

# **GENEL JEOLojİ-I DERS NOTLARI\***

**Prof. Dr. Faruk Ocakođlu**

**Osmangazi Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliđi Bölümü  
Şubat 2014, Eskişehir**

- 
- Bu notlar, “The Earth” ve “Dynamic Earth” adlarında iki İngilizce ders kitabının belli bölümlerinin kendi yaptığım çevirilerinden oluşuyor. Bazen metne ülkemizden örneklerle kendi kısa görüşlerimi de ekledim.

# İÇİNDEKİLER

1. Jeolojiye özlü bir giriş
  - 1.1. Jeoloji hakkında bazı tarihsel notlar
    - 1.1.1. Katastrofizim
    - 1.1.2. Modern jeolojinin doğuşu
  - 1.2. Jeolojik zaman
  - 1.3. Bilimsel Araştırmanın doğası
  - 1.4. Dünya'nın görünüşü
  - 1.5. Dünya'nın iç yapısı
  - 1.6. Dinamik Dünya
  - 1.7. Bir sistem olarak Dünya: Kayaç çevrimi
2. Madde ve Mineraller
  - 2.1. Mineraller
  - 2.2. Minerallerin yapısı
  - 2.3. Minerallerin fiziksel özellikleri
  - 2.4. Mineral grupları
3. Magmatik kayaçlar
  - 3.1. Magmanın kristallenmesi
    - 3.1.1. Magmatik dokular
    - 3.1.2. Magmatik bileşim
    - 3.1.3. Magmatik kayaçların isimlendirilmesi
  - 3.2. Levha Tektoniği ve magmatik kayaçlar
4. Sedimanter Kayaçlar
  - 4.1. Sedimanter kayaçların türleri
  - 4.2. Kırıntılı sedimanter kayaçlar
  - 4.3. Kimyasal sedimanter kayaçlar
  - 4.4. Sedimanların kayaca dönüşümü
  - 4.5. Sedimanter kayaçların sınıflanması
  - 4.6. Sedimanter ortamlar
5. Metamorfik kayaçlar
  - 5.1. Metamorfizmanın nedenleri
  - 5.2. Metamorfizma kayaçları nasıl değiştirir
  - 5.3. Yaygın metamorfik kayaçlar
  - 5.4. Kontak metamorfik kayaçlar
  - 5.5. Fay zonları boyunca metamorfizma
  - 5.6. Bölgesel metamorfizma
  - 5.7. Metamorfizma ve levka tektoniği
6. Jeolojik zaman
  - 6.1. Görelî Yaşlandırma
  - 6.2. Kayaç tabakalarının yaşlandırılması
  - 6.3. Radyoaktivite ile mutlak yaşlandırma
  - 6.4. Jeolojik zaman çizelgesi

# BÖLÜM-1

# JEOLOJİYE ÖZLÜ BİR GİRİŞ



**Figure 1.1** At 6194 meters (20,320 feet), Mt. McKinley in Alaska's Denali National Park is the highest peak in North America. Geologists study the process that created this majestic peak. (Photo by Carr Clifton)

## **JEOLOJİYE GİRİŞ**

Bir volkanın görkemli patlayışı, depremin yarattığı yıkım ve korku, bir dağ vadisinin büyüleyici manzarası, bir heyelanın yarattığı yıkım, bunların tümü bir jeolog için inceleme konularıdır. Jeolojik inceleme fiziksel çevre ile ilgili pek çok şaşırtıcı ve pratik sorunla ilgilenir. Hangi kuvvetler dağları ortaya çıkarmıştır? Kaliforniya ya da İstanbul'da yakında büyük ve yıkıcı bir deprem olacak mıdır? Olacaksa nereler bundan ne kadar etkilenecektir? Buzul çağı neye benziyordu? Gelecekte bir başkası gerçekleşir mi? Deniz seviyesi zaman içinde gerçekten değişiyor mu? Bu, sahil kentlerini nasıl etkileyecek? Mağaralar ve tavanlarından sarkan garip, sivri yapılar nasıl oluşur? Susuzluktan kırılan şu zavallı köy için suyu nereden, nasıl sağlayacağız? Uygun kalitede yeraltı suyunu nereden bulabiliriz? Petrolü ülkenin neresinde aramalıyız? Bunun için sondajlarımızı nerelerde yapmalıyız? Bunlar jeologun ve ülkemizde jeoloji mühendislerinin kafa yorduğu konulardan sadece bazılarıdır.

Jeoloji (ing. geology), sözcük anlamı itibarıyla Dünya'nın incelenmesi anlamına gelir. (Geo=Dünya, yerküre, logos=inceleme, bilim). Dünyayı anlamak basit bir iş olarak düşünülmemelidir, çünkü o değişmeyen bir kaya kütleli değil, uzun ve karmaşık tarihi olan dinamik bir kütledir.

Jeoloji bilimi geleneksel olarak iki geniş alana bölünür. Fiziksel ve Tarihsel Jeoloji: fiziksel jeoloji dünyayı oluşturan malzemeleri inceler, onun içinde ve üstünde halen çalışan pek çok süreci anlamaya çalışır. Tarihsel Jeolojinin amacı ise dünyanın kökenini ve zaman içerisindeki gelişimini anlamaktır. Bunun için, jeolojik geçmişte oluşmuş pek çok fiziksel ve biyolojik değişimi ortaya çıkarır, zaman dizinsel (kronolojik) olarak sıralar. Mantıksal olarak fiziksel jeoloji tarihsel jeolojiyi önceler. Çünkü, geçmişini çözmeden önce dünyanın nasıl çalıştığını, içindeki ve üstündeki düzeni anlamaya ihtiyaç vardır; ancak bundan sonra dünyanın eski devirlerindeki hikayesi sağlıklı bir şekilde çözümlenebilir.

### **Jeoloji Hakkında Bazı Tarihsel Notlar**

Dünyanın doğası, yani onu oluşturan malzemeler ve süreçler yüzyıllardır incelen gelmiştir. Fosiller, süstaşları, depremler ve volkanlar hakkındaki ilk yazılı belgeler eski Yunanlılar' a (günümüzden 2300 yıl önceye) kadar uzanır. Sümerler'de bile (günümüzden 5000 yıl önce) dünyanın oluşumu ve onu oluşturan bazı malzemelerle ilgili ilkel de olsa bazı bilgiler mevcuttur.

Kuşkusuz, en nüfuzlu eski yunan filozofu Aristo idi. Ancak ne yazık ki, Aristo'nun dünya ile ilgili açıklamaları ayrıntılı gözlem ve deneylere dayanmıyordu. O, kayaçların yıldızların etkisi altında oluştuğuna ve depremlerin yer içinde çokça bulunan havanın yine yer içindeki yangınlarla ısınması sonucu, yerden patlamalı bir şekilde kaçmasıyla meydana geldiğine inanıyordu. Bir fosille karşılaştığında "Dünyanın içinde hareketsizce pek çok balık yaşıyor ve kazıldığında ortaya çıkıyorlar" gibi kaçamak bir yanıt veriyordu. Daha sonraki zamanlarda, bu fosillerin kayaların içine sonradan girdiği yollu açıklamalar da yapılmıştır.

