden, bunların bilgisayarda modellenmesine ve laboratuvarında yüksek teknoloji gözlem ve ölçüm cihazlarının kullanımından, jeosfer, atmosfer, hidrosfer ve biyosferi içeren küresel izleme programlarını kapsar. Yer bilimciler, Dünya'nın sistemi üzerinde çalışan ve geniş bir uzmanlık yelpazesine sahip olanların tümüdür, bunlardan bazıları Tablo 7.1'de gösterilmiştir.





**Tablo 7.1.** Çok kapsamlı yerbilimi uzmanlıklarından bazıları

Yerbilimi uzmanlıkları	Açıklama	Görsel	Görsel Lokasyonu
<b>İklim bilimcisi</b>	İklim bilimcileri, bir bölgedeki uzun vadeli hava modellerini, genellikle 30 yıldan uzun süreli döngüleri inceler; çalışmaları su, toprak, buz veya sediman karot örneklerinden uydu verilerini kullanmaya kadar uzanıyor.		Buzul verilerini kaydetme, Glacier Ulusal Parkı, Montana, ABD
<b>Mühendislik jeoloğu</b>	Mühendislik jeologları, jeolojik haritalama, sondaj işlemlerini yönetme ve yorumlama, verileri analiz etme ve tavsiye ve rapor hazırlama yoluyla büyük inşaat projelerine katkıda bulunur.		Batı Avustralya'da karot loglanması
<b>Çevre jeoloğu</b>	Çevre jeologları, hammaddelerin çıkarılması veya atık bertarafı sırasında çevreyi izler ve daha sonra sahada ve başka yerlerde toplanan çok çeşitli verileri kullanarak ortamları iyileştirir.		ABD'de terk edilmiş bir maden alanını gözden geçirmek
<b>Arama jeoloğu</b>	Arama jeologları sahada veri toplar ve onu petrol, gaz ve maden yatakları için arama sırasında harita, jeokimyasal, jeofizik ve yeraltı kaya yapılarının haritalanmasındaki sondaj verileriyle ilişkilendirir.		Yeni alınmış sondaj karotunun incelenmesi, Şili





**Tablo 7.1.** Çok kapsamlı yerbilimi uzmanlıklarından bazıları, devam

Yerbilimi uzmanlıkları	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Jeokimyacı</b>	Jeokimyacılar, Dünya'nın jeokimyasal bileşimini atomikten küresel ölçeklere kadar inceler; jeokimya petrol, gaz ve mineral aramalarında ve çevre kirliliğinin izlenmesinde kullanılmaktadır.		Volkanik gazların jeokimyasının incelenmesi, Baker Dağı, Washington, ABD.
<b>Jeomorfolog</b>	Jeomorfologlar, Dünya'nın yüzeyinin nasıl oluştuğunu ve Dünya süreçleri tarafından nasıl değiştirildiğini araştırırlar; hava koşulları, erozyon, nehirler, kıyılar ve buzullaşma ile bağlantılı topografyayı inceliyorlar.		Buzul çalışması, merkezi Rongbuk buzulu, Everest, Nepal
<b>Jeofizikçi</b>	Jeofizikçiler depremleri araştırır ve sismik tehlike değerlendirmeleri gerçekleştirir; petrol, gaz ve mineral arama sırasında toplanan sismik verileri yorumlarlar, saha araştırmaları yaparlar ve Dünya'nın yapısını yüzeiden çekirdeğe incelerler		Barbados açıklarına bir okyanus tabanı sismometresi yerleştiriliyor
<b>Hidrojeolog</b>	Hidrojeologlar sadece su aramak ve su beklentilerini değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda yeraltı sularını kirlilik ve sağlık risklerine karşı izler, sahaların iyileştirilmesinde yer alır ve maden ve taş ocağı su tahliyesi üzerinde çalışır		Almanya'da yeraltı sularından numune alma

**Tablo 7.1.** Çok kapsamlı yerbilimi uzmanlıklarından bazıları, devam

Yerbilimi uzmanlıkları	Açıklama	Görsel	Görsel Lokasyonu
<b>Meteoroloji uzmanı</b>	Meteorologlar, hava durumunu, fiziğini ve kimyasını ölçmek, anlamak, modellemek ve tahmin etmek için çok çeşitli bilimsel yöntemler kullanırlar.		İran'da kar derinliğinin ölçülmesi
<b>Maden jeoloğu</b>	Maden jeologları, bilinen cevher kütlelerini takip etmek ve yenilerini bulmak için jeoloji ve cevher yatakları arasındaki bağlantıları araştırır. Çeşitli anket yöntemleriyle kısa ve uzun vadeli madencilik planları konusunda tavsiyelerde bulunurlar.		Bir madende florit damarı, Peak District, İngiltere
<b>Okyanus bilimci</b>	Oşinograflar biyolojik, kimyasal, jeolojik ve fiziksel uzmanlıkları içerir. Jeolojik oşinograflar, levha tektoniği, okyanus dolaşımı ve iklim değişikliği dahil olmak üzere mevcut ve geçmiş okyanus süreçlerini inceler.		Deniz tabanı izleme ekipmanının kurulması
<b>Paleontolog</b>	Paleontologlar, mikrofosillerden dinazorlara kadar fosil yaşamını inceler, yaşamın evrimini ve bir zamanlar bitki ve hayvanların yaşadığı paleo ortamları inceler; fosiller, kayaları tarihlemek ve ilişkilendirmek ve geçmiş sıcaklıklar ve iklimler hakkında bilgi vermek için kullanılır.		Büyük bir dinazorun uyluk kemiğine sahip paleontolog, Zimbabwe

**Tablo 7.1.** Çok kapsamlı yerbilimi uzmanlıklarından bazıları, devam

Yerbilimi uzmanlıkları	Açıklama	Görsel	Görsel lokasyonu
<b>Araştırma jeoloğu</b>	Araştırma jeologları genellikle üniversitelerde, müzelerde veya devlet dairelerinde çalışır. Üniversite yerbilimcileri, lisans öğrencilerine ders verir, doktora programlarına liderlik eder ve kendi araştırmalarını yayınlar.		Antarktika'daki Fosdick Dağları'ndaki granit yüzleklerinin incelenmesi
<b>Sedimentolog</b>	Sedimentologlar, modern tortulları ve eski tortul kayaların özelliklerini keşfetmek ve onları oluşturan süreçleri anlamak için sahada ve laboratuvarında çalışarak ve fiziksel ve bilgisayar modelleri oluşturarak inceler.		Laboratuvarında sediman tane boyu analizi, Deniz Oşinografi Ofisi, Mississippi, ABD
<b>Toprak bilimcisi</b>	Toprak bilimcileri toprakları sınıflandırır ve haritalandırır, bunların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve üretkenlik özelliklerini sahada ve laboratuvarında test eder; tarım için toprakları yönetirler ve çevresel olarak bozulmuş bölgelerdeki toprağı iyileştirirler.		Bir kuadrat kullanarak toprak örtüsünün incelenmesi, Tucson, Arizona, ABD
<b>Volkanolog</b>	Volkanologlar, aktif yanardağlar da dahil olmak üzere tüm mağmatik süreçleri araştırır, volkanik püskürmeleri, lav akışını ve volkanik gazların salınımını gelecekte nasıl davranabileceklerini anlamak için inceler.		Mutnovsky Yanardağı kraterinde numunelerin test edilmesi, Kamçatka, Doğu Rusya

Yerbilimciler, çalışmalarını sırasında her zaman Jeoetik andına uymalıdır.

### **Kutu 7.1. Jeoetik And**

*Söz veriyorum ...*

- *Toplumsal sonuçların tam olarak farkında olarak yer bilimlerini uygulayacağım ve insanlığın yararına Dünya sisteminin korunması için elimden geleni yapacağım.*
- *Sürdürülebilir kalkınma için topluma, gelecek nesillere ve Dünya'ya karşı sorumluluklarımı anlıyorum.*
- *İşimde, toplumun menfaatini en ön planda tutacağım.*
- *Yer bilimi bilgilerimi asla kötüye kullanmayacağım, kısıtlama veya zorlamaya direneceğim.*
- *Gerektiğinde profesyonel yardım sunmaya her zaman hazır olacağım ve uzmanlığımı karar vericilere sunma konusunda tarafsız olacağım.*
- *Yerbilimi ile ilgili bilgilerimi yaşam boyu geliştirmeye devam edeceğim.*
- *Yetkinliklerimin ve becerilerimin sınırlarının farkında olarak işimde daima entelektüel dürüstlüğü koruyacağım.*
- *Yer bilimlerinde ilerlemeyi, yerbilimleri ile ilişkili bilginin paylaşımını ve jeoetik yaklaşımın yayılmasını teşvik etmek için harekete geçeceğim.*
- *Bir yerbilimci olarak çalışmamda Dünya süreçlerine her zaman tam olarak saygılı olacağım.*

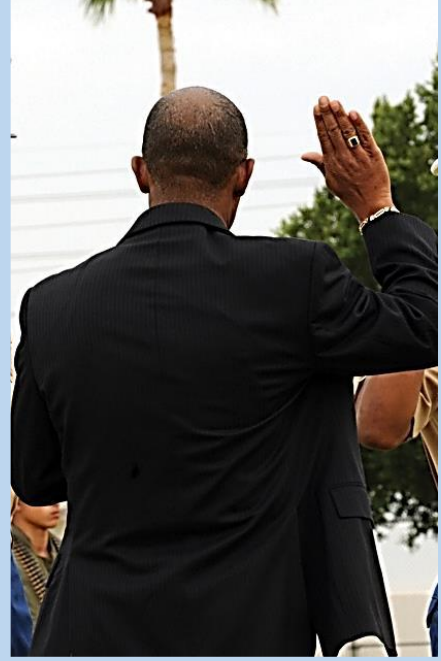
*Söz veriyorum!*

Bu önemli and, yerbilimi çalışan herkes tarafından verilmelidir ve şu şekilde basitleştirilebilir

*And içerim ...*

- *Dünya insanlarını ve tüm Dünya sistemlerini en iyi şekilde korumak için yerbilimi çalışacağım.*
- *Sürdürülebilir kalkınma yoluyla Dünya'yı gelecek için korumaya yardım etmenin benim işim olduğunu anlıyorum.*
- *İşimde tüm insanların ilgisine öncelik vereceğim.*
- *Diğer insanlar ne derse desin veya ne yaparsa yapsın, yerbilimi bilgimi asla kötüye kullanmayacağım.*
- *Yerbilim bilgilerimi yararlı bir şekilde kullanmaya her zaman hazır olacağım ve karar veren insanlara dengeli bir bakış açısı sağlamaya çalışacağım.*
- *Yerbilim bilgilerimi hayatım boyunca geliştireceğim.*
- *Her zaman olabildiğim kadar dürüst olacağım.*
- *Yerbilim çalışmalarını ileriye taşımaya, yerbilimi bilgilerini paylaşmaya ve herkesin jeoetik olarak davranmasına yardımcı olmaya çalışacağım.*
- *Yerbilim araştırmalarımnda her zaman Dünya süreçlerine saygı duyacağım.*

*And içiyorum*







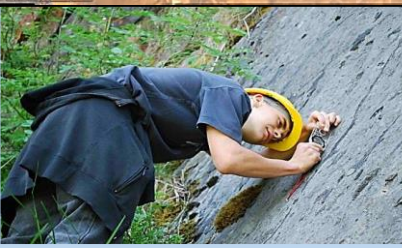
Yerbilimciler eğitimlerinde ve profesyonel yaşamları boyunca çevreyi gözlemlemek, ölçmek ve izlemek, çevrenin bugün ve jeolojik geçmişte nasıl çalıştığını açıklamak ve jeolojik soru ve sorunları araştırmak için gözlemlerini bir araya getirmek için çok çeşitli beceriler kullanırlar.

Saha çalışması, yalnızca riskler dikkatli bir şekilde değerlendirildiğinde, sağlık ve güvenlik ve jeolojik davranış kuralları izlenerek yapılmalıdır. Tüm bu alanlarla ilgili detaylar internette ücretsiz olarak mevcuttur.


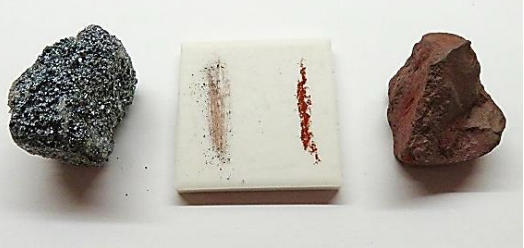
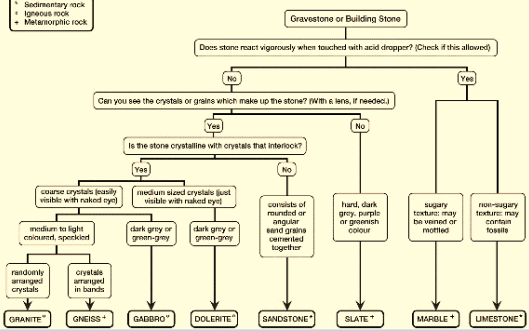
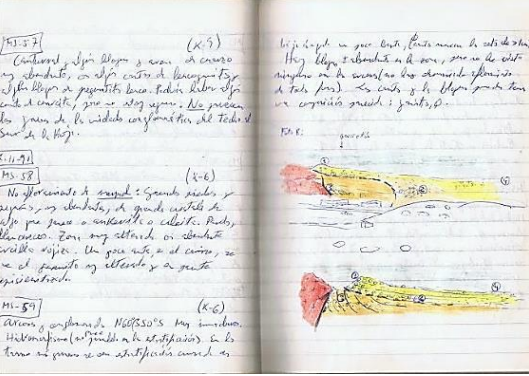
## 7.1 Gözlem, ölçüm ve kayıt

Yerbilimsel gözlem, ölçüm ve kayıt mikroskobik boyuttan peyzaj ölçeğine ve daha büyük ölçeğe kadar çeşitli ölçeklerde gerçekleştirilir. Kullanılan yöntemlerin çoğu Tablo 7.2'de gösterilmektedir.

**Tablo 7.2.** Çevreyi gözlemlemek ve kaydetmek için kullanılan yöntemler, yerbilimsel özelliklerin kaydedilme yöntemleri.