### **Katastrofizm**

17. ve 18. yy. 'da katastrofizm doktrini insanların dünyanın dinamiği konusundaki düşüncelerini ciddi ölçüde

etkilemiştir. Kısaca söylenirse, katastrofistler, dünyanın yüzey şekillerinin büyük ölçüde büyük katastroflar (değişim, yıkım, olay) tarafından şekillendiğine inanıyorlardı. Bu gün oluşumları için uzun zamana ihtiyaç olduğunu bildiğimiz dağlar ve kanyonlar gibi yapıların aniden, nedeni bilinemezcesine ortaya çıkan ve artık gözlenmeyen bazı felaketlerle oluştuğuna inanılıyordu. Bu düşüncenin arkasında dünya'nın o zaman tahmin edilen yaşı ile yeryüzü süreçlerinin hızını uyumlulandırma kaygısı yatmaktadır.

1600'lü yılların ortalarında, İrlandalı bir hristiyan din adamı olan James Ussher, o zaman kesin ve derinden etki yaratan bir çalışmasını yayımladı. İncil'in saygıdeğer bir izleyicisi olarak Ussher Dünya ve insanlık tarihinin bir zaman dizinini oluşturdu. Buna göre Dünya İ. Ö. 4004 yılında yaratılmıştı. Ussher'in bu çalışmaları o zamanki Avrupa'lı bilim adamları ve dinsel liderler arasında yaygın bir kabul gördü. Ve önerilen zaman dizini bir süre sonra İncil'in kenarlarına basılmaya başlandı.

### Modern Jeolojinin Doğuşu

1700'lü yılların sonları çoğunlukla modern jeolojinin başlangıcı olarak kabul edilir. Bu zamanda James Hutton adında bir iskoç fizikçi (ve aynı zamanda çiftçi) "Dünya Teorisi" adlı çalışmasını yayımladı. Bu çalışmada, Hutton, "üniformitariyanizm" (tek düzencilik) doktrini olarak bilinen bir prensibi ileri sürüyordu. Bu fikir modern jeolojinin temel prensiplerinden biridir. Basitçe şöyle ifade edilebilir ; "bugün işleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik yasalar jeolojik geçmişte de çalışmışlardır" Bu, bugün gezegenimizi şekillendirdiğini gözlediğimiz süreçlerin uzun zamandan beri varlıklarını sürdürdükleri anlamına gelir. Üniformitariyanizm çoğunlukla "Bugün geçmişin anahtarıdır" sözüyle ifade edilir.

Hutton' un "Dünya Teorisi"nden, önce hiç kimse, jeolojik süreçlerin son derece uzun zaman dilimleri boyunca oluştuklarını açıkça gösterememiştir. Hutton, küçük gözüken kuvvetlerin uzun zaman aralıkları boyunca uygulandıklarında katastrofik olayların yarattığı kadar önemli sonuçlar yaratacağını ikna edici bir şekilde ortaya koymuştur. Kendinden öncekilerden farklı olarak Hutton, görüşlerini destekleyen doğrulayıcı gözlemlerden söz etmiştir.

Hutton' un edebi tarzı (yazım şekli), sıkıcı ve zor anlaşılır olduğundan çalışmaları pek okunup anlaşılmadı. 1802'de Hutton' un arkadaşı ve meslektaşı John Playfair "açıklamalı Hutton Teorisi" adlı çalışmayı bastı. Bu çalışmada Hutton' un görüşleri daha açık ve çekici bir dille ifade edildi. Playfair' in bir çalışmasından sonra modern jeolojinin asıl ileri doğru fırlamasını sağlayan kişi İngiliz jeologu Charles Lyell olmuştur. 1830 ile 1872 yılları

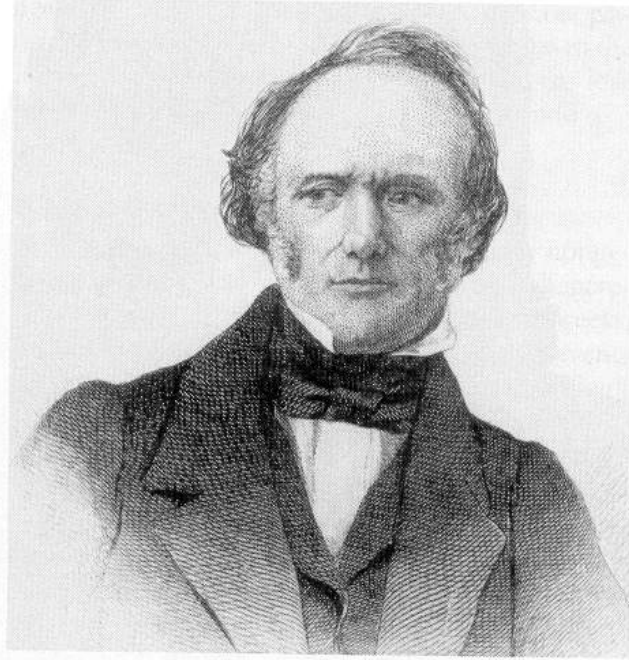


**Figure 1.2** James Hutton, the eighteenth-century Scottish geologist who is often called the "father of modern geology." (Photo courtesy of the British Museum)

arasında onun büyük eseri " Jeolojinin ilkeleri" 12 baskı yapmıştır.

Lyell öncülerinden çok daha ikna edici bir şekilde bugün gözlenen jeolojik süreçlerin jeolojik geçmişte de işlediklerini göstermiştir. Ünitariyenizm' i ilk kez Lyell ortaya atmamış olsa da, kuramı başarıyla yorumlayan ve bilim camiasına mâl eden kişi Lyell olmuştur.

Günümüzde üniformitariyenizmin temel dayanakları Lyell zamanındaki önemini korumaktadır. Ancak, bu gün şunu da anlamış bulunuyoruz ki, kuram yüzeysel ele alınmamalıdır. Geçmişteki jeolojik süreçlerin bugünkülerin aynı olduğunu söylemek, bunların aynı bağıl öneme sahip oldukları veya aynı hızla çalıştıkları anlamına gelmez. Jeolojik zaman boyunca aynı süreçler egemen olmuş bulunmakla birlikte bunların hızlarının değişken olduğu kuşkusuzdur. Ünitariyenizm' in kabulü dünyanın pek uzun tarihinin kabulü anlamına gelir. Süreçlerin şiddeti değişse de, önemli yüzey şekli özelliklerinin yaratılması ya da bozulması oldukça uzun zaman kişi Lyell olmuştur. Günümüzde üniformitariyenizmin temel dayanakları Lyell zamanındaki önemini korumaktadır. Ancak, bu gün şunu da



**Figure 1.3** Charles Lyell. Lyell's book, *Principles of Geology*, did much to advance modern geology. (Courtesy of the Institute of Geological Sciences, London)

anlamış bulunuyoruz ki, kuram yüzeysel ele alınmamalıdır. Geçmişteki jeolojik süreçlerin bugünkülerin aynı olduğunu söylemek, bunların aynı bağıl öneme sahip oldukları veya aynı hızla çalıştıkları anlamına gelmez. Jeolojik zaman boyunca aynı süreçler egemen olmuş bulunmakla birlikte bunların hızlarının değişken olduğu kuşkusuzdur. Ünitariyenizm'in kabulü dünyanın pek uzun tarihinin kabulü anlamına gelir. Süreçlerin şiddeti değişse de, önemli yüzey şekli özelliklerinin yaratılması ya da bozulması oldukça uzun zaman alır. Örneğin, jeologlar bugün ABD'de bulunan Minnessota, Visconsin ve Michigan'ın bulunduğu bölgede bir zamanlar dağların bulunduğunu belirtiyorlar. Bugün bu bölge alçak tepelikler ve düzlüklerden oluşmaktadır. Erozyon (karalan kemiren, aşındıran süreçler) bir zamanların yüksek dağların zamanla tahrip etmiştir. Tahminler Kuzey Amerika Kıtası'nın 1000 yılda 3 cm kadar aşındırıldığını göstermektedir. Bu hızla, 100 milyon yılda su, rüzgar ve buzullar dağları 3000 m civarında bir aşındırmaya maruz bırakmıştır.

Ancak bu zaman dilimi bile, dünyanın geçirdiği dağ oluşumu ve erozyon çevrimlerinin tamamının anlaşılmasına

olanak vermeyecek kadar kısadır. Uzun jeolojik devirler boyunca dünyanın sürekli değişen çehresiyle ilgili olarak James Hutton'un oldukça meşhur olan bir sözü bulunuyor. 1788 tarihli, "Transections of the Royal Society of Edinburgh"ta, basılan makalesinin sonuçlarında O, "bu incelememizin nihai amacı, şu halde, başlangıcın hiçbir kalıntısını (izini) bulamayacağımız ve nihai sonla ilgili de hiçbir tahminde bulunamayacağımızdır" demektedir.

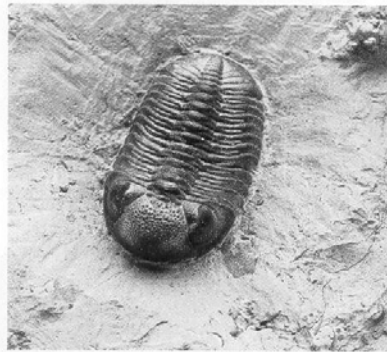
### Jeolojik Zaman

Hutton, Playfair, Lyell ve daha başka pek çokları jeolojik zamanın oldukça uzun olduğunu anlamışlarsa da, ellerinde dünyanın yaşını kesinlikle ölçmek için hiçbir araçları yoktu. 20. yy'ın başlarında radyoaktivitenin keşfiyle ve zamanla radyometrik yaşlandırmanın hassasiyetinin giderek iyileştirilmesiyle birlikte jeologlar Dünya tarihindeki olayların tarihlerini oldukça doğru bir şekilde tayin edebiliyorlar. Günümüzdeki tahminler Dünya'nın yaşını 4.6 milyar yıl olarak vermektedir.

### Bağıl Yaşlandırma ve Jeolojik Zaman Cetveli

Radyometrik yaşlandırmanın keşfinden epey uzun zaman önce 19. yy' da, bağıl yaşlandırma ilkeleri kullanılarak bir jeolojik zaman çizelgesi geliştirildi. Bağıl yaşlandırma (ing. *relativedating*), gerçek yaşları yıl cinsinden bilinmeksizin olayların oluş sırasına göre sıralanması anlamına gelir. Bu işlemden süperpozisyon yasası türünden bazı ilkelere yararlanılır; Bu yasa, deforme olmamış bir sedimanter kayaç veya lav akışında her bir tabakanın altındakinden daha genç ve üstündekinden daha yaşlı olduğunu söyler. Bugün bu yasa oldukça temel bir niteliğe sahipken 300 yıl kadar önce, bu, bağıl yaş ölçümünün mantıksal temelini oluşturarak bilimsel usavurumda çok önemli bir ilerleme sağladı. Ancak çoğu kayaç tabakası için kesin bir çökme hızı belirlenemeyeceğinden, verilen bir tabakanın ne kadar zamanda oluştuğu yine de bilinemez.

Tarihöncesi yaşamın kalıntıları veya izleri olan fosiller jeolojik zaman çizelgesinin oluşturulmasında önemli olmuşlardır. Jeolojideki temel prensiplerden biri, bütün dünyada sayısız kaya tabakalarından toplanan örneklerin onlarca yıl boyunca çalışılmasıyla ortaya çıkarılan "faunal ardılık" prensibidir. Bu prensibe göre fosil organizmalar zaman içinde birbirlerini kesin ve öngörülebilir bir sırayla takip ederler. Öyleyse herhangi bir zaman dilimi onun fosil içeriğiyle pekala tahmin edilebilir. Bir kez kurulduktan sonra böyle bir ilke, jeologlara birbirinden oldukça uzak alanlarda bazen farklı özelliklerdeki aynı yaşlı kayaçları tanımlama olanağı sağlar. Sonuçta



A.



B.

**Figure 1.6** Fossils are important tools for the geologist. In addition to being very important in relative dating, fossils can be useful environmental indicators. A. Natural cast of a trilobite. This diverse group of marine organisms was prominent during the Paleozoic era. B. This extinct coiled cephalopod, like its modern descendants, was a highly developed marine organism.



şekil 1. 7'deki gibi bir zaman çizelgesi ortaya çıkarılmıştır.

Bu şekilde devirlerin eşit zamanları içermediğine dikkat ediniz. Örneğin Kambriyen 65 My sürerken Siluriyen yalnızca 30 My sürmektedir. Jeolojik zaman çizelgesinin oluşturulması bir saatin düzenli ritmine göre değil zaman içinde yaşam formlarının değişimine göre gerçekleştirilmiştir. Yıl cinsinden tarihler, çizelgenin oluşturulmasından çok sonra çizelgeye eklenmişlerdir. Şekil 1. 7'de ayrıca Fanerozoik eon'unun daha yaşlılara göre çok daha fazla sayıda askatlara bölüldüğü dikkat çekmektedir. Yaşlı eonlarda fosillerin çok daha az bulunması bu detay eksikliğini başlıca nedenidir.

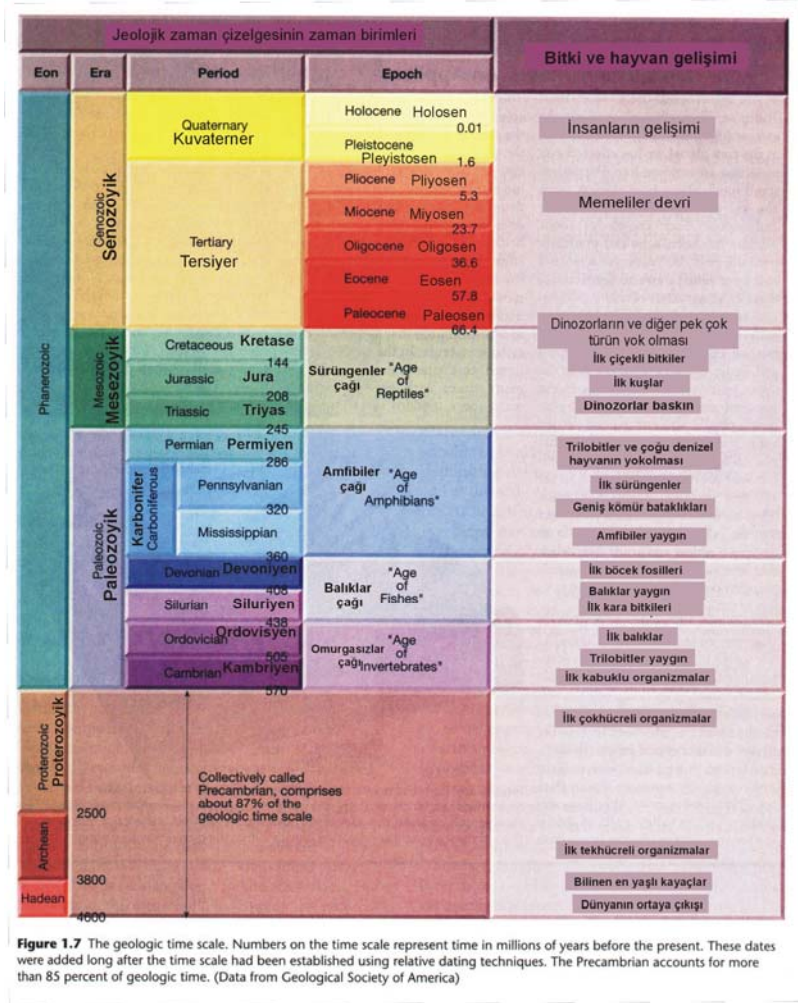
Bol fosiller olmaksızın, jeologlar jeolojik zamanı bölümllemek için önemli bir araçtan mahrum kalırlardı.