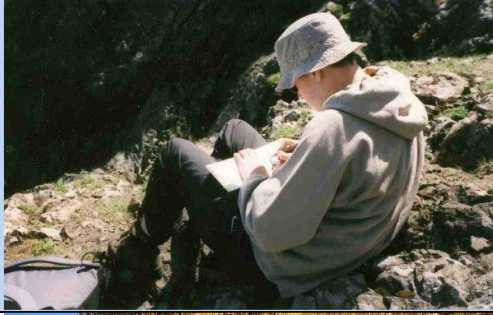
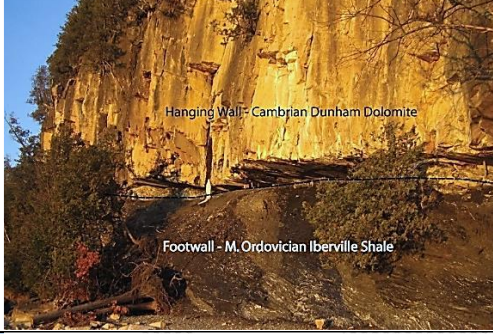
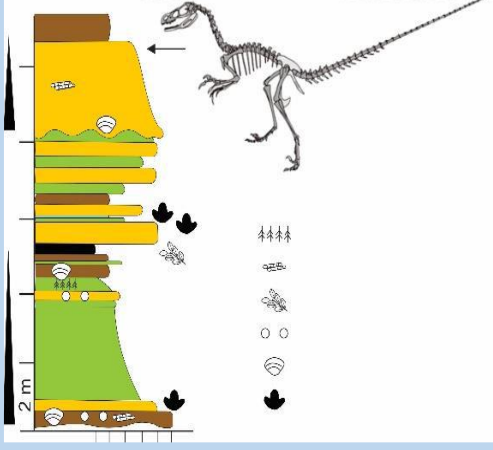

Metod	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Mikroskobik gözlem</b>	Yerküre malzemelerini yakından incelemek için tek bir mercekle veya binoküler mikroskop kullanmak.		Mikroskobik elmasların gözlemlenmesi, Svaziland
<b>Lupla inceleme</b>	Laboratuvarda veya sahada bir el merceği kullanmak için, gözünüzün yakınına koyun ve en iyi görüntüyü elde etmek için malzemeyi yaklaştırın.		Lup ile bir fosili incelemek
<b>Arazi gözlemi</b>	Jeolojik haritalamaya yardımcı olarak arazi gözlemlemek, eğim ve bitki örtüsü değişikliklerinin kırılmalarına ve açılara odaklanmak.		İngiltere, Yorkshire Dales'de arazi gözlemi
<b>Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak gözlem yapma</b>	Jeolojik özellikler CBS, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile incelenebilir.		Cezayir çölündeki kıvrımlanmış kaya dizilerinin uydu görüntüsü
<b>Saha ve laboratuvar ölçümleri</b>	Eğimli bir tabakanın eğim açısı ve doğrultusunun ölçülmesi; eğim açısı, 0-90° arasında en büyük eğimin açısını vermek için bir klinometre kullanılarak ölçülür; eğim yönü, aşağı doğru en büyük eğimin yönüdür ve pusula üzerinde 0-360° arasında açı ile gösterilir.		Birleşik Krallık'ta bir tabakanın eğiminin ölçülmesi

**Tablo 7.2.** Çevreyi gözlemlemek ve kaydetmek için kullanılan yöntemler, yerbilimsel özelliklerin kaydedilme yöntemleri, devam





Metod	Açıklama	Görsel	Lokasyon
Saha ve laboratuvar ölçümü, devam	Tabaka kalınlıklarındaki farklılıkların ölçülmesi.		Galler'deki Aberystwyth Grits'te tabaka kalınlıklarının ölçülmesi
Saha ve laboratuvar testleri	Kayalar ve mineraller laboratuvarda ve sahada bir dizi özellik için test edilebilir		Hematit örneklerinin çizgisi
Sınıflandırma sistemleri uygulaması	Mineraller, kayalar, fosiller, kaya dokuları, kaya yapıları, kaya kompozisyonları vb. Sınıflandırma sistemleri, kaynak kitaplarla birlikte kılavuz olarak kullanılabilir.		Yer Bilimi Eğitim Birimi kayaç tanımlama anahtarı
notlar	Jeolojik özelliklerin notları, tarih, ziyaret edilen yerler, bulunan özellikler ve yönelimlerinin ayrıntıları not defterlerinde veya tabletlerde dikkatlice kaydedilir.		Jeoloji saha notları



**Tablo 7.2.** Çevreyi gözlemlemek ve kaydetmek için kullanılan yöntemler, yerbilimsel özelliklerin kaydedilme yöntemleri, devam

Metod	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Laboratuvarda ve sahada diyagramlarla kayıt</b>	Diyagramlar ölçeğe göre çizilir ve etiketlenir ve bunların yerleri ve yönleri not edilir.		Galler'deki Strumble Head'de bir arazi kesiti çizmek
<b>Fotoğrafik kayıt</b>	Fotoğraflar, özellikle açıklamalı veya saha diyagramları eşliğinde değerli kayıtlar yapılıır.		Açıklamalı fotoğraf - Champlain Bindirmesi, Lone Rock Point, Burlington, Vermont, ABD
<b>Grafik log (kesit) çizme</b>	Grafik veya stratigrafik loglar düşey ölçeğe göre çizilir, tane boyutu logun yatay ekseninde ölçeklendirilir. tortul kayaç türlerini renk veya gölgelendirme ile, tortul yapılar veya fosil zonları gibi diğer özelliklerde log eklenir.		Japonya, Katsuyama Şehri yakınlarındaki Alt Kretase fosil zengini Kitadani formasyonunun stratigrafik loğu (kesiti)
<b>Meteorolojik gözlem</b>	Stevenson Screen'de düzenli ölçümler yapılır		Stevenson, sağda bir yağmur ölçer ile hava durumu aletlerini koruyan ekran




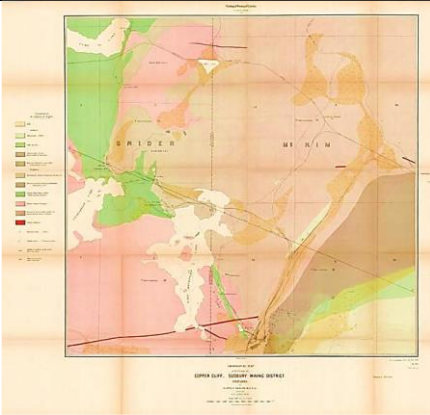

**Tablo 7.2.** Çevreyi gözlemek ve kaydetmek için kullanılan yöntemler, yerbilimsel özelliklerin kaydedilme yöntemleri devam.

Metod	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Hava kalitesi örnekleme</b>	Özellikle kasaba ve şehir bölgelerinde hava kalitesi izlenir.		Fransa'da hava kalitesi örnekleme
<b>Toprak çukurları kazma</b>	Topraktaki yatay tabakalardan geçen toprak profilleri çukurlar kazılarak incelenir.		Karpat eteklerinde toprak çukuru, Polonya
<b>Su kalite örnekleme</b>	Su, bir dizi test ile kalitesi için izlenir.		Su kalitesi testi, Port Macquarie, New South Wales, Avustralya
<b>Oşinografik örnekleme</b>	Denizde çok çeşitli cihazlar kullanılarak düzenli ölçümler yapılır.		Avustralya açıklarındaki okyanustaki su sütununu örnekleme

## 7.2 Gözlemlerin sentezi

Saha gözlemleri toplandıkça, bunlar Tablo 7.3'te gösterildiği gibi çalışılmakta olan jeolojik sürecin, tarihin veya mekansal dağılımın esnek modellerinde bir araya getirilir. Bu resimler, gözlemcinin başka hangi gözlemlere ihtiyaç olduğunu ve bunları en iyi nasıl toplayacağını bilmesine yardımcı olmak için bir araya getirilir.

**Tablo 7.3.** Jeoloji gözlemlerini modellere ve haritalara yerleştirilmesi

Metod	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Paleo ortamsal yorumlama</b>	Yer bilimciler, sedimanter kayalarda gözlemledikleri ipuçlarını, sedimanların depolandığında bölgenin nasıl olduğuna dair bir resim oluşturmak için kullanırlar.		Jurassic diorama Smithsonian Doğa Tarihi Müzesi, Washington DC, ABD
<b>Magmatik bir kayanın soğuma geçişi</b>	Ayrık büyük kristallere sahip magmatik kayalarda, bu iri kristaller daha soğuk bir alana taşınmadan ve ince taneli bir matriksi oluşturan hızlı soğumadan önce oluşmuştur.		İnce taneli bir magmatik kayanın içinde büyük feldispat kristalleri - iki aşamalı soğumayı gösteriyor, Porto, Portekiz
<b>Jeolojik tarihçe oluşturmak</b>	Burada alttaki çökeltiler depolandı, kayalar haline getirildi ve ardından bir dağ oluşumu hareketiyle dikey olarak eğildi; erozyondan sonra, eğimli kayalar eğilmeden ve kendilerini aşındırmadan önce yatay bir şekilde üstüne depolandı.		James Hutton tarafından İskoçya'daki Siccar Noktasında keşfedilen uyumsuzluk (turuncu çizgi ile işaretlenmiştir)
<b>Jeolojik harita çizme</b>	Kaya yüzleklerinin, drenaj desenlerinin ve jeolojik sınırlarını işaretleyen eğimdeki değişikliklerin yüzey gözlemleri bir jeolojik haritanın çizilmesinde bir araya getirilir - tüm üstteki toprak kaldırıldıysa, bölgedeki kayaların kuşbakışı görünümü.		Copper Cliff bölgesinin jeolojik haritası, Sudbury Mining District, Ontario, Kanada
<b>Jeolojik kesit oluşturmak.</b>	Enine bir kesit yeraltı jeolojik yapısını gösterir.		Yukarıdaki Copper Cliff haritasının enine kesiti

**Tablo 7.3.** Jeoloji gözlemlerinin modellere ve haritalara yerleştirilmesi

Metod	Açıklama	Görsel	Lokasyon
<b>Toprak haritası çizme</b>	Toprak bilimcileri, yüzey topraklarını özelliklerine göre haritalandırır; tarımsal planlamada toprak haritaları kullanılmaktadır.		Timor adasının toprak haritası
<b>Kirlilik haritası çizme</b>	Hidrojeologlar yeraltı suyu kirliliğini haritalandırır.		Senegal'deki Cap-Vert Yarımadası'ndaki yeraltı sularının nitrat kirliliğinin haritası

### 7.3 Araştırma ve hipotez test etme

Yer bilimciler, yer bilimsel soruları yanıtlamak için kanıt arayan araştırmalar yaparlar.

- İlk olarak, cevaplanması gereken bir soru veya test edilmesi gereken bir hipotez veya fikir verilir veya kendileri için tanımlarlar.
- Bir sonraki aşama, hipotezi araştırmak veya fikri test etmek için bir plan oluşturmaktır; bu, erken sonuçlar beklenmiyorsa veya yardımcı olmayan bilgiler veriyorsa, araştırma sırasında değiştirilebilecek kadar esnek olacaktır.
- Bir risk değerlendirme süreci yürütülür ve not edilir.
- Daha sonra fazla bilgi toplandıkça değişen ve gelişen bir plan gerçekleştirilir
- Veriler toplandıkça, örneğin haritalama, kesitleri çizme, hesaplama yapma, verileri farklı yollarla çizme veya fiziksel modeller, bilgisayar modelleri ve matematiksel modeller de dahil olmak üzere modeller inşa etme gibi, onlar farklı şekillerde işlenir.
- Sonuçlar toplandıkça, asıl soruya yanıt olarak genel bir resim oluşturmak, önemli olabilecek veya olmayabilecek olağandışı bilgileri tespit etmek ve daha fazla verinin toplanmasına rehberlik etmek için değerlendirilirler.
- Bu süreç sırasında, sonuçların bilgiye ihtiyacı olanlara raporlar, sunumlar ve akademik yayınlar dahil bir dizi yöntemle aktarılması gerekir.

Tüm bunlar başarılı olduğunda, sonuçlar açıkça araştırmanın sonucunu gösterir, sorulara cevaplar önerilmiş ve hipotezler ve fikirler başarıyla test edilmiştir veya kanıt eksikliği nedeniyle hiçbir sonuç mümkün olmamıştır.

#### **Kutu 7.2.** Jeolojik haritalama incelemeleri.

"Jeolojik oluşumlar ve aralarındaki sınırlar bu alanda nerede ortaya çıkıyor?" Sorusuna yanıt olarak bir jeolog jeolojik bir harita oluşturur. Jeolojik haritalar, tüm toprak, bina ve diğer üstteki malzemelerin kaldırılması halinde, jeolojik oluşumlar arasındaki sınırların nerede görüleceğini gösteren bir alanın plan görünümüdür (yukarıdan görünüm).

Jeolojik haritalar karmaşıktır, çünkü formasyonlar arasındaki sınırlar önce belirlenmeli ve daha sonra konumları topografyanın rölyefi dikkate alınarak topografik haritalara çizilmelidir. Bunu yapmak için, jeologların her zaman, eğimleri ölçerek, hava veya uydu fotoğrafları veya Küresel Konumlandırma Sistemlerini (GPS) kullanarak topografik harita üzerinde tam olarak nerede olduklarını bilmeleri gerekir.

### **Kutu 7.2.** Jeolojik haritalama incelemeleri.

Jeolojik bir sınırı gösteren bir çizgi, iki oluşum arasındaki fark açıksa, sınır belirgin ise ve sınır dikeye yakınsa harita üzerinde çizmek oldukça kolaydır. Sınırların yataya yakın olduğu yerlerde, sınırın şekli, zeminin şekli (topografya) tarafından yakından kontrol edilir ve bu nedenle karmaşık olabilir.

Jeologlar, arazide topografik taban haritalar üzerinde haritalar çizerler. İlk olarak haritalamak istedikleri sınırı belirlerler, ardından yönleri, fotoğrafları veya GPS sistemlerini kullanarak sınırın konumunu temel haritalar üzerinde çizerler.

Daha sonra sınırı, kayanın eğimini ve diğer bilgileri takip ederek sınır konumunu çizerler. Sınır toprak altında kaybolduğunda, sınır için en olası yolu bulmalarına yardımcı olmak için eğim değişiklikleri, bitki örtüsü, drenaj veya toprak rengindeki değişiklikler veya hayvanların oyulmasıyla kazılan kayaç parçaları gibi yüzey özelliklerini kullanırlar. Sınır tekrar açığa çıktığında, "özellik haritalamasını" gerektiği gibi ayarlayabilirler. Çizilen jeolojik sınırlar, formasyon sınırlarını, fayları ve faylarla sınırların atımlarını ve uyumsuzluklar veya intrüzyonların (mağma sokulumu) sınırları gibi diğer özellikleri kapsar; fay hareket yönleri de kaydedilir.

Jeologlar haritalama yaparken, herhangi bir tabaka düzleminin eğim ve eğim yönleri kaydedilir ve çizilir, çünkü bunlar, örneğin eğimli kayaların, antiklinallerin, senklinallerin ve fayların nerede bulunduğunu göstererek, dizinin yapısal geçmişine bir kılavuz sağlar.



Gri kumtaşı ve ince taneli soluk granit arasındaki jeolojik sınır, Sea Point, Cape Town, Güney Afrika



Sağdaki bir sillin sert magmatik kayaları ile soldaki daha zayıf tortul kayaçlar arasındaki jeolojik sınırdaki eğimde büyük bir değişiklik, Kuzey İngiltere'deki Hadrian Duvarı

### **Kutu 7.3.** Elmas araştırma incelemesi

Elmaslar, normalde dikey volkanik bacalarda bulunan, ancak aynı zamanda dayklar ve silller oluşturabilen kimberlit adı verilen volkanik kayalarda bulunur. Elmaslar kimberlitlerde nadirdir; Granat gibi diğer kimberlitik mineraller çok daha yaygındır, bu nedenle araştırmacılar elmas değil kimberlitik granat ararlar.

Güney Afrika'nın bir bölgesinden akarsu ve toprak örnekleme sonrası, kimberlitik mineraller ve üç mikroskobik elmas bakımından zengin, yaklaşık 1 km uzunluğunda dar bir Kuzey-Güney yönelimli toprak alanı keşfedildi. Çalışma hipotezi, bunların Kuzey-Güney gidişli elmas içeren bir kimberlit daykından gelmesi gerektiği şeklindedir. Böylece, dayk aramak için bir dizi Doğu-Batı yönlü yarma Jura yaşlı anakayasına kadar kazıldı, ancak dayk bulunamadı.

Jura dönemine ait ana kaya, bazı çamurtaşı tabakaları içeren büyük ölçüde kumtaşı idi ve batıya doğru eğilimliydi. Kimberlitik granatlar ve bazı elmaslar bakımından zengin olan bir çamurtaşı yatağıydı ve çamurtaşının Kuzey-Güney yüzleği granatlı toprak bölgesini oluşturmuştu. Bu çok sıra dışı bir durumdur: Daha önce Afrika'daki eski tortul kayaların büyük miktarlarda kimberlitik mineral ve elmas içerdiği keşfedilmemişti.

Ardından soruşturmanın iki yönde ilerlemesi gerekiyordu. Madencilik için de elmas açısından yeterince zengin olup olmadığını keşfetmek için maden yatağının test edilmesi gerekiyordu. Bu arada, elmasların orijinal kaynağını bulmak için de maden araştırması devam etmeliydi ve bunun da madencilik yapılabileceğini umuyordu.