### Bilimsel Araştırmanın Doğası

Modern bir toplumun üyeleri olmak (bunun bir çeviri olduğunu unutmayınız!) bilimden kaynaklanan yararlar bize sürekli anımsatılır. Fakat bilimsel araştırmanın doğası tam tamına nedir? Bütün bilimler doğal dünyanın tutarlı ve öngörülebilir bir tarzda davrandığı kabulüne dayanır. Bilimin en genel amacı doğal dünyanın altında yatan desenleri keşfetmek, ve daha sonra bu bilgiyi verili durumlarda olması veya olmaması gerekenler hakkında öngörüler yapmak için kullanılmaktadır.

Yeni bilimsel bilginin gelişimi evrensel olarak kabul edilmiş temel, mantıksal bazı süreçleri içerir. Doğal dünyada olup biteni belirlemek için bilimciler gözlemler ve ölçümler yoluyla bilimsel olguları toplarlar. Bu veriler bilim için temeldir ve bilimsel bilginin gelişiminde sıçrama tahtası işlevini görürler.

### Hipotez





Bir kez olgular toplanıp doğal bir olguyu tanımlamak üzere formüle edildiğinde araştırmalar şeylerin "niye ve nasıl gözlemlendiği şekilde olduğunu" açıklamaya çalışır. Onlar bunu, henüz test edilmemiş bir ilk açıklama kurgulayarak yaparlar. Buna bilimsel hipotez denir. Bir olguyu açıklamak için çoğunlukla birden fazla açıklama ileri sürülür. Sonra bilimciler hipotezin doğru olması durumunda neyin gerçekleşeceğini ya da gözleneceğini düşünürler ve öngörülerinin doğrularının test edilmesi için düzenekler hazırlarlar.

Eğer bir hipotez test edilemiyorsa, ne denli ilginç olursa olsun bilimsel açıdan kullanışlı değildir. Test etme, çoğunlukla gözlemler yapma, model geliştirme ve deneyler gerçekleştirme süreçlerini kapsar.

Test sonuçları beklendiği gibi olmazsa ne olur? Bir olasılık gözlem ya da deneyde hata olmasıdır. Diğer olasılık kuşkusuz hipotezin geçerli olmamasıdır. Hipotezi reddetmeden testler tekrarlanabilir, ya da yeni testler uygulanabilir. Ne kadar çok test olursa o kadar iyidir. Bilim tarihi geçersiz hipotezler çöplüğüdür. Bu tür hipotezlerden en iyi bilineni güneş, ay ve yıldızların günlük hareketlerinin yanlış yorumuyla desteklenen dünyanın evrenin merkezinde olduğu yaklaşımıdır.

### ***Teori (Kuram)***

Bir hipotez kapsamlı yeni gözlemlere karşı hayatta kaldığında ve kendisiyle yarışan hipotezleri alt ettiğinde, bu hipotez artık bir bilimsel teori haline gelmiş sayılır. Günlük dilde, bir yaklaşımı küçümsemek için "bu yalnızca bir teori" diyoruz. Halbuki bir bilimsel teori, iyi test edilmiş çoğunlukla kabul gören bir görüştür, öylesine ki bilimciler bunu gözlenebilir olguları en iyi açıkladığı konusunda hemfikirdirler. Bir bilimsel teori için eldeki verilerin ona uygunluğu yetmez. Teoriler, kendileri yaratılırken kullanılanlardan başka ek gözlemlerle de uyum içinde olmalıdır. Dahası teoriler öngörü gücüne sahip olmalıdır.

Bilimsel teoriler de, tıpkı bilimsel hipotezler gibi geçici bir süre için kabul edilirler. Önceki testleri başarıyla aşmış bir teori sonraki testlerde pekala yıkılabilir. Teoriler yeni tezler karşısında hayatta kaldıkça daha da güçlenirler. Bu sunuculara Levha Tekniği ve Evrim kuramları örnek olarak gösterilebilir.

### **Bilimsel Yöntemler**

Bilimcinin olguları gözlemler vasıtasıyla topladığı ve onları bilimsel hipotez ve teoriler olarak formüle ettiği üstte özetlenen süreç bilimsel yöntem olarak bilinir. Yaygın inancın tersine, bilimsel yöntem bilimcinin rutin olarak uyguladığı standart bir reçete değildir. Daha çok yaratıcılık ve bakış açısı isteyen bir çabadır. Rutherford ve Ahlgren şöyle diyor; "Dünyanın nasıl çalıştığını hayal etmek ve bunun nasıl test edilebileceğini ortaya çıkarmak şiir yazmak, müzik bestelemek veya gökdelen tasarlamak gibi yaratıcılık isteyen bir şeydir."

Modern bilimsel girişimler sıklıkla yeni teknolojilerle içli dışlıdır. Hızlı bilgisayarların geliştirilmesiyle birlikte bilim adamları gerçek dünyada olan biteni taklit eden modeller yaratmaya başladılar. Bu modeller, çok uzun

zamanda gerçekleşen veya fiziksel olarak çok büyük olan veya çok uç koşullarda gerçekleşen süreçlerle çalışırken son derece yararlıdır. Örneğin kabuğun derinlerindeki koşulları taklit eden bir deney düzeneği kurmak neredeyse olanaksızdır. Kendi sorunları olmasına karşın modelleme gözlemlerimizle ölçüm arasındaki açığı kapatabilir.

Bilimcilerin çoğunlukla izledikleri sabit bir bilimsel yol yoktur. Yine de çoğu bilimsel araştırmaların şu basamaklardan geçtiğini söyleyebiliriz. 1) Gözlem ve ölçümler vasıtasıyla olguların toplanması 2) Bu olguları açıklamak üzere bir veya birkaç hipotez kurmak 3) Hipotezi test etmek için gözlem ve deneylerin geliştirilmesi. 4) Yoğun test etme ile hipotezin kabulü, değiştirilmesi ve ret edilmesi.

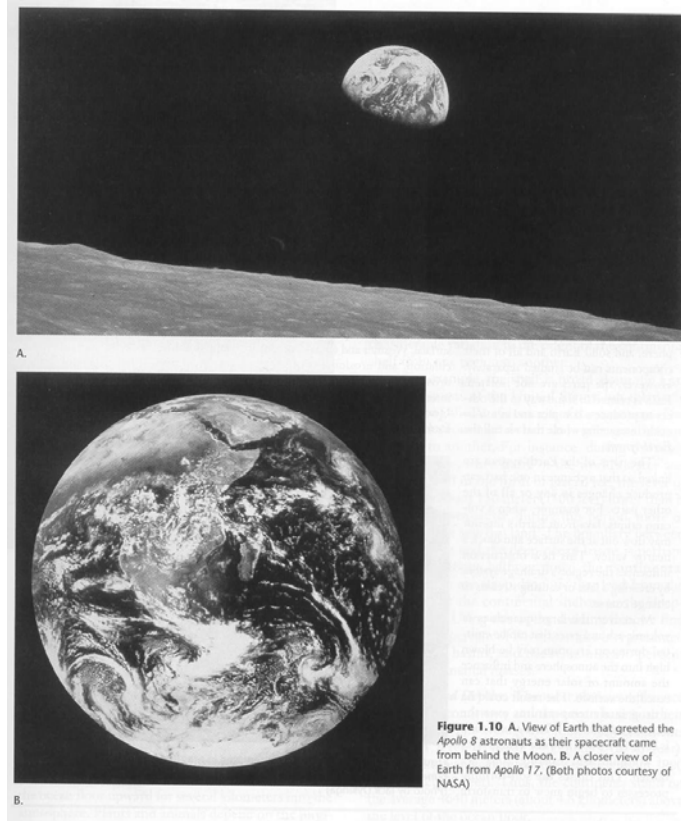
## DÜNYANIN GÖRÜNÜŞÜ

Şekil 1. 10, Apollo 8 astronotları 1968 Aralık ayında ayın çevresini ilk kez dolandıklarında ayın arkasından onları selamlayan Dünya'nın görünüşüdür. Böyle bir görünüş astronotlar kadar dünyadaki insanlara da gezegenimizin biricik perspektifini sağlamış oluyor. İlk kez uzayın derinliklerinden gözüken sonsuz evrenin siyahlığıyla çevrelenmiş küçük, kırılgan gezegenimizi gördük. Bu tür resimler yalnız görkemli ve heyecan verici değil, aynı zamanda alçak gönüllülüğe davet edicidir; çünkü bu bize, daha önce hiç olmadığı şekilde gezegenimizin evrende ne kadar küçük bir yer tuttuğunu apaçık göstermektedir.

Gezegenimize daha yakından baktığımızda onun yalnızca taş ve topraktan oluşmadığının farkına varmaya başlarız. Kuşkusuz en belirgin özellikler, kıtalardan ziyade yeryüzeyinde burgaçlar oluşturan

bulutlar ve geniş okyanuslardır. Bu bakış noktasından gözlendiğinde, dünyanın noktasından gözlendiğinde, dünyanın fiziksel ortamının neden ezelden beri 3'e ayrıldığını daha iyi anlarız. Katı dünya, gezegenimizin su bölümü ve dünyanın gazdan oluşan zarfı, yani atmosfer .

Dünyamızın fiziksel ortamlarının son derece girik, birbiriyle ilişkili olduğunu özellikle vurgulayalım. Yalnız başına kayaçların, suyun ya da atmosferin egemenliği söz konusu değildir. Daha ziyade, bu fiziksel ortam havanın suyla,



kayacın suyla ve suyun havayla sürekli bir etkileşimi ile karakterize edilir. Dahası, biyosfer, ki bu gezegenimizdeki bitki ve hayvan yaşamının tümüdür, her 3 fiziksel ortamıyla etkileşen dünyanın bütünlük bir sistemidir.

Dünyanın 4 küresi arasındaki etkileşim sürekli ve sayısızdır. Şekil 1. 11 bunun kolay gözlemlenen bir örneğini sunuyor. Sahiller su, kayaç ve havanın karşılaşma alanlarıdır. Açık denizde rüzgarın çekmesiyle oluşan dalgalar kayalık sahile yaklaştıkça kırılırlar. Suyun gücü gerçekten büyük olabilir ve bu yüzden gerçekleşecek aşınma da büyük olabilir.

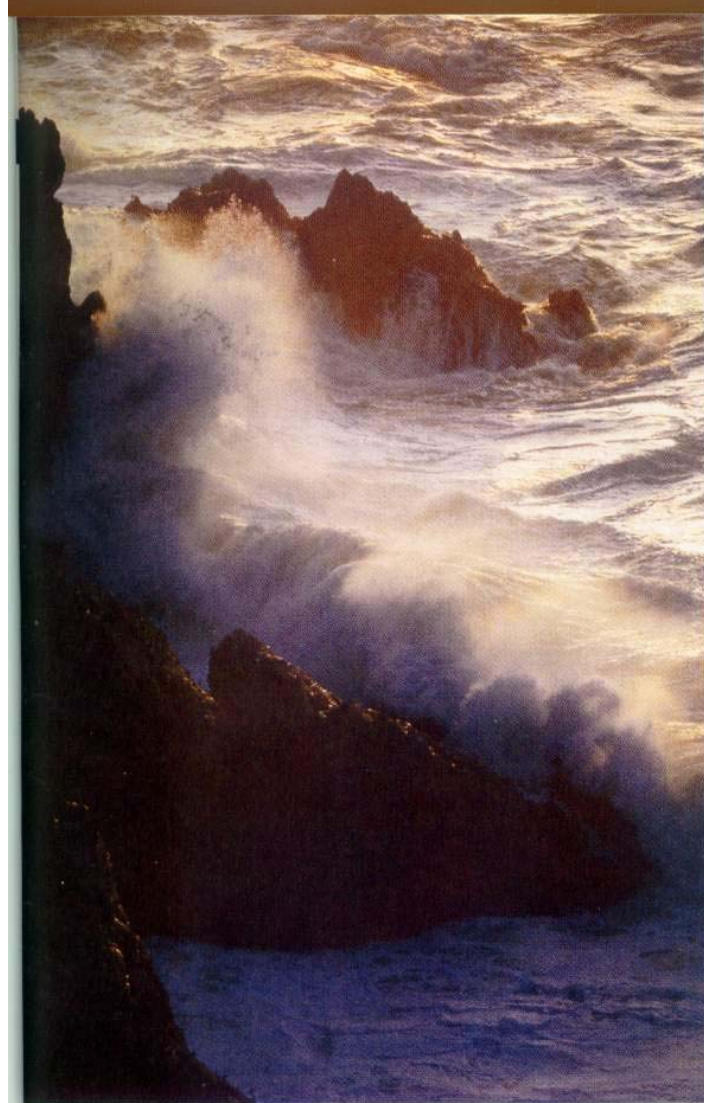
### **Hidrosfer**

Dünya bazen mavi gezegen diye de isimlendiriliyor. Dünyayı biricik kılan şey aslında sudur. Hidrosfer sürekli hareket halinde olan, okyanuslardan atmosfere buharlaşan, sonra yeniden karaya yağış olarak düşen, nihayet akarsu yataklarından okyanuslara doğru akan dinamik bir küttedir. Küresel okyanus (ing. Global Ocean; bu, birbirine bağlı büyük su kütlelerini anlatıyor) hidrosferin

en dikkat çekici özelliğidir. Dünya yüzeyinin %71'ini ve toplam suyun %97'sini kaplar. Hidrosfer tuzlu okyanus sularının yanı sıra akarsu, göl, buzul ve yeraltında bulunan tatlı suları da içerir. Bu sonuncular toplam içinde küçük bir orana sahipse de önemleri çok çok daha fazladır. Akarsu, buzul ve yeraltı suları karadaki hayat açısından önemli olduğu kadar yeryüzünün şekillenmesi açısından da son derece önemlidirler.