Jura döneminde kumtaşlarını çökeltken nehrin Batı'dan aktığını gösteren kumtaşının çapraz tabakalanmasında ölçümler yapılmıştır. Bu iyi bir haberdi çünkü minerallerin ve elmasların orijinal kaynağı bir kimberlit bacası olsaydı, yine de açığa çıkabilirdi. Kaynak Doğu'da olsaydı, Jura kumtaşlarının altına daha fazla gömülmüş olurdu; Güneyde veya Kuzeyde olsaydı, o da gömülmüş olabilirdi.

Böylece Batı'ya daha kapsamlı bir dere ve toprak örnekleme programı uygulandı ve sonunda granat bakımından zengin dairesel bir toprak alanı bulundu. Bu kazıldığında, çıkarılacak elmas bakımından yeterince zengin bir kimberlit olduğu bulundu. Maden, elmasları on beş yıldan fazla bir süre başarıyla işledi.

Bu arada, orijinal yatağın, o sırada mevcut olan elmas fiyatlarında madencilik için de elmas içermediği, ancak gelecekte hala işlenebileceği tespit edildi.



Ana kayaya hendek kazmak (modern sağlık ve güvenlik düzenlemelerinden önce)



Elmasca zengin çamurtaşı tabakası



Batı'dan eski nehrin akışını gösteren çapraz tabakalı Jura kumtaşı (solda)

## İndeks

Bu terimlerin her biri, ilk görüldükleri yerde veya yakınında **kalın** olarak gösterilmiş ve ardından metinde tanımlanmıştır. Terimin ilk kullanımını ve oradaki tanımını bulmak için lütfen "bulucunuzu" kullanın.

Açık kıvrım	Gözeneklilik	Permafrost
Açık Sistem	Güneş tutulması	Pişmiş kenar
Ada yayı	Heyelan	Plüton
Afetler	Hidrosfer	Plütonik kayaç
Agrega	İlkbahar	Pozitif geribeslenme
Akan kuyu	İntrusif volkanik kaya	Radyoaktif bozunma eğrisi
Akifer	İşlem	Radyometrik tarihlendirme
Albedo	İyileştirme	Sedimanter kayaçlar
Alçak basınç	İz fosili	Senklinal
Antiklinal	İzoklinal kıvrım	Sera durumu
Artezyen suyu	Jeosfer	Sera etkisi
Asteroid	Kalış süresi	Sıkı kıvrım
Atmosfer	Kapalı sistem	Sıkıştırma
Ay Tutulması	Karbon yakalama	Sınırlı akifer
Ayrışma	Kartopu Dünya	Sırt itme mekanizması
Batolit	Kayaç	Sızıntı suyu
Bindirme fayı	Kısa karbon döngüsü	Sill
Biyosfer	Kısmi ergime	Sismik dalgalar
Bölgesel metamorfizma	Kıtaların kayması teorisi	Sismometre
Buharlaştırma	Kıvrım	Sistem
Bulutlu hipotezi	Kıvrım eksenli	Spring gelgit
Buzlu durumu	Kıvrım kanadı	Su döngüsü
Büyük patlama (teori)	Kirletici	Su tablası
Çatlak	Kitlesel yok oluş	Sulu kar Dünya
Çimentolanma	Konservatif plaka kenarı	Süper kıta döngüsü
Dağ kökleri	Korelasyon	Sürdürülebilir gelişme
Dayk	Kuvvetlendirilmiş sera	Süzülme
Deniz tabanı yayılma teorisi	Kuyruklu yıldız	Tabaka
Diverjan levhe kenarı	Kuyu	Terleme
Doğal afetler (bkz. Afetler)	Laminasyon	Termal metamorfizma
Doğal seçilim	Levha çekme mekanizması	Ters fay
Doğrultu atımlı fay	Levha tektoniği teorisi	Ters manyetik polarite
Doymuş bölge	Litifikasyon	Toprak
Dönüm noktası	Litosfer	Toprak kayması
Ekstrüfif volkanik kayaç	Magma	Transform faylar
Erozyon	Mağma odası	Ürün
Etki	Manto konveksiyonu	Volkanik baca
Fay	Mekanizma	Volkanik kaya
Fay düzlemi	Merkez üssü	Volkanik kayaç
Fosil	Negatif geribesleme	Volkanik tıkaç
Geçirgenlik	Normal fay	Vücut fosili
Geçirimsiz	Normal manyetik polarite	Wilson döngüsü (veya J. Tuzo
Geri beslenme	Odak	Wilson döngüsü)
Göreceli tarihlendirme	Önceden tedbir (Mitigation)	

## Elementler, bileşikler ve iyonlar sözlüğü

Elementler	Bileşikler	İyonlar
Al - alüminyum	CaO - kalsiyum oksit, kireç	Cl <sup>-</sup> - klor iyonu
Au - altın	Ca(OH) <sub>2</sub> - kalsiyum hidoksit, kireç	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - hidrojen karbonat iyonu
Ca - kalsiyum	CaCO <sub>3</sub> - kalsiyum karbonat, kalsit	K <sup>+</sup> - potasyum iyonu
Cl - klor	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O - kalsiyum sulfat, jips	Mg <sup>2+</sup> - magnezyum iyonu
Fe - Demir	CH <sub>4</sub> - metan gazı	Na <sup>+</sup> - sodyum iyonu
H - hidrojen	CO <sub>2</sub> - karbon dioksit gazı	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - sulfat iyonu
K - potasyum	CuFeS <sub>2</sub> - bakır demir pirit, kalkopirit	
Mg - magnezyum	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - demir oksit, hematit	
Na - sodyum	FeS - demir sulfid, pirit	
O - oksijen	KCl - potasyum klorit, silvin	
Pb - kurşun	NaCl - sodyum klorit, halit	
S - kükürt	PbS - kurşun sulfid, galenit	
	SiO <sub>2</sub> - silisyum dioksit, kuvars	



## Ek

Uluslararası Yerbilimleri Müfredatı,

16 yaşına kadar tüm öğrencilerin karşılaşacağı

Uluslararası Jeoloji Eğitimi Örgütü (IGEO) ve Uluslararası Jeoloji Bilimleri Birliği adına iç rapor olarak hazırlanmıştır.

Yerbilimi Eğitimi Komisyonu (IUGS-COGE) tarafından:

Chris King - Birleşik Krallık

Aşağıdakilerden önemli katkılarla:

Ian Clark - Avustralya

Rosely Imbernon - Brezilya

Luis Marques - Portekiz

Ian McKay - Güney Afrika

Bronte Nichols - Avustralya

Glenn Vallender - Yeni Zelanda

Clara Vasconcelos - Portekiz

Ashvin Wickramasooriya - Sri Lanka

Michael Wyssession - Amerika Birleşik Devletleri

## 16 yaşına kadar tüm öğrencileri için hazırlanan Uluslararası Yerbilimi Müfredatı

Bu ders programı Uluslararası Yerbilimi Eğitimi Örgütü (IGEO) ve Uluslararası Jeolojik Bilimler Birliği Yerbilimi Eğitimi Komisyonu (IUGS-COGE) tarafından hazırlanmıştır.

Müfredat aşağıdaki ilkelere dayanmaktadır:

- mevcut müfredata dayalı bir ders programı büyük olasılıkla global olarak kabul edildiğinden, dünya çapında var olan müfredata dayanmaktadır - mevcut müfredatların kapsam matrisi 7. sayfada başlamaktadır;
- Bu tür bir yapı mevcut birçok müfredatta kolayca görülmesine de, Uluslararası ders programının yapısı, açıkça belirgindir;
- Özlü bir müfredatın yerbilimleri eğitmeni olmayan eğitmenleri ve öğretmenleri tarafından kabul edilebilir olma olasılığı daha yüksek olduğundan, müfredat tek bir sayfada kısaca sunulmuştur; Kapsamın boyutunu belirtmek için aşağıdaki sayfalarda örneklerle daha fazla ayrıntı sağlanmıştır, ancak ayrıntıların ülkeden ülkeye değişmesi beklenmektedir;
- Müfredat ilerlemeyi göstermeyi amaçlamaz

## 16 yaşına kadar tüm öğrencileri için hazırlanan Uluslararası Yerbilimi Müfredatı- çekirdek müfredat

16 yaşına kadar, öğrenciler aşağıdaki konularda bir anlayış geliştirmelidirler

<p><b>Değişen bir sistem olarak Dünya</b></p> <p>Öznitellikler. enerjiye açık, neredeyse maddeye kapalı, zamanla değişen, güneş sistemi içinde jeosfer, hidrosfer, atmosfer, biyosferden oluşan</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Etkileşimler, jeosfer, hidrosfer, atmosfer, biyosfer etkileşimi</li><li>• Geri bildirim. olumlu ve olumsuz</li><li>• Süreçler ve ürünler. su döngüsü, kaya döngüsü, karbon döngüsü</li><li>• Enerji kaynakları. güneş, içsel</li></ul> <p><b>Dünya, evrenin içinde güneş sistemi içinde bir sistemdir</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kökenler. büyük patlama; tozdan birikme; yıldızlar; gezegenler</li><li>• Güneş. sadece harici enerji kaynağı; dalgalanmalar</li><li>• Rotasyonel etkiler. gece / gündüz, mevsimler, Ayın evreleri, tutulmalar</li></ul> <p><b>Dünya zamanla değişen bir sistemdir</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Jeolojik zaman aralığı büyük olaylar, göreceli ve mutlak tarihleme yöntemleri, işlem oranları</li></ul> <p><b>Dünya'nın sistemi etkileşim halindeki kürelerden oluşur – - jeosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Toprak malzemeleri ve özellikleri. mineraller, fosiller, tortul, magmatik ve metamorfik kayalar, toprak</li><li>• Toprak süreçleri ve korunan özellikler. yüzey süreçleri, tortul, magmatik ve metamorfik süreçler, deformasyon (AW)</li><li>• Dünyanın Yapısı ve kanıt. kabuk, manto, çekirdek, litosfer</li><li>• Levha tektoniği ve kanıtlar. birleştirici teori, plaka yapımı ve yitim, plaka kenarlarının özellikleri, mekanizma, hareket hızları; kanıt –</li></ul> <p><b>Hidrosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kıta suyu. konum, hareket süreçleri, kullanımlar</li><li>• Okyanus suyu. kompozisyon, hareket süreçleri</li></ul>	<p><b>Atmosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kompozisyon. evrim, mevcut kompozisyon</li><li>• Akış. hareket süreçleri</li><li>• Değişiklik. sera etkisi, gezegensel etkiler, insan etkisi, deniz seviyesi üzerindeki etki –</li></ul> <p><b>Biyosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Evrim. doğal seleksiyon, fosil kanıtı, kitlesel yok oluş</li><li>• Diğer sistemler üzerindeki etkisi. Dünya sistemlerinde biyosferin rolü</li></ul> <p><b>Dünya'nın sistemi kaynakları üretir</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Hammaddeler ve fosil yakıtlar. doğal olarak konsantre, yenilenemez, kullanımlar, dikkatli yönetime ihtiyaç duyar (sürdürülebilir kalkınma), potansiyel olarak kirlenici</li><li>• Yenilenebilir enerji. sorunlar İnsan / Dünya sistemi etkileşimleri</li><li>• Doğal tehlikeler. insan etkisi, tahmin, azaltma</li><li>• Çevre sorunları. yerelden küresele, azaltma</li><li>• İnsanlık tarihine etkisi. kaynak savaşları; iklim değişikliğine bağlı göç</li></ul> <p><b>Dünya'nın sistemi, saha çalışması ve pratik çalışmalar yoluyla keşfedilir</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gözlem gözlem, ölçümü ve kaydı</li><li>• Gözlemlerin sentezi yorumlama</li><li>• Araştırma ve hipotez testi. Planlar tasarlamak ve uygulamak, verileri işlemek, sonuç çıkarmak, sonuçları değerlendirmek ve bulguları iletmek</li></ul>
---	---

**16 yaşına kadar tüm öğrencileri için hazırlanan Uluslararası Yerbilimi Müfredatı- örneklendirilmiş çekirdek müfredat**

<p>16 yaşına kadar, öğrenciler aşağıdaki konularda bir anlayış geliştirmelidirler</p> <p><b>Değişen bir sistem olarak Dünya</b></p> <p>Öznitellikler. enerjiye açık, neredeyse maddeye kapalı, zamanla değişen, güneş sistemi içinde jeosfer, hidrosfer, atmosfer, biyosferden oluşan</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Etkileşimler, jeosfer, hidrosfer, atmosfer, biyosfer etkileşimi</li><li>• Geri bildirim. pozitif ve negatif</li><li>• Süreçler ve ürünler. su döngüsü, kaya döngüsü, karbon döngüsü</li><li>• Enerji kaynakları. güneş, içsel</li></ul> <p><b>Dünya, evrenin içinde güneş sistemi içinde bir sistemdir</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kökenler. büyük patlama; tozdan birikme; yıldızlar; gezegenler</li><li>• Güneş. sadece harici enerji kaynağı; dalgalanmalar</li><li>• Rotasyonel etkiler. gece / gündüz, mevsimler, Ayın evreleri, tutulmalar</li></ul> <p><b>Dünya zamanla değişen bir sistemdir</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Jeolojik zaman aralığı büyük olaylar, göreceli ve mutlak tarihleme yöntemleri, işlem oranları</li></ul>	<p><b>Kapsama boyutunu belirtmek için çekirdeğin örneklendirilmesi (bunun ülkeden ülkeye değişeceği tahmin edilmektedir)</b></p> <p>litosfer / hidrosfer etkileşimi kıyı süreçlerine neden olur; hidrosfer / atmosfer etkileşimi dalgalara ve atmosferik ısınmaya neden olur; atmosfer / biyosfer etkileşimi bitki örtüsünü iklimsel olarak kontrol eder; litosfer / biyosfer etkileşimi toprak kalitesini etkiler; oranlar hızlıdan yavaşına değişir</p> <p>–Pozitif artan kutup buz tabakaları alanı güneş enerjisinin daha fazla yansımaları sağlar, daha fazla soğutma sağlar, kutup buz tabakalarının alanını artırır; negatif - atmosfere ne kadar fazla karbondioksit salınırsa, okyanuslarda o kadar çok emilir, suyun benzersiz özellikleri, buharlaşma, terleme, yoğunlaşma, yağış; aşınma / erozyon, sedimantasyon, metamorfizma, erime, magmatik aktivite; fotosentez, solunum, kireçtaşı / fosil yakıtı olarak gömme, radyoaktiviteden iç enerjiyi ve Dünya'nın oluşumundan gelen enerjiyi yakarak / yıpratılarak salıverme</p> <p>su döngüsünü ve hava durumunu yönlendiren güneş enerjisi; İklim değişikliğine bağlı olarak Güneş'ten gelen uzun vadeli enerji dalgalanmaları</p> <p>önemli olaylar: 4,6 milyar yıl - Dünya'nın oluşumu; 3,6 milyar yıl - erken yaşam; 550 milyon yıl - sert parçalara sahip hayvanlar; 250 milyon yıl - trilobitler dahil olmak üzere büyük yok oluş; 65 milyon yıl - dinazorlar da dahil olmak üzere büyük yok oluş; 1milyon yıl buz çağı; tarihleme ilkeleri: süperpozisyon, kesme kesilme ilişkisi, fosil korelasyonu; radyometrik tarihleme; süreçler, süreklilikten felakete doğru bir frekans-büyükölçek spektrumunda meydana gelir</p>
--	---

<p><b>Dünya'nın sistemi etkileşim halindeki kürelerden oluşur –</b></p> <p><b>- Jeosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toprak malzemeleri ve özellikleri. mineraller, fosiller, tortul, magmatik ve metamorfik kayalar, toprak</li> <li>• Toprak süreçleri ve korunan özellikler. yüzey süreçleri, tortul, magmatik ve metamorfik süreçler, deformasyon (AW)</li> <li>• Dünyanın Yapısı ve kanıt. kabuk, manto, çekirdek, litosfer</li> <li>• Levha tektoniği ve kanıtlar. birleştirici teori, plaka yapımı ve yitim, plaka kenarlarının özellikleri, mekanizma, hareket hızları; kanıt –</li> </ul> <p><b>Hidrosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kıta suyu. konum, hareket süreçleri, kullanımlar</li> <li>• Okyanus suyu. kompozisyon, hareket süreçleri</li> </ul> <p><b>Atmosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompozisyon. evrim, mevcut kompozisyon</li> <li>• Akış. hareket süreçleri</li> <li>• Değişiklik. sera etkisi, gezegensel etkiler, insan etkisi, deniz seviyesi üzerindeki etki –</li> </ul>	<p>tanımlar: mineral, fosil, kaya, tortul kaya, magmatik kaya, metamorfik kaya, toprak; kuvars, feldispat, mika granat, kalsit, halit, alçıtaşı, pirit, galen gibi mineraller; fosiller: trilobit, ammonit, dinazor; gömülme, yer değiştirme, kalıplar ve moldlar, fosiller izini içeren fosilleşme süreçleri; kaya dokusu, gözeneklilik, geçirgenlik; kalker, tebeşir, çakıltası, kumtaşı, kil, şist, kaya tuzu dahil tortul kayalar; aşağıdakileri içeren tortul özellikler: katmanlaşma (tabakalanma), çapraz tabakalanma, dalgalanma işaretleri; magmatik kayalar: granit, bazalt, andezit, gabro, volkanik kül; metamorfik kayalar: kayrak, şist, gnays, mermer, meta-kuvarsit (kuvarsit) ayrışma (fiziksel / kimyasal), erozyon, taşıma, biriktirme, taşlaşma, metamorfizma, sokulum, ekstrüzyon, kıvrımlanma, faylanma, çatlaklanma</p> <p>Sismik belirtiler</p> <p>yapıcı, yıkıcı ve muhafazakar levha kenarlar; geçmiş ve şimdiki kanıt</p> <p>yüzey suyu, yeraltı suyu, buzullar / buzullar; sızma, yokuş aşağı akış; su kaynakları yönetimi</p> <p>tuzluluk; rüzgarın neden olduğu yüzey akışı ve dalgalar; sıcaklık ve tuzluluktan kaynaklanan yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan derin akış erken</p> <p>volkanik aktivite ile gaz çıkışı; nitrojen, oksijen, su buharı ve karbondioksit içeren eser gazlar</p> <p>Dünyanın eşit olmayan ısınması, sıcaklığın neden olduğu yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan akış, okyanus ısı kaynağı</p> <p>farklı zaman aralıklarında sıcaklık grafikleri; sıcaklık değişimi ve deniz seviyesi arasındaki bağlantı</p>
---	---

<p><b>Biyosfer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evrim. doğal seleksiyon, fosil kanıtı, kitlesel yok oluş</li> <li>• Diğer sistemler üzerindeki etkisi. Dünya sistemlerinde biyosferin rolü</li> </ul> <p><b>Dünya'nın sistemi kaynakları üretir</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammaddeler ve fosil yakıtlar. doğal olarak konsantre, yenilenemez, kullanımlar, dikkatli yönetime ihtiyaç duyar (sürdürülebilir kalkınma), potansiyel olarak kirlletici</li> <li>• Yenilenebilir enerji. sorunlar İnsan / Dünya sistemi etkileşimleri</li> <li>• Doğal tehlikeler. insan etkisi, tahmin, azaltma</li> <li>• Çevre sorunları. yerelden küresele, azaltma</li> <li>•İnsanlık tarihine etkisi. kaynak savaşları; iklim değişikliğine bağlı göç</li> </ul> <p><b>Dünya'nın sistemi, saha çalışması ve pratik çalışmalar yoluyla keşfedilir</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gözlem gözlem, ölçümü ve kaydı</li> <li>• Gözlemlerin sentezi yorumlama</li> <li>• Araştırma ve hipotez testi. Planlar tasarlamak ve uygulamak, verileri işlemek, sonuç çıkarmak, sonuçları değerlendirmek ve bulguları iletmek</li> </ul>	<p>evrim üzerindeki paleocoğrafik etkiler; volkanik aktivite ve etki ile kitlesel yok olma biyolojik ayrışma; biyolojik depolanma</p> <p>Petrol gazı; metal cevherler; toplu hammaddeler; yerel madencilik / taşocakçılığı örnekleri</p> <p>düşük kirlilik, maliyet, arzın düzenliliği</p> <p>volkanik patlama; deprem; tsunami; heyelan</p> <p>küresel insan etkisi (erozyona, kirliliğe, drenaj değişikliklerine neden olan madencilik / taş ocağı); fosil yakıtların yakılması ve sera etkisi</p> <p>kaya oluşumu ortamı; jeolojik tarih; Çevre sorunları</p>
--	--

## *Görseller ve görsel sahipleri*

### **Key**

CCA-SA Creative Commons Attribution-Share Alike

ESEU Earth Science Education Unit

GNUFDL GNU Free Documentation Licence (Version 1.2)

ipd in/into the public domain

ISAL Image Science and Analysis Laboratory

NASA National Aeronautics and Space Administration

USGS United States Geological Survey

USNOAA United States National Oceanic and Atmospheric Administration

.....

### **Şekiller**

Şekil 0.1. Interesting pebbles and sand shapes

- Pebbles. Published by David Bleasdale under CCA A 2.0 Generic licence
- Sand shapes. Published by vastateparksstaff under CCA 2.0 Generic licence

Şekil 1.1. Open and closed systems

- A washbasin. Released ipd by Chris McKenna
- Vacuum flask. Licensed by Termolar S.A. under CCA-SA 4.0 International licence

Şekil 1.2. The Earth – a very complex system. This file is ipd because it was solely created by NASA

Şekil 1.3. Salt being extracted from a coastal salt lagoon in Tunisia. Published by Kalechnizar under CCASA 3.0 Unported licence

Şekil 1.4. The Arctic ice sheet in 1984 and 2012. Published by <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=79256> and ipd because it was solely created by NASA

Şekil 1.5. A simple water cycle demonstration. Photo: Chris King

Şekil 1.6. Water cycle processes and products. (CK redrawn diagram to be based on this diagram – will need further tweaking). Published by Sigried under CCA-SA A 3.0 Unported licence

Şekil 1.7. Rock cycle processes and products

Şekil 1.8. Carbon cycle processes and products

Şekil 2.1. Galaxies photographed by the Hubble telescope

- Messier 96, a spiral galaxy. Published by NASA ipd
- Spiral galaxies in a rose-like shape. Published by NASA ipd
- NGC 1097 center. Published by NASA ipd

Şekil 2.2. The Sun – our main source of energy. Published by HalloweenNight under CCA-SA 4.0International licence

Şekil 2.3. The heating effect of the angle of the Sun in the sky

Şekil 2.4. The phases of the Moon

Şekil 2.5. The Moon becoming full. Published by MKcray under the terms of GNUFDL206

- Şekil 2.6. A collage of photographs of a partial solar eclipse, seen from Germany. Published by Sgbeer under the terms of GNUFDL Version 1.2.
- Şekil 2.7. A photo collage of a lunar eclipse, seen from California, USA. Published by Jason Snell under CCA 2.0 Generic licence
- Şekil 3.1. The radioactive decay curve for the breakdown of all radioactive materials
- Şekil 4.1. Porosity and permeability in rocks.
- Şekil 4.2. Argentinosaurus from Argentina, the largest type of dinosaur known so far and scanning electronmicroscope images of tiny marine microfossils
- Reconstruction of Argentinosaurus in a special exhibition of the Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt, Germany. Published by Eva Kröcher under the terms of the GNUFDL
  - Marine microfossils SEM images. Published by Hannes Grobe/AWI under CCAA 3.0 Unported licence
- Şekil 4.3. Fossilisation
- Şekil 4.4. Soil sequence in Altenberg, Germany. Published by Failbus under CCA-SA 3.0 Unported licence
- Şekil 4.5. The cooling and crystallisation of igneous rocks
- Şekil 4.6. Igneous bodies in oceans
- Şekil 4.7. Igneous bodies on continents
- Şekil 4.8. Thermal metamorphic effects
- Şekil 4.9. Cross section of the Earth
- Şekil 4.10. The geology of the Earth's crust. Published by USGS and ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- Şekil 4.11. The most common rocks of the continental crust
- Granite. ESEU. Photo: Peter Kennett
  - Gneiss. ESEU. As above
  - Mudstone. ESEU. As above
- Şekil 4.12. The outer part of the Earth
- Şekil 4.13. The Pacific Ocean floor; oceanic ridge near the centre and trenches to East and West. Published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and in the public domain
- Şekil 4.14. Magnetic anomalies over the Reykjanes Ridge, south-west of Iceland. © Geoscience, redrawn by ESEU and used with permission of ESEU.
- Şekil 4.15. The formation of magnetic stripes by ocean-floor basalts. Modified from *This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics* (online edition), by W. Jacquelyne Kious and Robert I. Tilling and ipd because it contains materials that originally came from USGS.
- Şekil 4.16. The chain of volcanic islands and undersea volcanic seamounts linked to the Hawaii hotspot in the Pacific Ocean. Published by the National Geophysical Data Center/USGS and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 4.17. Transform faults offsetting the Atlantic Ocean oceanic ridge. Published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 4.18. New oceanic lithosphere being created at the oceanic ridge in the mid-Atlantic Ocean. © Press & Siever, redrawn by ESEU, modified and used with permission



- Şekil 4.19. The rift valley at the centre of an oceanic ridge
- Şekil 4.20. A small rift valley in Iceland, linked to the oceanic ridge rifting. Bridge between continents in Reykjanes peninsula, south-west Iceland across the Alfgja rift valley, the boundary of the Eurasian and North American continental tectonic plates. Published by Chris 73 under CCA-SA 3.0 Unported licence
- Şekil 4.21. A series of transform faults offsetting an oceanic ridge and rift valley. Drawn by D. King
- Şekil 4.22. The San Andreas Fault in California, USA. Published by Robert E. Wallace and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Şekil 4.23. Earthquakes recorded across the Kurile Islands subduction zone; the earthquakes are colourcoded for depth. Published by USGS and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Şekil 4.24. Subduction at a collision of two oceanic plates. Oceanic plate collision zone. Reproduced with permission of USGS, redrawn by ESEU and used with permission
- Şekil 4.25. The Caribbean island arc. Published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 4.26. Soufriere Hills volcano erupting on Monserrat Island in the Caribbean island arc. Image taken by the NASA Expedition 21 crew and released ipd because it was solely created by NASA
- Şekil 4.27. Subduction of an oceanic plate beneath a continental plate. Reproduced with permission of USGS, redrawn by ESEU and used with modification and permission
- Şekil 4.28. The collision zone as the Nazca plate is subducted beneath the South American plate. Published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 4.29. The Andes mountain range between Chile and Argentina. Published by Jorge Morales Piderit and released ipd
- Şekil 4.30. A collision zone between two continental plates. Reproduced with permission of USGS, redrawn by ESEU and modified, with permission
- Şekil 4.31. The collision of the Indian plate with the Eurasian plate, producing the Himalayan mountain chain. Published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 4.32. The Himalayan mountain chain viewed from the International Space Station. From [http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_152.html](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_152.html) and ipd because it was created by ISAL of the NASA Johnson Space Center
- Şekil 4.33. Rates of plate movement. Redrawn from a diagram published by NASA at <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> and ipd because it was solely created by NASA
- Şekil 4.34. Plate movement mechanisms
- Şekil 4.35. The Earth's major tectonic plates. Published by USGS and ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- Şekil 4.36. Aquifers
- Şekil 4.37. Well-testing
- Şekil 4.38. A plume of groundwater pollution. Redrawn from <http://pbisotopes.ess.sunysb.edu/classes/geo101-notes-07/ex-2-5.htm>
- Şekil 4.39. High tide and low tide, the Humber Bridge, England. Both images published by David Wright on the Geograph website and licensed for reuse under CCA-SA 2.0 licence

Şekil 4.40. The Moon causing tidal bulges

Şekil 4.41. Tidal changes, an example from Bridgeport, Connecticut, USA. Published by NickyMcLean and released ipd

Şekil 4.42. Waves – large and small

- Surfing, California. Published by 2010\_mavericks\_competition.jpg: Shalom Jacobovitz under CC A-SA 2.0 Generic licence
- Wave break, Shingleton Beach, Western Australia. Published by Orderinchaos under CCA-SA 3.0Unported licence

Şekil 4.43. Warm red-coloured current flowing over the surface; cold blue-coloured current flowing over the bottom. Photos: Chris King

Şekil 4.44. Air mass circulation on Earth. Based on redrawing of <http://www.bbc.co.uk/education/guides/zym77ty/revision/2>

Şekil 4.45. Generalised surface wind pattern on Earth. Based on redrawing of [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_circulation#/media/File:AtmosphCirc2.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_circulation#/media/File:AtmosphCirc2.png)

Şekil 4.46. Surface ocean circulations. Based redrawing of <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Corrientes-oceanicas.png>

Şekil 4.47. The shallow to deep circulation pattern of the Earth. Based on redrawing of [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline\\_circulation#/media/File:Thermohaline\\_Circulation\\_2.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation#/media/File:Thermohaline_Circulation_2.png)

Şekil 4.48. The best fishing grounds, produced by the upwelling of cold deep ocean waters. Published by USNOAA and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA

Şekil 4.49. The ‘blue marble’ Earth showing the very thin layer of atmosphere in purple around the outside. Image ipd because it was solely created by NASA

Şekil 4.50. Space shuttle Endeavour orbiting in the outer atmosphere showing the orange troposphere layer and the white layer above that contains ozone. Image ipd because it was created by ISAL of the NASA Johnson Space Center

Şekil 4.51. Microscopic oceanic bacteria which photosynthesise, absorbing carbon dioxide and releasing oxygen. Published by Doc. RNDr. Josef Reischig, CSc. under CCA -SA 3.0 Unported licence

Şekil.4.52. The spiralling clouds of a cyclone near Iceland on 4 September 2003. Image ipd because it was solely created by NASA

Şekil 4.53. Hurricane Isabel in the North Atlantic Ocean in 2003, with the characteristic eye in the centre. Image ipd because it was solely created by NASA

Şekil 4.54. An anticyclone near southern Australia. Image ipd as it was solely created by NASA

Şekil 4.55. Pollution smog in Shanghai, China, trapped under sinking cool air. Published by DL5MDA under the terms of GNUFDL, Version 1.2

Şekil 4.56. A paraglider using thermals on the edge of a slope for lift. Published by Peter Greis, Stäfa, Switzerland under the CCA 2.0 Generic licence

Şekil 4.57. The past temperature of the Earth’s surface as shown by evidence from several indicators. Redrawn from an image published by Glen Fergus under CCA-SA 3.0 Unported licence

Şekil 4.58. Extracting an ice core from a core tube taken from an ice borehole. Published by Lonnie Thompson, Byrd Polar Research Center, Ohio State University and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA

Şekil 4.59. Graphs of the temperature change and variation in CO<sub>2</sub> of the atmosphere over the past 42,000 years recorded in the Vostok ice core from Antarctica. Redrawn from an image published by USNOAA under the terms of GNUFDL, Version 1.2

Şekil 4.60. The greenhouse effect

Şekil 4.61. The change in carbon dioxide levels in the atmosphere, measured from Moana Loa, Hawaii. Data from Dr Pieter Tans, USNOAA/ESRL and Dr Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography. Redrawn from an image published by Delorme under CCA-SA 4.0 International licence

Şekil 4.62. Change in the Earth's surface temperature, from data compiled by NASA. Redrawn from data ipd because it was solely created by NASA

Şekil 4.63. Map of continents 280Ma produced through a collaboration between the Earth Science Education Unit and Cambridge Paleomap Services Ltd, who produced the map images used. ESEU gratefully acknowledges the expertise and assistance of Alan Smith and Lawrence Rush of CPSL. Image used with permission of ESEU.

Şekil 4.64. Map of continents 85Ma produced through a collaboration between the Earth Science Education Unit and Cambridge Paleomap Services Ltd, who produced the map images used. ESEU gratefully acknowledges the expertise and assistance of Alan Smith and Lawrence Rush of CPSL. Image used with permission of ESEU.