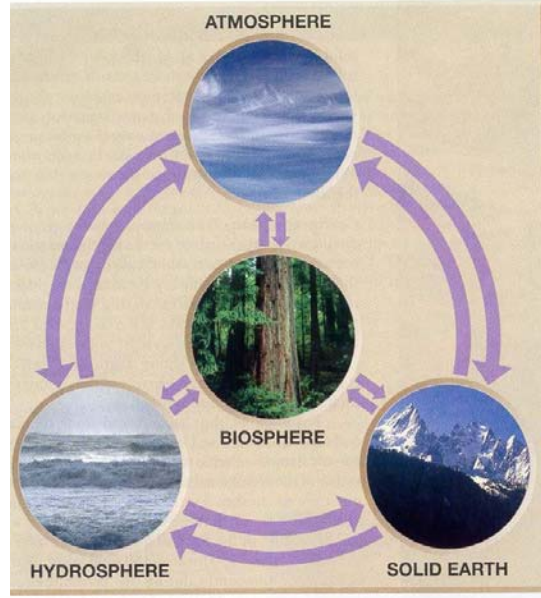
### **Atmosfer**

Dünya, atmosfer denen, hayat veren bir gaz zarfı ile çevrilidir. Dünyanın çapıyla karşılaştırıldığında pek ince olan bu hava örtüsü gezegenimizin bütünlük bir parçasıdır. Sadece solduğumuz havayı bulundurmakla kalmaz,



**Figure 1.11** The shoreline is one obvious meeting place for rock, water, and air. In this scene, ocean waves that were created by the force of moving air break against the rocky shore. The force of the water can be powerful and the erosional work that is accomplished can be great. Big Sur coast, California. (Photo by Mark Muench)

aynı zamanda güneşin yakıcı sıcaklığından ve tehlikeli morötesi ışınlarından da korur. Atmosferle yeryüzü ve atmosferle uzay arasındaki sürekli ısı alışverişi hava durumu dediğimiz olguyu oluşturur. Eğer ay gibi, dünyanın atmosferi olmasaydı sadece hayat olmamakla kalmazdı; dünya yüzeyini bu denli dinamik kılan süreç ve etkileşimlerin çoğu olmazdı. Bozunma ve erozyon olmaksızın gezegenimizin yüzü, neredeyse 3 milyar yıldır hiç değişmeyen ayın yüzeyine benzerdi.



**Figure 1.12** This schematic diagram illustrates the dynamic nature of Earth. The planet's four "spheres" constantly and vigorously interact with each other to produce a highly complex system. For more on Earth as a system, see Box 1.3.

### **Biyosfer**

Biyosfer, dünyadaki bütün canlı yaşamın kapsar. Okyanusun tabanından, atmosferde birkaç km yükseklikteki bir hacim içinde bulunurlar. Bitki ve hayvanların yaşaması için uygun fiziksel ortam gereklidir. Öte yandan organizmalar fiziksel çevreleriyle ilişkiye de girerler. Yaşam olmasaydı, katı dünyanın niteliği ve görüntüsü çok daha farklı olurdu.

### **Katı Dünya**

Atmosfer ve okyanusların altında katı dünya bulunur. Katı dünya ile ilgili çalışmalarımızın çoğu onun kolayca ulaşılabilen yüzey özellikleri üzerinedir. İyi olan şudur ki, bu özellikler yeraltındaki malzemelerin dinamik davranışının dışı yansımasıdır. Yüzeydeki en belirgin özellikleri çalışıp onların devamlılığını izleyerek gezegenimizi biçimlendiren süreçler hakkında ipuçları sağlarız.

**Kıta-okyanus geçişi:** Dünya yüzeyinin iki ana bölümü kıtalar ve okyanuslardır. Bugünkü kıyı çizgisi (sahil) bu iki bölgeyi birbirinden ayıran sınır değildir. Daha çok, kıta şelfi adı verilen kıtasal malzemeden oluşan hafifçe eğimli bir platform, sahilden denizin içlerine doğru uzanır. Şekil 1. 13'te bu kıta şelfinin bir bölgeden diğerine yayılımının oldukça farklı olduğu gözükmemektedir. Son buzul çağının sonlarında (yaklaşık 15 bin yıl önce) deniz seviyesi deniz suyunun bir kısmının buzullarda tutulması yüzünden bugünkünden 150 m daha düşüktü; ve kıta şelfleri pek dardı. Kıyı şeridi kıta şelfinin deniz tarafına doğru uç kısmında bulunuyordu.

### **Yükseltiler ve Derinlikler**

Kıta ve okyanuslar arasındaki en belirgin fark onların görece yükseklikleridir. Kıtaların ortalama yüksekliği 840 m iken, okyanusların ortalama derinliği 3800 m'dir. Bu farklı tabakaların yükseklik farkları onların yoğunluklarının bir yansımasıdır. Kıtasal bloklar, granit adı verilen, yoğunluğu suyunkinden 2, 7 kat daha fazla bir kayacın



özelliklerine sahiptirler. Okyanus havzalarındaki kabuk ise

Yoğunluğu suyunkinden 3 kat fazla olan bazaltinkine benzer bileşime sahiptir. Yine de bu yoğunluk farkı kıtaların daha yüksekte bulunmasını tam olarak açıklayamaz. Yerin 100 km derinliğinde bulunan kayaç malzemesi zayıftır ve akma

özelliğine sahiptir.

Öyleyse kırılğan

dış kabuğun bu

zayıf zemin

üzerinde, tıpkı

"iceberg" in su

üstünde yüzmesi

türünden,

yüzdüğünü

düşünebiliriz.

Daha hafif

kayaçlardan

yapılmış olan

kıtasal blokların

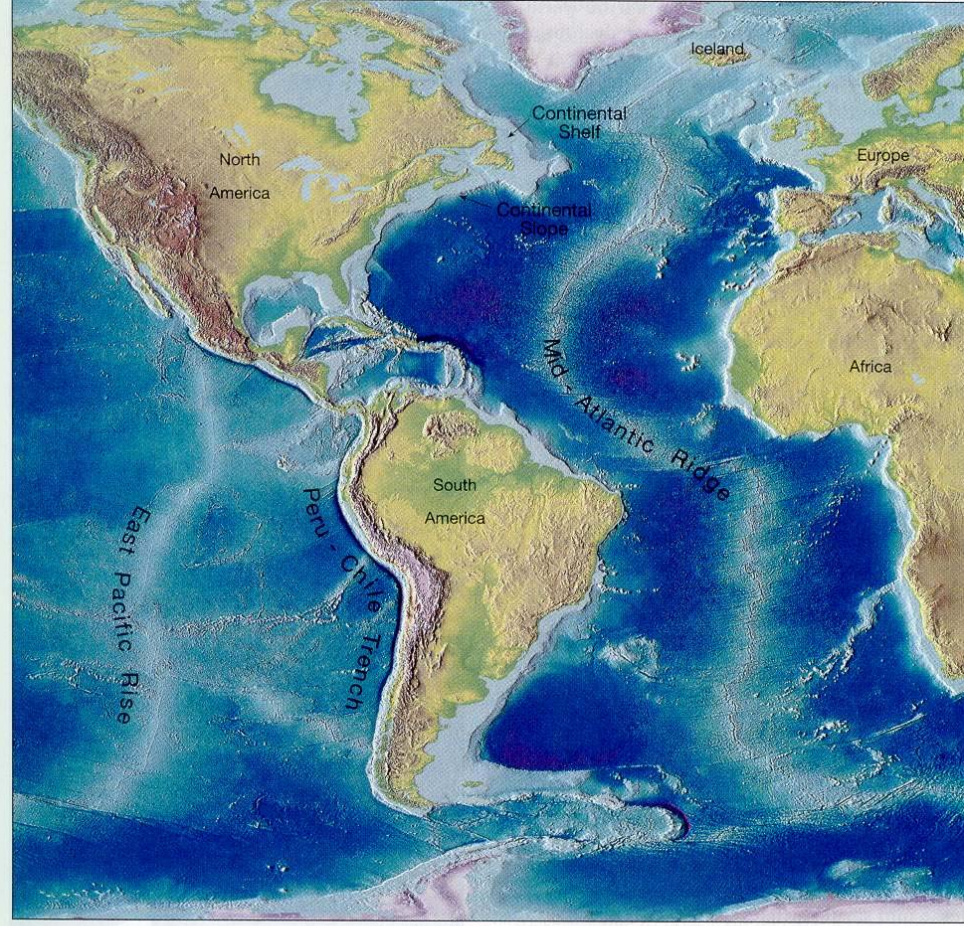
daha ince ve yoğun

okyanusal

malzemedен daha

yukarıda yüzdüğünü

düşünebiliriz.



**Figure 1.13** Major physical features of the continents and ocean basins. The diversity of features on the ocean floor is as varied as on the continents.

## Kıtalar

Bu iki alan arasındaki en büyük fark, daha öncede söylendiği gibi yükseklik farkıdır. Kıtaların en belirgin özelliği çizgisel dağ kuşaklarıdır. Bunların yayılımı rastgele gibi görünüyorsa da bu doğru değildir. En genç dağlar dikkate alındığında bunların iki zonda bulunduğunu görüyoruz. Pasifik çevresi kuşağı (ing. circum-pasific belt) iki Amerika kıtasının batı tarafındaki dağları içerir ve volkanik ada yaylan şeklinde Pasifik'e doğru uzanır. Ada yayları, deforme olmuş volkanik kayaçlardan ibaret dağlardır. Bu gruba Alaska adaları, Japonya, Filipinler ve Yeni Gine de dahildir. Diğer ana dağ kuşağı Alpler'den başlayıp doğuya İran ve Himalaya'ya ve oradan da Endonezya'ya kadar uzanır. Dağlık alanlarda yapılan dikkatli gözlemler, buraların kalın kayaç istiflerinin sıkışmasından ve oldukça etkin deformasyonundan oluştuğunu göstermektedir. Kıtalarda eski dağlar da bulunuyor. Örnek olarak ABD'nin doğusundaki Apalaşlar ve Rusya'daki Urallar verilebilir. Onların bir zamanlardaki ulu tepeleri milyonlarca yıllık aşındırma ile şimdi büyük ölçüde kemirilmiştir. Bunlardan daha yaşlıları kıtaların durağan iç kesimleridir. Bu durağan iç alanlarda kalkan olarak bilinen, kristalin kayaçlardan ibaret geniş ve düz alanlar

bulunur. Radyometrik yaşlandırmalar kalkanların gerçekten çok yaşlı olduğunu göstermektedir. Bazılarından gelen yaşlar 3. 8 milyar yılı bile geçmektedir. Bu en yaşlı kayaçlar bile büyük kuvvetlerle kıvrılıp deforme olmuşlardır.

### **Okyanus Havzaları**

Okyanus tabanları bir zamanlar içinden tek tük volkanik yapıların yükseldiği hemen hemen düz ve sedimanla kaplı, kolay tanımlanamaz bölgeler olarak düşünülüyordu. Okyanusun tabanlarına ilişkin bu kavrayış aslında doğru değildir. Okyanus havzaları, dünya üzerindeki en dikkat çekici dağ zincirlerini, okyanus sırtı sistemini içerirler. Orta Atlantik sırtı ve Doğu Pasifik sırtı bu sistemin birer parçasıdır (Şekil 13). Bu yapı bir beyzbol topunun bağları türünden bütün dünyanın çevresini 70 bin km boyunca sarmalar. Kıtalar üzerindeki dağlarda bulunan oldukça deforme kayaçları içermek yerine bunlar, eriyik kayaçların (volkanik kayaçların) birbiri üzerine birikmesi, kırklanması ve yükselmesi ile oluşurlar.

Okyanus tabanlarında oldukça derin (bazen 11 km kadar ) çukurlar da yer alır. Bu derin okyanus hendekleri dar ve okyanus tabanının az bir kesimini kapsıyorsa da oldukça önemli özelliklerdir. Bazı hendekler, kıtalara komşu genç dağların yakınında (okyanus içinde) bulunur. Diğerleri volkanik ada yayları diye isimlendirilen okyanus içindeki dağlara paralel uzanırlar.

Genç, aktif dağ kuşakları ile okyanus arasında bir ilişki var mıdır? Okyanuslar içindeki muazzam sırt sisteminin anlamı nedir? Hangi kuvvetlerdir ki kayaçları kıvrıp büyük dağların oluşumuna yol açmaktadır. Şayet gezegenimizin dinamiğini anlamak istiyorsak bu soruları yanıtlamak zorundayız.

### **DÜNYANIN İÇ YAPISI**

Dünyanın oluşmasından kısa süre sonra, çarpışan partiküllerin yaydığı enerjiye eklenen radyoaktif elementlerin bozmamasının saldıdığı ısı dünyanın içinin kısmen ya da tamamen erimesine neden oldu. Ergime ağır elementlerin, ki bunlar başlıca demir ve nikeldir, dünyanın merkezine doğru çökmesine olanak verirken daha hafif bileşenler yukarıya doğru yükseldi. Bu kimyasal farklılaşma döneminin önemli sonuçlarından birisi büyük miktardaki gaz malzemenin, tıpkı bugün volkanik patlamalarda olduğu gibi, yeriçinden kaçması oldu. Bu süreçle zamanla bir ilkel atmosfer gelişti. Atmosfer sayesinde ki bu gezegen üzerinde yaşam ortaya çıkabildi.

Genel olarak yer içi sıcaklık, basınç ve yoğunluğun dereceli olarak artışı ile karakterize edilir. Deneyler ve modellere dayanılarak yapılan tahminler 100 km derinde sıcaklığın 1200 ile 1400 °C arasında olduğunu; çekirdek-manto arasında 4500 °C ve dünyanın merkezinde ise 6700 °C sıcaklık bulunduğunu gösteriyor. Açık ki yerin içi sıcaktır; ancak enerji yavaş ama sürekli bir şekilde yer içinden uzaya doğru akmaktadır.