Şekil 4.65. The long-term trend of life on Earth and the major extinctions, as shown by the number of genera (biological groupings containing numbers of species). Redrawn from an image published by Reference: Rohde, R.A., and Muller, R.A. (2005-03). *Cycles in Fossil Diversity*. Nature 434: 208-210, SVG version by Albert Mestre under CCA-SA 3.0 Unported licence

Şekil 5.1. Commercial peat cutting, Ljungby, Sweden. Published by Masse and released ipd

Şekil 5.2. An opencast coal mine in a thick dipping coal seam, revealing an old deep mining adit, Foord seam in the Carboniferous Stellarton Formation, Stellarton, Nova Scotia, Canada. Published by Michael C. Rygel under CCA-SA 3.0 Unported licence

Şekil 5.3. Two slabs of sandstone standing in engine oil – showing how different sandstones can absorb different amounts of oil in their pore-spaces. Peter Craig in King C. (2017) Scottish 'Bring and Share'. From the St Andrews ESTA Conference, September 2016. *Teaching Earth Sciences* 41.2. pp 24-5

Şekil 5.4. A trap formed of upfolded rock (and anticline) – these can contain oil or gas or both together. Modified to include water in the reservoir rock. Published by MagentaGreen under CCA-SA 3.0 Unported licence

Şekil 5.5. Global energy consumption. Published by Martinburo from Bp\_world\_energy\_consumption\_2016.gif under CCA-SA 4.0 International licence

Şekil 5.6. Recent energy consumption. Data taken from <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energyeconomics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

Şekil 5.7. The amounts of carbon dioxide released by the burning of different fossil fuels to produce the same amount of energy. Data from the US Energy Information Administration (USEIA) at <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=73&t=11>

Şekil 5.8. Recent energy production from different renewable sources. Data from REN21 global status report, Tablo R1 taken from [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_FullReport\\_en\\_11.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf)

Şekil 6.1. 'Bombs' of liquid lava erupting at night by Stromboli, near Sicily, Italy, 2013. Published by Drtrotsky under CCA-SA 3.0 Unported licence

Şekil 6.2. Example of a volcanic hazard map, Mount Rainier, Washington State, USA. Published by Sémhur and ipd because it only contains materials that originally came from USGS; modified key

Şekil 6.3. Earthquake and seismic waves. Redrawn from an image by Dollynarak and released ipd

- Şekil 6.4. The tsunami caused by the 1960 Valdivia earthquake, showing travel times across the Pacific Ocean. Published by [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960\\_05\\_22\\_tsunami.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960_05_22_tsunami.php) and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 6.5. The logo of the US National Tsunami Hazard Mitigation Program. Taken from <http://nws.weather.gov/nthmp/documents/NTHMPStrategicPlan.pdf>. Published by USNOAA/National Science Foundation and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Şekil 6.6. Footpath erosion, Fontainebleau Forest near Paris, France. Published by Romary under the terms of GNUFDL
- Şekil 6.7. Storm drain, Dobney Avenue, Wagga Wagga, New South Wales, Australia. Published by Bidgee under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Şekil 6.8. Waste management in Kathmandu, Nepal. Published by Sigismund von Dobschütz under the terms of GNUFDL
- Şekil 6.9. Waste management in Stockholm, Sweden. Published by Holger.Ellgaard under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Şekil 6.10. South East New Territories Landfill lined with geotextile membrane, Hong Kong. Published by Minghong under the terms of GNUFDL, Version 1.2
- Şekil 6.11. Series of methane gas vents on an old landscaped landfill site where oil shale was excavated in the past, Seafield, West Lothian, Scotland. Published by Paul Birrell as part of the Geograph project collection under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Şekil 6.12. Diagram of a typical groundwater monitoring well. Published by AuntSpray under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Şekil 6.13. Microplastic spherules draining from a scouring sponge in a white bowl. Published by Hungchaka under the CCA-SA 4.0 International licence
- Şekil 6.14. Heeseberg nature reserve in an old quarry, Lower Saxony, Germany. Published by Manomaari under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Şekil 6.15. Carbon capture technology being tested at a coal mine. Published by Peabody Energy, Inc under CCA 3.0 Unported licence

.....

## **Kutuelar**

Kutu 1.1. The solar system. Released by Planets2008.jpg under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Kutu 1.2.

- Rain near Lunde, Funen, Denmark. Published by Malene Thyssen under GNUFDL
- Soil. Published by Ichor202 under GNUFDL
- A spring being caught in a stone trough, Owlcots Lane near Bradford, England. Published by Betty Longbottom as part of the Geograph project collection under the CCA-SA 2.0 Generic licence

Kutu 1.3.

- Raindrops falling on water. Published by Juni from Kyoto, Japan under the CCA-SA2.0 Generic licence
- Street gutter in Old Town, Stockholm, Sweden. Published by Bengt Nyman under the CCA 2.0 Generic licence Parklands under the CCA 2.0 Generic licence

Kutu 2.1. The universe from your own backyard

- Savault Chapel in a clear starry night, in Ouroux-en-Morvan, Bourgogne, France. Published by Benh Lieu Song under the CCA-SA 4.0 International licence
- A swirling starscape above La Silla Observatory in Chile. Published by the European Southern Observatory under the CCA 4.0 International licence

#### Kutu 2.2. The asteroid belt

- The main asteroid belt. Released ipd by its author, Mdf at English Wikipedia
- Asteroid Gaspra taken from the Galileo spacecraft. Ipd because it was solely created by NASA Kutu 2.3. Comets

- Hale-Bopp comet seen from Croatia in 1997. Published by Philipp Salzgeber under the CCA-SA 2.0 Austria licence

- Comet Churyumov–Gerasimenko in September, 2014 as imaged by Rosetta. Published by ESA/Rosetta/NAVCAM, CC BY-SA IGO 3.0 under the CCA-SA 3.0 IGO licence

#### Kutu 2.4. Planetary geology – Mars

- Geological map of Mars. From [http://pubs.usgs.gov/sim/3292/pdf/sim3292\\_map.pdf](http://pubs.usgs.gov/sim/3292/pdf/sim3292_map.pdf). Published by USGS and ipd because it is a work prepared by an officer or employee of the US Government as part of that person's official duties
- The faulted canyon system near the equator. Published by NASA/JPL/USGS and ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- Kasei Valles outflow channel. Published by Areong under the terms of GNUFDL
- Jim Secosky modified NASA image. Image courtesy of NASA/USGS and ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- View from the Pathfinder site on Mars. From <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02405> and ipd because it was solely created by NASA

#### Kutu 2.5. Changing shadows with the time of day

- Photos: Chris King

#### Kutu 3.1. Using relative dating methods to work out the geological history of the rocks

- Rock formation in Machtesh Ramon, Israel. Published under the terms of GNUFDL

#### Kutu 3.2. An example of a geological period – the Triassic

- The 'golden spike' at the Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Ladinian stage (upper Middle Triassic), Bagolino section, Italian Alps. Published by Xavier Caré under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Kutu 3.3. The error range given with radiometric absolute dates

- View of Edinburgh beneath the volcanic rocks of Arthur's Seat in Scotland. Published by Andrew Bell under the CCA-SA 3.0 Unported and 2.5, 2.0 and 1.0 Generic licences

#### Kutu 3.4. From very, very fast to very, very slow processes

- Cores of deep sea sediments from the deep sea near Greenland. Published by Hannes Grobe under the CCA 3.0 Unported licence
- Grey layer of an 8,000 year-old tsunami deposit, laid down in minutes, with layers of dark peat above and below, from the Storegga tsunami deposit at the Montrose basin, Maryton, Scotland. Published by Stozy10 under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Kutu 3.5. Catastrophic impact events

- Common tektite shapes. Published by Brocken Inaglory under the terms of GNUFDL

- Shocked quartz under the microscope in cross-polarised light. Published by Glen A. Izett and ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- Lonar meteorite crater in India. Published by Nagwani under CCA-SA 3.0 Unported licence
- The 100 km-wide Manicouagan Crater in the Côte-Nord region of Québec, Canada. Published at <http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-30/html/iss030e031663.html> and ipd because it was created by ISAL of the NASA Johnson Space Center
- Meteor Crater near Flagstaff in Arizona, USA, showing the typical depression with a raised centre, surrounded by the crater rim. Published by Neil at [www.nabber.org](http://www.nabber.org) under CCA 3.0 Unported licence
- Stages of impact. Redrawn from: <http://www.impact-structures.com/understanding-the-impact-rateringprocess- a-simple-approach/>

#### Kutu 4.1. An unusual mineral – diamond

- The ‘big hole’ diamond pipe, Kimberley, South Africa. Published by Lubor Ferenc under the CCA- A 4.0 International licence
- Diamond in kimberlite. This image is ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- Cut diamonds. Published by Mario Sarto under the terms of GNUFDL, Version 1.2

#### Kutu 4.2. An unusual sedimentary rock – chert (or flint)

- Flints in Cretaceous chalk at St Margaret-at-Cliffe near Dover, Kent, England. Published by Clem Rutter, Rochester, Kent, UK under GNUFDL
- Flint arrowhead. Published by Adrian Michael under GNUFDL
- Chert in limestone. Published by Acar54 and Benzer Fotoğraflar under the CCA-SA 4.0 International licence

#### Kutu 4.3. An unusual igneous rock – volcanic glass

- Volcanic glass lava flow, Paulina Lake, Newberry National Volcanic Monument, Oregon, USA. The copyright holder of this file allows anyone to use it for any purpose, provided that the copyright holder is properly attributed – Gary Halvorson, Oregon State Archives, USA
- Obsidian specimen, Lake country, Oregon. Published by PAR~commons wiki who released the work ipd
- Obsidian knife. Published by Birmingham Museums Trust, Tom Brindle under the CCA-SA 2.0 Generic licence

#### Kutu 4.4. Charles Darwin and worms

- Wormery photos: Peter Kennett, Earthlearningidea

#### Kutu 4.5. The Kola Superdeep Borehole. Published by Andre Belozeroff under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Kutu 4.6. Underwater formation of pillow lavas

- A tongue of lava underwater. Published by USNOAA/National Science Foundation and in the public domain because it contains materials that originally came from USNOAA
- Pillows on the sea floor near Hawaii. Published by OAR/National Undersea Research Program (NURP) and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Ancient pillow lava, cross-section. Peter Kennett, ESEU

#### Kutu 4.7. What is the mantle made of?

- Xenoliths of peridotite in volcanic rock, basalt olivine-based xenoliths of iherzolite. Published by Khruner under the CCA-SA 4.0 International licence

- Obducted rock, likely to have come from the mantle, chromitic serpentinite from the Kraubath Complex (Speik Complex) in the Eastern Alps of Austria. Published by James St John under CCA 2.0 Generic licence

- Stony meteorite of the NWA 869 meteorite. Published by H. Raab (User:Vesta) under the terms of GNUFDL

Kutu 4.8. What is the core made of?

- A 1.7 kg individual meteorite from the Sikhote Alin meteorite shower. Published by H. Raab (User:Vesta) under the terms of GNUFDL, Version 1.2

Kutu 4.9. The discovery of black smokers at oceanic ridges

- Alvin. Published by USNOAA and ipd as it contains materials that originally came from USNOAA
- Black smoker at a mid-ocean ridge hydrothermal vent. Published by USNOAA and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- White smokers, Mariana Arc, Pacific Ocean. Published by USNOAA and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA

Kutu 4.10. Thrust sheets produced by plate collisions

- The Glarus Thrust in the Alps of Switzerland, Martinsloch, Tschingelhörner. Published by Sunna under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- The Dent de Morcles fold. Published by Lysippos under the terms of GNUFDL

Kutu 4.11. Commercially sold spring water

- Evian. Published by Arroser under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Crystal geyser. Published by Cgroxane and ipd
- Sasal. Published by Vincent de Groot at <http://www.videgro.net> under the terms of GNUFDL
- Evergrande. Published by WKDx417 under the CCA-SA 4.0 International licence
- Cre Cla water cooler in Japan. Published by Pedia-City and released ipd

Kutu 4.12. Groundwater pumping methods

- Victorian pumping station, London, England. Published by R Sones for the Geograph project and licensed for reuse under the CCA-SA 2.0 licence
- Windpumps, Namaqualand, South Africa. Published by Caroline Auzias (see Delphine Ménard for details) under the CCA-SA 2.0 France licence
- Modern groundwater pump. Published by John Poyser for the Geograph project and licensed for reuse under the CCA-SA 2.0 licence
- A modern hand pump, Pindial Railway Station, India. Published by Nikhilb239 under the CCA-SA 4.0 International licence

Kutu. 4.13. Ocean currents and the most polluted island on Earth. Words of scientist Jennifer Lavers from <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4507612/World-s-polluted-island-revealed.html>

- Circulating surface ocean currents in the north and south Pacific Ocean. Ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- The polluted beach of Henderson Island in the south Pacific Ocean. Published by American under the terms of GNUFDL

Kutu 4.14. Snowball Earth or slushball Earth?

- A computer simulation of the ice coverage during ‘Snowball Earth’. Published by Linda Sohl and Mark Chandler at [http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/sohl\\_01/](http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/sohl_01/) and ipd because it was solely created by NASA

Kutu 4.15. The Earth during the Palaeocene/Eocene thermal maximum.

- Graph of temperature change from the Paleocene to the present. Published by Robert A. Rohde for Global Warming Art under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.

Kutu 4.16. Charles Darwin and evolution

- The course of the voyage of the Beagle. Published by Sémhur under the CCA-SA 4.0 International generic licence
- Darwin’s finches from the Galapagos Island. Drawn by John Gould and ipd because the copyright term is the author’s life plus 100 years or less

Kutu 4.17. The Wallace Line

- South-east Asian map published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA

Kutu 4.18. The ‘great dying’ mass extinction

- Glossopteris from the Houston Museum of Natural Science, Houston, Texas, US. Published by Daderot under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication

Kutu 4.19. The K-Pg mass extinction

- Tyrannosaurus rex, one of the last dinosaur groups found before the K-Pg mass extinction, Museum of the Rockies. Published by FunkMonk under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Collecting ash at the K-Pg boundary. Published by Dcondon under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Kutu. 4.20. The Gaia hypothesis of James Lovelock

- StandardDaisyWorldRun2color.gif Redrawn from an image by Ginger Booth and released ipd

Kutu 5.1. Oil borehole valves

- ‘Christmas tree’, North Dakota, USA. Published by Tim Evanson under the CCA-SA A 2.0 Generic licence
- Gusher – Lakeview gusher in the USA, around 1911. Published at <http://www.sjvgeology.org/history/lakeview/lakeview09.jpg> and ipd

Kutu 5.2. Fracking of shale. Redrawn from an image by MagentaGreen published under the CCA-SA 4.0 International licence

Kutu 5.3. Seismic prospecting

- Seismic profile and interpretation. Published by USGS and ipd because it only contains materials that originally came from USGS

Kutu 5.4. How to find a diamond mine

- Heavy mineral sampling, jig concentrate and heavy mineral concentrate. Photo: Chris King
- Premier diamond mine, Cullinan, South Africa. Published by Paul Parsons ([paul.parsons@hyphen.co.za](mailto:paul.parsons@hyphen.co.za)) under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Kutu 5.5. Geothermal energy – is it renewable?

- Geothermal power plant borehole, Brühl, western Germany. Published by AnRo0002 under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication

Kutu 6.1. A colossal eruption – Krakatoa in 1883



- Lithograph from *The Eruption of Krakatoa, and Subsequent Phenomena*, 1888. Edited by George James Symonds (1838-1900). Published by the Royal Society (UK). Krakatoa Committee, 71-1250, Houghton

Library, Harvard University, USA. Ipd because the copyright term is the author's life plus 100 years or less

- Paintings of the sky in the afterglow of the Krakatoan eruption in 1888, painted by William Ashcroft and included in *The Eruption of Krakatoa, and Subsequent Phenomena* (1888), edited by George James Symonds. 71-1250, Houghton Library, Harvard University and ipd because it was produced more than 100 years ago

Kutu 6.2. A mega-colossal eruption – Oruanui eruption of the Taupo volcano, around 25,360 years ago

- Artist's impression of the Oruanui eruption. Published by Anynobody, based on a NASA photograph, published under CCA-SA

Kutu 6.3. The elastic rebound theory

- Movement of the ground in H.F. Reid's elastic rebound theory.

Kutu 6.4. Seismometers

- Seismic recording equipment, Gulf of Corinth, Greece. Photos: Chris King
- Two seismometers, Patras Seismological Laboratory, Greece. Photo: Chris King
- Drum record from a seismometer. Published by Z22 under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Kutu 6.5. The Kobe earthquake, Japan, 1995

- Yasuyo Morita story from <http://www.sln.org.uk/geography/7-11kobe.htm>
- Damage to a viaduct in Kobe. Released by 野田知明 under the CCA-SA 4.0 International licence

Kutu 6.6. The Kashmir earthquake, Pakistan, 2005 – moment magnitude 7.6

- Mother Shazia Ahmed story. From <https://www.oxfam.org.nz/what-we-do/emergencies/previousemergencies/kashmir-earthquake-2005/stories-from-balakot>
- Shazia with her baby who survived for three days in the rubble before being rescued. Oxfam from <https://www.oxfam.org.nz/what-we-do/emergencies/previous-emergencies/kashmir-earthquake-2005/stories-from-balakot>
- The devastated city of Balakot. Published by the US Air Force and ipd because it is a work prepared by an officer or employee of the US Government

Kutu 6.7. An earthquake plan

- Earthquake preparedness sign in Vancouver, Canada. Published by Wikiemon under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- The Earthquake Country Alliance in California highlights 'Seven Steps to Earthquake Safety'. <http://www.earthquakecountry.org/sevensteps/>

Kutu 6.8. 2011 tsunami, Tōhoku, Japan

- Eyewitness account taken from <http://factsanddetails.com/japan/cat26/sub161/item1674.html#chapter-10>
- Public hospital in Minamisanriku after the 2011 Tōhoku tsunami, Japan. Published by Christopher Johnson under the CCA-SA 2.0 Generic licence

Kutu 6.9. The Indian Ocean tsunami, 2004

- Interview transcribed from UNISDR video posted on Youtube at <https://www.youtube.com/watch?v=V0s2i7Cc7wA>

- Tsunami wave striking the Phuket coast. Published by FlyAkwa under the CCA-SA 4.0 International licence

#### Kutu 6.10. Tsunami warning information

- Sheet published online by USNOAA Department of Commerce, National Weather Service, Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Tsunami Information Center at <https://earthweb.ess.washington.edu/tsunami/general/mitigation/mitigation.html>

#### Kutu 6.11. The Oso mudflow, Spain, 29 March, 2014

- Eyewitness account from <https://www.earthmagazine.org/article/oso-landslide-report-yields-means>
- The Oso mudslide and its scar. Published by Samantha Ciaramitaro and ipd

#### Kutu 6.12. Acid mine drainage

- Drainage from an old mine, Rio Tinto, Spain. Published by Carol Stoker, NASA and ipd because it was solely created by NASA

#### Kutu 6.13. The end of the Minoan civilisation

- Satellite view of the Santorini (Thera) crater today. Published by NASA and ipd

#### Kutu 6.14. ‘The year without summer’, 1816

- 1816 temperature fall in Europe. From [http://www.giub.unibe.ch/klimet/docs/luterbacheretal\\_science.pdf](http://www.giub.unibe.ch/klimet/docs/luterbacheretal_science.pdf). Published by Giorgiognp2 under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Chichester Canal, a sunset scene painted in the UK by J.M.W. Turner. Ipd because the copyright term is the author's life plus 100 years or less

#### Kutu 6.15. Water wars

- The Jordan River, bringing water to Israel from the north. Published by Jean Housen under the terms of GNUFDL

#### Kutu 6.16. Oil wars

- Burning oil fields behind an abandoned tank, Kuwait, 1991. Published by JO1 Gawlowicz of the US Navy and so ipd

#### Kutu 6.17. The migration of early humans out of Africa

- Şekil 6.16. The spread of early human groups across the world, with spreading dates: First, Homo erectus; Second, Homo neanderthalensis; Third, Homo sapiens. Redrawn from an image published by NordNordWest and released ipd

#### Kutu 6.18. The drying of the Sahara

- Manda Guéli Cave, Ennedi Mountains, north-eastern Chad. Published by David Stanley from Nanaimo, Canada under the CCA-SA2.0 Generic licence
- Rock formation, Ennedi Mountains, Chad. Published by David Stanley from Nanaimo, Canada under the CCA 2.0 Generic licence

#### Kutu 6.19. ‘Doggerland’ in the North Sea area

- Map of Doggerland. Redrawn from an image published by Max Naylor under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Kutu 7.1. The Geoethical Promise. Taken from <http://www.geoethics.org/geopromise>

- Swearing in at Yuma, Arizona. Published by a US military or Department of Defense employee, taken or made as part of that person's official duties. As a work of the US federal government, the image is ipd
- Afghan children. Published by a US Army soldier or employee, as above

## Kutu 7.2. Geological mapping investigations

- Geological boundary between grey sandstone and fine-grained pale granite, Sea Point contact, Cape Town. Photo: Chris King
- A major change in slope at the geological boundary between tough igneous rocks of a sill to the right and weaker sedimentary rocks to the left. View along the Whin Sill to Crag Lough, from above Milecastle 39 on Hadrian's Wall, northern England. Published by Nilfanion under the CCA-SA 3.0 Unported licence

## Kutu 7.3. A prospecting investigation for diamonds

- Photos: Chris King

.....

## Tablolar

### 2.1. Planets of the solar system

- Mercury from the Messenger flyby. Published by NASA and ipd
- Venus from Mariner 10 images. Published by NASA and ipd; image processing by R. Nunes at <http://www.astrosurf.com/nunes>
- Earth following the BlenderGuru.com tutorial. Published by Jason Harwell under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Mars from the Hubble telescope. Published by NASA and ipd
- Jupiter from Voyager 1 images. As above
- Saturn from Voyager 2. As above
- Uranus from Voyager 2. As above
- Neptune from Voyager 2. As above

### Tablo 2.2. The tilt of the Earth causing seasons

### Tablo 3.1. Relative dating methods

- Tilted chalk in Cyprus. Released ipd by its author, MeanStreets, at English Wikipedia
- Folded rock in Greenland. Published by Håvard Berland under the terms of GNUFDL
- Dykes in Colorado, USA. Published by Wing-Chi Poon under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Xenoliths in granite, Herm, Channel Islands, UK. Published by Kevin Walsh under the CCA 2.0 Generic licence
- William Smith's drawing. IpD as the copyright term is the author's life plus 70 years or less
- Unconformity in Bochum, Germany, where the younger Cretaceous rock overlies the tilted Carboniferous rock beneath. Published by Hermann A. Wiese under the terms of GNUFDL

### Tablo 3.2. Principles of the laying down of sediments, lavas and volcanic ash

- Miocene sediments laid down horizontally, Drahomyrchany, Ukraine. Published by Gretarsson under the CCA-SA 4.0 International licence
- Cross-bedded sands, Estonia. Published by Hannu and released ipd
- Grand Canyon, Arizona, USA. Published by selbst gemacht under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Braided river deposits in Iceland. Published by Christopher Michel under the CCA 2.0 Generic licence

### Tablo 3.3. William Smith's method applying the 'Law of faunal succession' All William Smith's drawings are ipd since the copyright term is the author's life plus 70 years or less

### Tablo 3.4. Typical fossils found in rocks of different ages

- *Argopecten gibbous* scallop. Published by FWC Fish and Wildlife Research Institute under the CCA 2.0 Generic licence
- *Crassostrea titan* oyster. Published by Kevmin under the CA-SA 3.0 Unported licence
- Fossil teeth of *Carcharias tingitana* from Morocco. Published by Hectonichus under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- *Micraster leskei* echinoderm. Published by Didier Descouens under the CCA-SA 4.0 International licence
- *Calliphylloceras* ammonite. Released ipd by Antonov
- *Ceratites ceratite* ammonoid. Published by BerndH under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Goniatite. Published by Ghedoghedo under the CCA-SA 4.0 International licence
- Phacops. Published by Dwergenpaartje under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- *Monograptus*. Published by porshunta under the terms of GNUFDL
- *Tetragraptus*. Published by James St John under the CCA 2.0 Generic licence
- Paradoxides. Published by Sam Gon III for use for any purpose

Tablo 3.5. The main subdivisions of geological time

Tablo 4.1. Common minerals, their chemistry, shape and physical properties

- Quartz. Published by Luis Miguel Bugallo Sánchez under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Feldspar – potassium feldspar crystals in granite, eastern Sierra Nevada, Rock Creek Canyon, California, USA. Released by Wilson44691, ipd
- Mica. Published by Pascal Terjan under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Calcite – a cluster of yellowish dogtooth calcite crystals from the Nkana Mine of Zambia. Published by Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0
- Halite, from Wieliczka salt mine in Poland. Published by Lech Darski under the CCA-SA 4.0 International licence
- Gypsum – in its ‘desert rose’ form. Published by Rama under the CCA-SA 2.0 France licence
- Pyrite. Published by Mauro Cateb under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Galena on calcite, from the Gibraltar Mine, Naica, Municipio de Saucillo, Chihuahua, Mexic. Published by Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0

Tablo 4.3. Important processes of fossilisation

- Fossil mammal showing fur – the *Eomaia scansoria* fossil displayed in Hong Kong Science Museum, China. Published by Laikayiu under GNUFDL
- A *Calymene* trilobite – collected at the Henryhouse Formation near Ada, Oklahoma, USA, from the Silurian. Published by Dwergenpaartje under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Ammonite replaced by pyrite, Bully Calvados, France. Published by Didier Descouens under the CCA 3.0 Unported licence
- Internal and external mould of gastropod, Galena Formation, Ordovician, Iowa, USA. Published by James St John under the CCA 2.0 Generic licence
- Dinosaur footprint cast, Fairlight, Sussex, England. Published by Sandpiper under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication
- Burrows and trilobite resting place – *Rusophycus* and other trace fossils from the Gog Formation (Middle Cambrian), Lake Louise, Alberta, Canada. Published by Wilson44691 and released ipd

- Lepidodendron root and rootlets – Upper Carboniferous of north-eastern Ohio, USA. Published by Wilson44691 under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Tablo 4.5. Common sedimentary rocks

##### Specimen images

- Conglomerate. ESEU. Photo: Peter Kennett
- Cream sandstone. ESEU, as above
- Red sandstone. ESEU, as above
- Mudstone, ESEU, as above
- Shale. Published by Amcyrus2012 under the CCA 4.0 International licence
- Clay from San Julian, Santa Cruz, Argentina. Published by Beatrice Murch under the CCA 2.0 Generic licence
- Fossiliferous limestone. ESEU, as above
- Oolitic limestone. ESEU, as above
- Chalk. Published by Superagent001 under the CCA 4.0 International licence
- Rock salt – Mongolian rock salt from Uvs Nuur Basin, Mongolia. Published by GFDL (Author Mizu Basyo) under GNUFDL
- Coal. ESEU, as above

##### Exposure images

- Conglomerate exposure, Adarra mountain, San Sebastian, Spain. Published by Joxemai under the CCASA 3.0 Unported licence
- Cross-bedded cream sandstone, Isle of Bressay, Shetland Islands, UK. The copyright owned by Anne Burgess and licensed for reuse under the CCA-SA 2.0 licence
- Red Navajo sandstone, Antelope Canyon, Arizona, USA. Published by Meckimac under the terms of GNUFDL
- Permian red mudstone with paler siltstone beds, Bassin de Lodève, Hérault, la Lieude, Mérifons, France. Published by Pinpin under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Shale. Published by Lvklock under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Clay. Published by Siim Sepp under GNUFDL
- Fossiliferous limestone, the Green Bridge of Wales arch and stack, Pembrokeshire, Wales. Published by JKMMX under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Oolitic Jura limestone, Rothenstein III quarry, Jura region, France. Published by J. Stiegler under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Chalk, the chalk cliff of Møn, Denmark. Published by Chad K under the CCA 2.0 Generic licence
- Rock salt, Salt cave Colonel, Israel. Published by Bukvoed under the CCA 3.0 Unported licence
- Dipping coal seam with an old mine shaft, Stellarton Formation, Nova Scotia, Canada. Published by Michael C. Rygel under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Tablo 4.7. Common igneous rocks

##### Specimen images

- Granite. ESEU. Photo: Peter Kennett
- Gabbro. As above

- Dolerite. Collection of National Museum, Prague, Czech Republic. Published by Karelj and released ipd
- Basalt. As above
- Andesite. Published by Michael C. Rygel under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Volcanic ash. Source: <http://resourcescommittee.house.gov/subcommittees/emr/usgsweb/photogallery/>; English Wikipedia, original upload 3 August 2004 by Chris 73. As a work of the US federal government, the image is ipd

#### Exposure images

- Granite exposures, Mount Hope, Victoria, Australia. Published by Melburnian under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Gabbro from the Ukraine, in a geological wall in the Botanical Folk Park, Blankenfelde, Pankow, Berlin, Germany. Published by Sebastian Wallroth under the CCA 3.0 Unported licence
- Dolerite dyke on the edge of a river, Agwa Rock, Lake Superior Provincial Park, Canada. Published by Fungus Guy under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Basalt columns, Giant's Causeway, Northern Ireland. Published by Sebd under the terms of GNUFDL
- Andesitic lava flows, Stewart Peak volcano, Colorado, USA. Published by P.W. Lipman; ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Volcanic ash laid down as tuff layers in the Aeolian Islands near Sicily, Italy. Published by stefan fotos from Leipzig, Germany under the CCA-SA 2.0 Generic licence

#### Tablo 4.9. Common metamorphic rocks

##### Specimen images

- Slate. ESEU. Photo: Peter Kennett
- Schist. As above
- Gneiss. As above
- Marble. As above
- Metaquartzite (quartzite). As above

##### Exposure images

- Slate, in a road cutting protected by rock anchors and wire mesh, Rothaar Mountains, North Rhine, Germany. Published by Elop under the CCA-SA3.0 Unported licence
- Mica schist, La Pierre Blanche, island of Groix, Brittany, France. Published by Lyokoï88 under the CCASA 4.0 International licence
- The gneiss of Sugarloaf Mountain, Rio de Janeiro, Brazil. Published by Raphael de Siqueira Ferreira under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Marble block, Carrara quarry, Italy. Published by Lucarelli under GNUFDL
- Metaquartzite exposure, El Castellar, Zaragoza, Spain. Published by PePeEfe under the CCA-SA 4.0 International licence

#### Tablo 4.10. Common weathering processes

- Broken boulder, southern Iceland. Published by Till Niermann under GNUFDL, Version 1.2
- Sheets of granite breaking away due to heating/cooling, Half Dome, Yosemite National Park, USA. Published by HylgeriaK under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Carboniferous limestone pavement with widened joints (grykes), Doolin Quay, Ireland. Published by Bob Jones under the CCA-SA 2.0 Generic licence

- Chemical weathering along a joint in the Khondalite Rock formation at Rushikonda Beach, Visakhapatnam, India. Published by Adityamadhav83 under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Lichens growing on bare rock, USA. Published by Sarah Murray from South Bend, Indiana, USA under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Soil layers in the Rhine Valley near Rastatt, Germany. Published by U. Burkhardt under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Tablo 4.11. Important erosional processes

- Scree cones, Bow Lake near Crowfoot Mountain, Alberta, Canada. Published by Florian Fuchs under the CCA 3.0 Unported licence
- Erosion by the Tista River, Sundarganj Thana, Bangladesh. Published by Ibrahim Husain Meraj under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- A sand storm cloud blowing over Al Asad, Iraq. Published by Alicia M. Garcia and ipd because it originally came from the US Marine Corps
- Bedrock scratched (striations) by glacial movement, Gorner Glacier, Zermatt, Switzerland. Published by Michael C. Rygel under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Tablo 4.12. Landforms formed by resistant rock layers

- Table Mountain plateau, Cape Town, South Africa. Published by Harvey Barrison from Massapequa, NY, USA under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Cuesta seen from the Victoria Island ferry, Vancouver, Canada. Photo, Chris King
- Ridge, Mount Rundle, near Banff, Alberta, Canada. Published by Stevan Marcus Stevanm1 under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Abert Rim fault scarp, Oregon – one of the highest in the USA. Published by Abert Rim ACEC under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Steep cliffs and an arch, Island Archway, Victoria, Australia. Published by Diliff under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- A bay between headlands, Cabo de la Vela, Colombia. Published by Tanenhaus under the CCA 2.0 Generic licence
- Slumping coastal cliffs, Shippards Chine, Isle of Wight, England. Published by Graham Horn under the CCA-SA 2.0 Generic licence

Tablo 4.13. Landscape features formed mainly by erosion and deposition

- V-shaped river valley, Goriot, Pakistan. Published by Khakan Ibrahim under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- U-shaped glacial U-shaped valley near Orcières, Hautes-Alpes, France. Published by Fr.Latreille under GNUFDL
- The meandering channels of the Zambezi floodplain in Namibia, seen from the air. Published by NASA Earth Observatory: zambezi\_ali\_2010128\_lrg.jpg. IpD because it was solely created by NASA
- Silvasplana fan delta building out into Silvasplana Lake, Switzerland. Published by On-chan under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- The Isunnguata Sermia glacier in the background deposited the moraine in the foreground, Kangerlussuaq, Greenland. Published by Chmee2/Valtameri under the CCA 3.0 Unported licence

Tablo 4.14. Important sedimentary structures

- Bedded sandstones and siltstones, Quebrada das Conchas, Salta, Argentina. Published by <http://www.flickr.com/photos/travelwayoflife/6164348161/in/photostream/> under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Laminated mudstone, Hesselberg, Germany; Lower Jurassic. Published by Oswald Engelhardt under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Large-scale (wind-formed) cross-bedded sandstone, Angel's Landing Trail, Zion National Park, Utah, USA. Published by Roy Luck <http://www.flickr.com/people/royluck/> under the CCA-SA licence
- Asymmetrical ripple-marked Cambrian sandstone, Wiśniówka Duża, Poland. Published by Robert Niedźwiedzki under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Symmetrical ripple-marked fine sandstone, Sierras Bayas, Olavarria, Argentina. Published by Beatrice Murch, Buenos Aires, Argentina under the CCA 2.0 Generic licence
- Graded bedding – Eocene grit in a garden wall near Besalú in Catalonia, Spain. Photo: Pete Loader
- Desiccation cracks around a dinosaur footprint in mudstone, Loulle, Franche-Compte, France. Published by PePeEfe under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Tablo 4.15. Important igneous features

- Modern pillow lavas on the ocean floor, taken during the Galapagos Rift Expedition in the west Pacific Ocean, 2002. Published by USNOAA Photo Library: on Flickr: [exp11528](https://www.flickr.com/photos/exp11528/) under the CCA 2.0 Generic licence
- Inverted Ordovician pillow basalts, Crozon, Brittany, France. Published by zarmel <http://www.geodiversite.net/auteur2> under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- The Devil's Tower volcanic plug in Wyoming, USA. Published by Chris Light, under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Kilt rock sill, Skye, Scotland. Published by arjecahn on flickr under the CCA 2.0 Generic licence
- Dark dolerite Precambrian dykes (1100Ma), cutting through paler 1800Ma rocks, Koster Islands, Sweden. Published by Thomas Eliasson of Geological Survey of Sweden: <http://www.flickr.com/people/geologicalsurveyofsweden/> under the CCA 2.0 Generic licence
- Satellite image of the Brandberg Massif granite intrusion that has baked the surrounding rocks into a dark metamorphic aureole, Namibia. Ipd because it contains materials that originally came from USGS

Tablo 4.16. Metamorphic rocks formed by regional metamorphism

- Mudstone. ESEU. Photo: Peter Kennett
- Slate. As above
- Schist. As above
- Gneiss. As above
- Granite. As above
- Sandstone. As above
- Metaquartzite (quartzite). As above
- Fossiliferous limestone. As above
- Marble. Published by Beatrice Murch under the CCA 2.0 Generic licence

Tablo 4.17. Fractures caused by brittle failure – joints and faults

- Jointed siltstone bed in Ordovician shale, Fort Plain, New York, USA. Published by Michael C. Rygel under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Normal faulting in the walls of the Corinth Canal, Greece. Photo: Chris King



- View from above of the Piquiang Fault, Tein Shan Mountains, China. Published by NASA Earth Observatory images by Robert Simmon and Jesse Allen, and ipd as it was created by NASA
- Reverse fault. From the AGI World Image Bank, hflo30, Marli Miller, University of Oregon, USA
- Thrust fault, Lilstock Bay, Somerset, England. Published by Mikenorton under the CCA-SA International licence

Tablo 4.18. Fold types

- Anticline in Precambrian gneiss along NJ Route 23 near Butley, New Jersey, USA. Published by Vsmith and ipd because it originally came from USGS
- Folded bedded limestone in the Glasenbachklamm gorge in Austria. Published by Viva La Ren under the CCA-SA 3.0 Unported 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic licences
- Tight folds near Ágios Pávlos in southern Crete. Published by Dieter Mueller under GNUFDL
- Tightly folded 2.6 billion year-old Precambrian banded iron formation near Soudan, Minnesota, USA. Published by James St John under the CCA 2.0 Generic licence
- Isoclinal fold about 10cm across in the Monts d'Arrée near Commana, France. Published by zarmel <http://www.geodiversite.net/auteur2> under the CCA-SA licence

Tablo 4.19. Oceanic crustal rocks

- Sediment core from South Atlantic. Published by Hannes Grobe/AWI under the CCA Unported licence
- Gabbro. ESEU, photo: Peter Kennett
- Dolerite. Published by Karelj and released ipd
- Basalt. As above

Tablo 4.20. Characteristics of the Earth layers

Tablo 4.21. Processes of the internal rock cycle now explained by plate tectonic theory

Tablo 4.22. The main evidence supporting plate tectonic theory

- Jigsaw shape - the Continental jigsaw, continental shelf. © Andrew McLeish in *Geological Science*, redrawn by ESEU and used with permission
- Geological evidence on 'the jigsaw' – distribution of ancient rocks across South America and Africa. © Andrew McLeish in *Geological Science*, redrawn by ESEU and used with permission
- Fossil evidence on 'the jigsaw' – distribution of land/freshwater animals and plants in the continents of 'Gondwanaland'. Reproduced with permission of USGS, redrawn by ESEU and used with permission
- Palaeoclimatic evidence – the Continental jigsaws (former distribution of ice across the Gondwana continents). © Andrew McLeish in *Geological Science*, redrawn by ESEU and used with permission
- Earth relief. Published by <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Volcano map distribution. Published at [http://vulcan.wr.usgs.gov/Glossary/PlateTectonics/Maps/map\\_plate\\_tectonics\\_world.html](http://vulcan.wr.usgs.gov/Glossary/PlateTectonics/Maps/map_plate_tectonics_world.html) and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Earthquake map distribution. Published by NASA and ipd because it was solely created by NASA
- Earthquake depths – earthquakes recorded across the Kuril Islands, Russia, subduction zone. Published by USGS and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Magnetic stripes. © Geoscience, redrawn by ESEU and used with permission of ESEU

- Transform faults in the South Atlantic. Published by the National Geophysical Data Center/USGS and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- ‘Hotspots’, Hawaii, USA. ESEU, as above
- Age of the ocean floor. Published by USNOAA and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Heat flow – the pattern of heat flow out of the ocean floor and the upper part of the mantle and the crust. © Chris King and Dee Edwards, redrawn by ESEU and used with permission
- Magma composition – Stromboli, Italy, lava eruption. Published by Wolfgang Beyer under the terms of GNUFDL
- Magma composition, Mount St Helens, Washington, USA. Published by USGS and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Measurements of plate movement. Published by NASA and ipd as it was solely created by NASA

#### Tablo 4.23. Continental water on Earth

Percentage data from <http://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>. Source: Igor Shiklomanov's chapter ‘World Fresh Water Resources’ in Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (Oxford University Press, New York)

- The ice cap covering Saunderson's Island in Baffin Bay near Greenland. Published by NASA and not protected by copyright
- A spring of mineral water in the Caucasus area. Published by Ivtorov under the CCA-SA International licence
- ‘Patterned ground’ produced by permafrost in the frozen tundra of the Western Arctic National Parklands, Alaska, USA. Published by the Western Arctic National Parklands under the CCA Generic licence
- Satpara lake, one of the highest lakes in Pakistan. Published by Waqas Usman under the CCA-SA Generic licence
- Damp soil from the Lüningsburg in Lower Saxony, Germany. Published by Ukko.de under the terms of GNUFDL
- Clouds at Muelle de El Quisco, Valparaíso, Chile, 1997. Published by Jorge Barrios and released ipd
- The Ratargul fresh water swamp, Forest of Sylhet, Bangladesh. Published by Md Habibur Rahman Salman under licence
- Yukon river, northern Canada. Published by Jessie Hey under the CAA-SA 2.0 Generic licence
- Tradescantia zebrina leaf viewed under microscope, showing the green stomata which release water to the atmosphere in transpiration. Published by AioftheStorm under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication

#### Tablo 4.24. Coastal features produced by waves and tides

- A storm beach at the back of Veluga beach in Batanes in the Philippines. Published by anne\_jimenez under the CCA Generic licence
- Tidal mud flats near Palau Melaka, Malacca City, Malaysia. Published by Vmenkov under the terms of GNUFDL
- The Spit, Bruny Island, Tasmania, Australia. Published by J.J. Harrison ([jjharrison89@facebook.com](https://www.facebook.com/jjharrison89)) under CCA-SA 2.5 Generic licence

#### Tablo 4.25. Problems likely to be caused by a warming Earth

#### Tablo 4.26. The contribution of life to rock-formation

- Coal-formation – leaf fossils in Carboniferous coal. From the Natural History Museum Library, London, and ipd since the copyright term is the author's life plus 70 years or less
- Reef-formation – fossil coral in the Windley Key Fossil Reef, Geological State Park, Florida, USA. Published by Fredlyfish4 under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Weathered building stone: limestone formed of broken Cenozoic bivalves and gastropods at the Temple of Zeus, Olympia, Greece. Published by Koelle under the terms of GNUFDL
- A scanning electron microscope image of coccoliths. Published by Hannes Grobe/AWI under the CCA licence
- Burrows of crab-like animals in Jurassic mudstone, Makhtesh Qatan, southern Israel. Published by Mark A. Wilson (Department of Geology, The College of Wooster), and released ipd by its author, Wilson4469, 1 at English Wikipedia

Tablo 5.1. Natural resources from the Earth

- Butchart Gardens, Victoria, British Columbia, Canada, sited in a reclaimed limestone quarry. Published by Mitzi.humphrey under the CCA-SA 4.0 International licence
- Salt evaporation ponds, La Palma, the Canary Islands. Published by Bernhard Hecke under the CCASA 2.0 Germany licence
- Membrane oxygen plant, used to extract oxygen from the air. Published by grasys.com under the terms of GNUFDL
- Farming seaweed in Indonesia. Published by Hassan Abdel-Rahman under the CCA 2.0 Generic licence

Tablo 5.2. Examples of bulk raw materials

- Glensanda granite superquarry in Scotland, one of the largest in Europe. Published by Donald MacDonald as part of the Geograph project under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Nagara limestone quarry, Toyohashi, Japan. Published by Alpsdake under the CCA-SA 4.0 International licence
- Sand and gravel pit near Lisbon, Portugal. Published by Hansueli Krapf under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Tablo 5.3. Examples of bulk raw materials used in making building materials, and the ceramic and chemical industries

- Cement works, Holcim, Eclépens, Switzerland. Published by Roland Zumbühl, [www.picswiss.ch](http://www.picswiss.ch) under the terms of GNUFDL
- A modern rotary lime kiln, Wyoming, USA. Published by P.D. Tillman and Greg Goebel from Loveland, Colorado, USA under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Cubic crystals of the mineral halite, Merkers salt mine, Germany. Published by Wampi under the CCASA 3.0 Unported licence
- Water pumped into soluble potash ore is then pumped as brine into evaporation ponds to recover the potash, Utah, USA. Published by an unknown pilot and ipd as it was solely created by NASA
- A gypsum quarry in Triassic rocks near Nottingham, England. Published by Jim Thornton as part of the Geograph project under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Excavating brick clay, Baduria, west Bengal, India. Published by Biswarup Ganguly under the terms of GNUFDL
- China clay pit near Kaznějov, Czech Republic. Published by Petr Kinšt under the CCA-SA 3.0 Unported licence

- Aerial view of the enormous silica sand pit near Frechen in western Germany. Published by Frank Herz and released ipd

Tablo 5.4. Examples of metal ore extraction

- Tom Price iron mine, Western Australia. Published by Bäräs under the terms of GNUFDL
- Bingham Canyon copper mine, Utah, USA. Published by Spencer Musick and released ipd
- Mt Isa mine, Queensland, Australia. Published by Tennis expert under the CCA-SA 2.5 Generic licence
- Commercial gold panning by the Sakalava people in Madagascar. Published by Heionlein under the CCA-SA 4.0 International licence

Tablo 5.5. Examples of industrial mineral extraction

- Rare earth mine in Bayan Obo, China. Published by NASA and ipd
- The Mir mine, Mirny, Russia. Published by Staselnik under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Tablo 5.6. The five requirements to form an oil and/or gas field

- Anticline at Pang La pass in Tibet. Published by Einar Fredriksen under the CC A-SA 2.0 Generic licence
- Mudstone in the Deakin anticline of the Silurian Yarralumla formation, Canberra, Australia. Published by Graeme Bartlett under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Sandstone naturally containing oil, from the Hutton oil field in the North Sea. Peter Craig in King C. (2017) Scottish 'Bring and Share', from the St Andrews ESTA Conference, September 2016, *Teaching Earth Sciences*, 41.2. pp 25
- Oil shale from the Eocene deposit in the Messel pit near Frankfurt, Germany. Published by Fafner under the CCA-SA 3.0 Unported licence

Tablo 5.7. Methods of protecting the environment during exploitation of natural resources

- Screening tree-planting, active basalt quarry, Hühnerberg, Bavaria, Germany. Published by Wolkenkratzer under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Bank constructed around the top of the basalt quarry near Hohenfels-Essingen, Germany. Published by Beckstet under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Settling ponds of the Cagdianao Mining Corporation iron mine in the Philippines. Published by Edgardo Caringal under the terms of the Free Art Licence
- Treatment of mine wastewater to remove metal pollution in Australia. Published by CSIRO under the CCA 3.0 Unported licence
- A truck wheel-washing system in Germany. Published by FRUTIGER Company AG under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Grass-seeded waste tips terraces of china clay, Higher Coldvreath, Cornwall, England – published by Tony Atkin for the Geograph project under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Groundwater monitoring, Coronado National Memorial, Arizona, USA. Published by SonoranDesertNPS from Tucson, Arizona, USA under the CCA 2.0 Generic licence

Tablo 5.8. Examples of remediation

- The former Jackpile-Paguete uranium mine on the Laguna Pueblo, west of Albuquerque, USA. Published by Mary Gant, NIEHS, and ipd because it is a work prepared by an officer or employee of the US Government
- Opencast coal mine and reclaimed land at the North Antelope Rochelle coal mine in Wyoming USA. Published by Peabody Energy under the CCA 3.0 Unported licence
- Preserved furnace building on an old zinc, lead and sulfur mine, Co. Tipperary, Ireland. Published by

John Gibson for the Geograph project under the CCA-SA 2.0 Generic licence

- The Eden Project in Cornwall, England. Published by Richard Johns for the Geograph project under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Student fieldwork at Apes Tor, an old limestone quarry, Staffordshire, England. Photo: Chris King

Tablo 5.9. Renewable energy sources

- A hydro canal running from the Lake Pukaki reservoir, New Zealand towards the power station turbines. Published by Mark Oliver Dittrich and released ipd
- The PS20 and PS10 solar power plants in Andalusia, Spain. Published by Koza1983 under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Biomass district heating plant near Steinfelde, Ternitz, Lower Austria – timber fuel supply in the background. Published by Herzi Pinki under the CCA-SA 4.0 International licence
- An offshore wind farm, Bạc Liêu, Vietnam. Published by Tycho under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- The Nesjavellir hydrothermal power plant at Thingvellir, Iceland. Published by Gretar Ívarsson, geologist at Nesjavellir, and released ipd
- Model of the Kislogubskaya tidal power plant in the Kola Peninsula, Russia. Published by Galin Vladimir Petrović and released ipd
- One of the three Pelamis machines bursting through a wave at the Aguçadoura Wave Park, Portugal. Published by P123 and released ipd

Tablo 6.1. Volcanic processes and their effects

- Lava fountains and lava flow, Hawaii, USA, 2004. Ipd because it is a work prepared by an officer or employee of the US Government
- Large trees flattened by the Mt St Helens blast, Washington State, USA, 1980. Published by USGS Cascades Volcano Observatory and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Mt St Helens ash eruption, 1980. Published by the Federal Emergency Management Agency Photo Library and released ipd
- Nuée ardentes flowing down Mayon Volcano, the Philippines, 1984. Published by C.G. Newhall and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Lahar burying houses near the Galunggung volcano, Indonesia, 1983. Published by Robin Holcomb, USGS, and ipd because it contains materials that originally came from USGS

Tablo 6.2. Eruptions according to the Volcanic Explosivity Index (VEI)

- Lava from Pu‘u ‘Ō‘ō volcanic cone Kilauea, Hawaii, USA, 1997. Published by Brian Snelson (exfordy on Flickr) at <http://www.flickr.com/people/exfordy/> under the CCA 2.0 Generic licence
- Eruption of Stromboli at night, Italy 1980 – volcanic bombs being fired more than 100m into the air. Published by Wolfgang Beyer under the terms of GNUFDL
- Eruption of Mt Sinabung, Medan, Indonesia which destroyed the vines, 2014. Published by Rendy Cipta Muliawan under the CCA 2.0 Generic licence
- Lahar from the Nevado del Ruiz, Colombia, eruption of 1985, with the buried town of Armero in the centre. Published by Jeffrey Marso, USGS geologist, and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- Eruption plume of the Calbuco volcano near Puerto Varas, Chile, 2015. Published by Aeveraal under the CCA-SA 4.0 International licence

- Satellite view of the 800 km-long ash plume from the 2011 Puyehue-Cordón eruption, Chile. Published by Jeff Schmaltz and ipd because it was solely created by NASA
- Ash plume of Pinatubo during the 1991 eruption in the Philippines. Published by D. Harlow and ipd because it contains materials that originally came from USGS
- The estimated area covered by the ash fall from the 1815 Tambora eruption, Indonesia. Base map taken from NASA picture Image:Indonesia\_BMNG.png, and isopach maps traced from Oppenheimer (2003). Published by Indon~commonswiki under the CCA-SA3.0 Unported licence
- The huge volcanic crater (caldera) from the three Yellowstone eruptions, Wyoming, USA. Published by Ed Austin/Herb Jones and, ipd as a work of a National Park Service employee of the US federal government

Tablo 6.3. Methods used in attempting to predict volcanic eruptions

- Earthquakes linked to the 2010 eruption of Eyjafjallajökull in Iceland. Published by Veðurstofa Íslands under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication
- GPS monitoring station, Piton de la Fournaise volcano, Réunion Island, Indian Ocean. Published by B.navez under the terms of GNUFDL
- Red high heat flow of Calbuco in Chile, 2015, against cool blue background of land and sea. Published by NASA and ipd
- Ground deformation shown by satellite, linked to the 2015 eruption of Calbuco, Chile. Published by ESA/NASA/JPL-Caltech and ipd

Tablo 6.4. The moment magnitude scale

Tablo 6.5. Some of the most dangerous earthquakes, according to the numbers of deaths

- Earthquake map distribution. Published by NASA and ipd because it was solely created by NASA

Tablo 6.6. Methods of forecasting earthquakes

- The Loma Prieta gap on the San Andreas Fault, California, USA. Ipd because it only contains materials that originally came from USGS
- Map of Japan. Published by Alexrk2 under CCA-SA 3.0 Unported licence
- Seismic hazard map of South America prepared by USGS. Published by USGS Department of the Interior/USGS and released ipd

Tablo 6.7. Building methods to resist earthquake damage

- Shear walls built to give extra strength to a building. Published by Oregon Department of Transportation, USA, under the CCA 2.0 Generic licence
- Foundation bolts and straps, Napa, California, USA. Published by Adam Dubrowa of the Federal Emergency Management Agency and so ipd
- A shake Tablo testing base-isolation methods – the regular building on the left is collapsing. University of California, San Diego, USA. Published by Shustov under the terms of GNUFDL
- Rebar network for a concrete bridge foundation. Published by Wonaw under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Automatic cut-off valve fitted to a gas main, Seattle, USA. Published by John Shea of the Federal Emergency Management Agency and so ipd

Tablo 6.8. Large tsunamis and their effects

- The effects of the Tōhoku, Japan tsunami. Published by the US Navy and so ipd
- The 2004 tsunami at Ao Nang, Krabi Province, Thailand. Published by Bild:Davidsvågfoto.JPG and may be used by anyone for any purpose

- The result of the tsunami caused by the 1883 Krakatoan eruption. From the Anales de la Sociedad Espala de Historia Natural, source: <https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/18162559072/>; ipd as it is more than 100 years old
- An artist's view of the 1755 Lisbon, Portugal, earthquake and tsunami. Ipd as it is more than 100 years old

Tablo 6.9. Methods used to increase safety during tsunamis

- The tsunami hazard warning leaflet prepared for the coastal city of Pichilemu in central Chile. Published by Gobierno de Chile, ONEMI under the CCA 3.0 Chile licence
- A tsunami wall at Tsu-shi in Japan. Published by Rudolf Ammann under the CCA 2.0 Generic licence
- The DART II network warning system buoy. This image is ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
- Tsunami warning sign, Okumatsushima, Japan. Published by David.Monnaux under the terms of GNUFDL

Tablo 6.10. Different types of landslides and flows

- Rockfall in the mountains of British Columbia, Canada, 2011. Image provided by Natural Resources Canada, Geoscape Vancouver under the terms of GNUFDL
- The Ferguson Slide on California State Highway 140, USA, 2008. Published by Eekster under CCA 3.0 Unported licence
- Rotational slumps on the larger slumped area of the old road, Mam Tor, Derbyshire, England. Published by Mike Peel ([www.mikepeel.net](http://www.mikepeel.net)) under the CCA-SA 4.0 International licence
- Vargas, Venezuela, a month after the debris flow of December 1999. Published by Veronidae under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Soil creep lobes in Wyoming, USA. Published by Jack Flanagan under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Terracettes below Morgan's Hill, Wiltshire, England. Published as part of the Geograph project by Derek Harper under the CCA-SA 2.0 Generic licence

Tablo 6.11. Major landslides

- 1920 Haiyuan earthquake which triggered the Haiyuan flows in central China. Published by User:PhiLiP and released ipd
- Widespread destruction in the Caraballeda, Venezuela, area caused by a 6m thick debris flow. Published by Smith, Lawson, US ACE and ipd as it contains materials that originally came from USGS
- Photo taken at Yungay, Peru, 10 years after the tragedy – the building with the inscription. Published by DB and released ipd
- The scar on Chokrak mountain, Tajikistan, and the landslide that destroyed Khait village. Published by R.L. Wesson (USGS) and ipd

Tablo 6.12. Landslide and rockfall risk reduction methods

- Global landslide hazard map compiled by NASA. From <https://earthobservatory.nasa.gov/images/89937/a-global-view-of-landslide-susceptibility> A wireline extensometer motoring device – connected by wire to an unsTablo area, transmitting data remotely by radio. Published by Jfoster7991 under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Traffic warning sign. Published by Oimee under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Rock terracing on Route 23, Pound Gap, Cumberland Mountains, Virginia, USA. Published by Nyttend and released ipd

- French drain ditch filled with gravel to catch sediment, with perforated pipes to carry water away. Published by Scooter133 and released ipd
- Larch trees planted on a steep loose scree slope in the Broken River Ski Field in New Zealand to control erosion. Published by Alan Liefting and released ipd
- Rock bolts at Black Rock on the coast of Sussex, England. Published as part of the Geograph project by Simon Carey under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Geotextiles. Published by Marilyn475 and ipd
- Wire mesh protection against falling rocks, Marine Drive, Llandudno, Wales. Published as part of the Geograph project by Eric Jones under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Cliff stabilised by shotcrete, Auckland, New Zealand. Published by Uploader and released ipd
- Road cutting stabilised by a natural stone wall at the base with a concrete retaining wall above, Rebernice, Slovenia. Published by Ljuba brank under the terms of GNUFDL
- Cutting stabilised with gabions in Germany. Published by Geolina163 under the CCA-SA International licence
- Boulder-catching net on a walking trail at Multnomah Falls, Oregon, USA. Published by Dar-Ape and released ipd
- Landslide protection tunnel, Narvik/Beisfjord road 751 in Norway. Published by TorbjørnS under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Rip rap boulders dropped on the coast in East Sussex, England, to protect Fairlight village above. Published as part of the Geograph project by Nigel Chadwick under the CCA-SA 2.0 Generic licence

#### Tablo 6.13. Soil erosion

- Soil erosion, Huesco province, Spain; the green field shows the difference that good farming methods can make. Published by Rockwurm under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- A dust storm in Hamadan County, Iran. Published by Saman-1984 under the CCA-SA 4.0 International licence
- Farm machinery buried by windblown dust in Dallas, South Dakota, USA, in 1936. Published by Sloan, a US Department of Agriculture employee, and so ipd

#### Tablo 6.14. Methods of reducing coastal erosion

- Rocky groyne built across the beach 'du Prevent' at Capbreton, Landes, France. Published by Tangopaso and released ipd
- Wave hitting a sea wall, Plogoff, Finistère, Bretagne, France. Published by Henri Camus under the CCA 1.0 Generic licence
- Rip rap and a sea wall, Beesands, Devon, England. Published by Nigel Chadwick as part of the Geograph project under the CCA-SA 2.0 Generic licence
- Tetrapods in a breakwater at Górký Wschodnie, Gdańsk, Poland, on the Baltic coast. Published by Andrzej Otrębski under the CCA-SA 3.0 Unported licence

#### Tablo 6.15. Waste materials needing disposal

- Rubble from a demolished building in Milovice, Czech Republic. Published by Tiia Monto under the CCASA 4.0 International licence
- Domestic waste being compacted in a landfill site in Australia. Published by Ropable and released ipd
- The Valley of the Drums toxic waste site, Kentucky, USA, in the 1980s. Published by the US Environmental Protection Agency (EPA) and released ipd



- Disposal of low level radioactive waste in Nevada, USA. Published by ENERGY.GOV and released ipd

Tablo 7.1. Some of the wide range of geoscience specialisms

- Climate scientists recording glacial data, Glacier National Park, USA. Published by AlbertHerring of the USGS under the CCA 2.0 Generic licence
- Engineering geologist logging core in Western Australia. Published by Jlawrencegeo under the CCASA4.0

International licence

- Environmental scientist reviewing an abandoned mining area in the USA. Published by My Public Lands

Roadtrip: Behind the Scenes with BLM Nevada Abandoned Mines and Lands Program Lead under the CCA 2.0 Generic licence

- Examining fresh drill core, Chile. Published by Geoz and released ipd
  - Studying the geochemistry of volcanic gases, Mount Baker, Washington, USA. Published by W. Chadwick of USGS and ipd
  - Studying glaciation, central Rongbuk glacier, Everest, Tibet. Published by Matthias Kuhle under the CCA-SA 3.0 Unported licence
  - Deploying an ocean floor seismometer off Barbados, West Indies. Published by John Whitehead of Ocean Instruments and ipd because it was solely created by NASA
  - Sampling groundwater in Germany. Published by kreidefossilien.de under the CCA-SA 3.0 Unported licence
  - Measuring snow depth in Iran. Published by Mirisa56 at Persian Wikipedia under the terms of GNUFDL
  - Fluorspar vein in a mine, Peak District, England. Published by Neilwalker at English Wikipedia under the terms of GNUFDL
  - Setting up sea floor monitoring equipment. Published by USNOAA and ipd because it contains materials that originally came from USNOAA
  - Palaeontologist with the thigh bone of a large dinosaur, Zimbabwe. Published by Kevin Walsh under the CCA 2.0 Generic licence
  - Researchers examining granite exposures in the Fosdick Mountains, Antarctica. Published by Csiddoway under the CCA-SA 4.0 International licence
  - Sediment size analysis in the lab, Naval Oceanographic Office, Mississippi, USA. This file is a work of a sailor or employee of the US Navy, taken or made as part of that person's official duties. As a work of the US federal government, the image is ipd
  - Surveying soil crusts using a quadrat. Published by 08Biocrust under the CCA 2.0 Generic licence
  - Testing samples in the crater of Mutnovsky Volcano, Kamshatka, eastern Russia. Published by Dr Jake Maule under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Tablo 7.2. Methods used to observe and record the environment to observe and record geoscientific features
- Observation of microscopic diamonds. Photo: Chris King
  - Observing a fossil with a hand lens. Published by Catherine Christopoulou under the CCA-SA 4.0 International licence
  - Landscape observation in the Peak District, England. Photo: Peter Kennett

- Folded rock sequences in the Algerian desert. Google Earth™
- Measuring the dip of a bed. Photo: Peter Kennett
- Measuring bed thicknesses. As above
- Streak of hematite samples. Published by KarlaPanchuk under the CCA-SA 4.0 International licence
- The Earth Science Education Unit rock description key. By permission of ESEU
- Geology field notes. Published by PePeEfe under CCA-SA 3.0 Unported licence
- Recording a field diagram. Photo: James Speed
- Annotated photograph, Champlain Thrust, Lone Rock Point, Burlington, Vermont, USA. Published by Ed Meyer and released ipd
- Stratigraphic log of the Lower Cretaceous Kitadani formation near Katsuyama City, Japan. Redrawn from an image published by Yoichi Azuma, Xing Xu, Masateru Shibata, Soichiro Kawabe, Kazunori Miyata & Takuya Imai under the CCA 4.0 International licence
- Stevenson screen protecting weather instruments and rain gauge. Published by Famartin under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Regular measurements are made at a Stevenson Screen. Published by J-H. Janßen under the terms of GNUFDL
- Air quality sampling in France. Published by Cjp24 under the CCA-SA 4.0 International licence
- Soil pit in the Carpathian foothills, Poland. Published by Plogeog under the CCA-SA 4.0 International licence
- Testing water quality, Port Macquarie, New South Wales, Australia. Published by Brian Tolagson under the CCA-SA 4.0 International licence
- Device for sampling the water column in the ocean. Published at <http://www.scienceimage.csiro.au/pages/about/> under the CCA 3.0 Unported licence

#### Tablo 7.3. Building geoscience observations into models and maps

- Jurassic diorama, Smithsonian Museum of Natural History, Washington DC, USA. Published by Carl Malamud under the CCA 2.0 Generic licence
- Large feldspar crystals in a finer-grained background igneous rock – showing two-stage cooling. Published by Chmee2 under the terms of GNUFDL
- The unconformity discovered by James Hutton at Siccar Point in Scotland. Published by Stuart Sutherland under the CCA-SA 4.0 International licence
- Geological map of the Copper Cliff, Sudbury Mining District, Ontario, Canada. Published by the Geological Survey of Canada under the Open Government Licence, Canada 2.0
- Soil map of Timor. Published by Seeds of Life under the CCA-SA 3.0 Unported licence
- Map of the nitrate contamination of groundwater on the Cap-Vert peninsula, Senegal. Published by J-C. Comte, O. Banton & Y. Travi under the CCA-SA 3.0 Unported licence