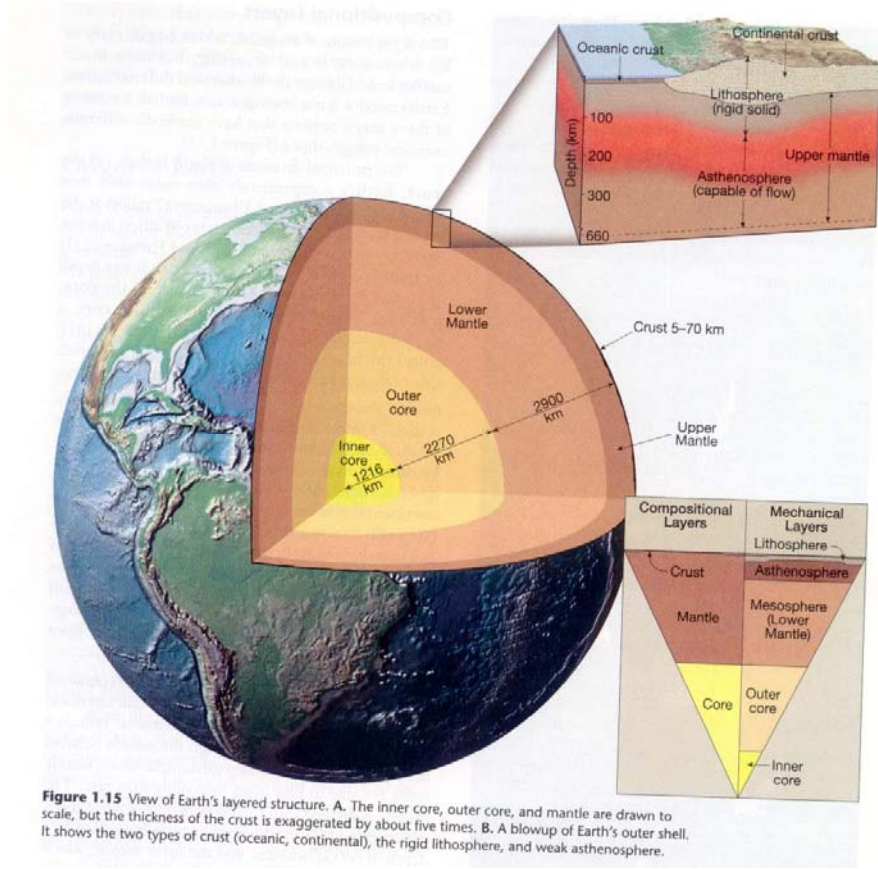
Eğer sıcaklık malzemenin eriyikliği üzerinde tek belirleyici faktör olsaydı gezegenimiz ince bir kabukla kaplı eriyik bir küre olurdu. Halbuki durum farklı değildir. Basınç derinlere doğru gittikçe artar. Bir miktar hacim artışı da getiren ergime derinlerde yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Çünkü buralarda basınç yüksektir. Derinlikle birlikte basıncın artması yoğunlukta da bir artışı getirir. Bunların yanında sıcaklık ve basınç dünyadaki malzemelerin mekanik davranışını veya dayanımlarını da büyük ölçüde etkiler. Özellikle bir mineral



ergime noktasına yaklaşıldıkça kimyasal bağlarını kaybeder, mekanik dayanımını yitirir.

### Bileşimsel Katmanlar

Yer tarihinin erken aşamasında başlayan malzeme göçü, çok daha küçük ölçekte olmakla birlikte halen sürmektedir. Bu kimyasal farklılaşma nedeniyle yer içi homojen değildir. Belirgin şekilde farklı kimyasal bileşime sahip 3 ana bölgeden oluşur.



Dünyanın ana bölümleri şunlardan oluşur;

- (1) Kabuk (Crust): Kalınlığı 3 km'den (okyanus sırtlarında ) 7 km'ye (dağ kuşaklarında) kadar değişen dünyanın kısmen ince dış derişidir.
- (2) Manto (Mantle): Kabuk tabanından 2885 km derine kadar uzanan katı kayaç örtüşüdür.
- (3) Çekirdek (Core): Dış ve iç çekirdek olarak bölünebilir. Dış çekirdek eriyik metalik katmandır. 2270 km kalınlığındadır. İç çekirdek katı, demirce zengin 1216 km çapındaki küttedir.

**Kabuk** : Dünyanın en dıştaki kırılğan bölümü olan kabuk okyanusal ve kıtasal olmak üzere iki bölüme ayrılır. Okyanusal kabuk tipik olarak 3-15 km kalınlıktadır ve bazalt adı verilen koyu renkli magmatik kayaçtan oluşur. Buna karşın kıtasal kabuğun üst kesimi, ortalama olarak granodiyorit adı verilen granitik kayaçların bileşimine sahip değişik türden kayaçlardan oluşurlar. Okyanusal kabuğun kayaçları (180 milyon yıldan daha genç) kıtasal litosfer kayaçlarından genelde daha gençtir. Kıtasal kayaçlar ortalama  $2.7 \text{ gram/cm}^3$  yoğunluğa sahiptirler ve bazıları 3.8 milyar yıl yaşındadırlar.

**Manto**: Dünya hacminin %82'si, 2900 km kalınlığında kayalık bir örtü olan manto tarafından kaplanır.

Kabuktan mantoya geçiş bileşimsel bir farklılığı yansıtır. Manto, deprem dalgalarını iletirken bir katı gibi davranmakla birlikte manto kayaçları inanılmaz düşük bir hızla akabilme yeteneğine sahiptirler. Manto da, alt manto (mezosfer: manto-çekirdek sınırından 660 km derine kadar) ve üst manto (660 km-kabuğun alt sınırına kadarki kesim) olarak bölümlenir.

**Çekirdek:** Çekirdek büyük oranda demir ve daha az olarak nikel ve diğer elementlerden oluşur. Çekirdekte bulunan büyük basınç nedeniyle demirce-zengin bu malzeme  $11 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahiptir. İç ve dış çekirdek bileşimsel olarak oldukça benzerdir. Ayrımları mekanik dayanım farklılığına dayanılarak yapılmıştır. Dış çekirdek akabilme özelliğine sahip bir sıvıdır. Dönen gezegenimizin çekirdeği içindeki sirkülasyon yer manyetik alanını oluşturur. Daha yüksek sıcaklığına karşın iç çekirdek bir katı gibi davranır.

### **Mekanik Tabakalar**

Bugün biliyoruz ki mantonun üst kesimi ve dünyanın en dış bölümü kısmen soğuk ve kırılğan niteliktedir. Bu bölüm oldukça farklı kimyasal bileşime sahip malzemelerden oluşur. Ancak mekanik deformasyona bir tek kütleymiş gibi yanıt verirler. Dünyanın bu en dıştaki kırılğan kabuğuna litosfer (kaya küre) ismi verilegelmiştir. Ortalama 100 km kalınlığı olmakla birlikte litosfer yaşlı kıtaların (kalkanların) altında 250 km ve hatta daha kalın, okyanus sırtlarında yalnızca birkaç km, yaşlı okyanuslarda 100 km kadar olabilmektedir.

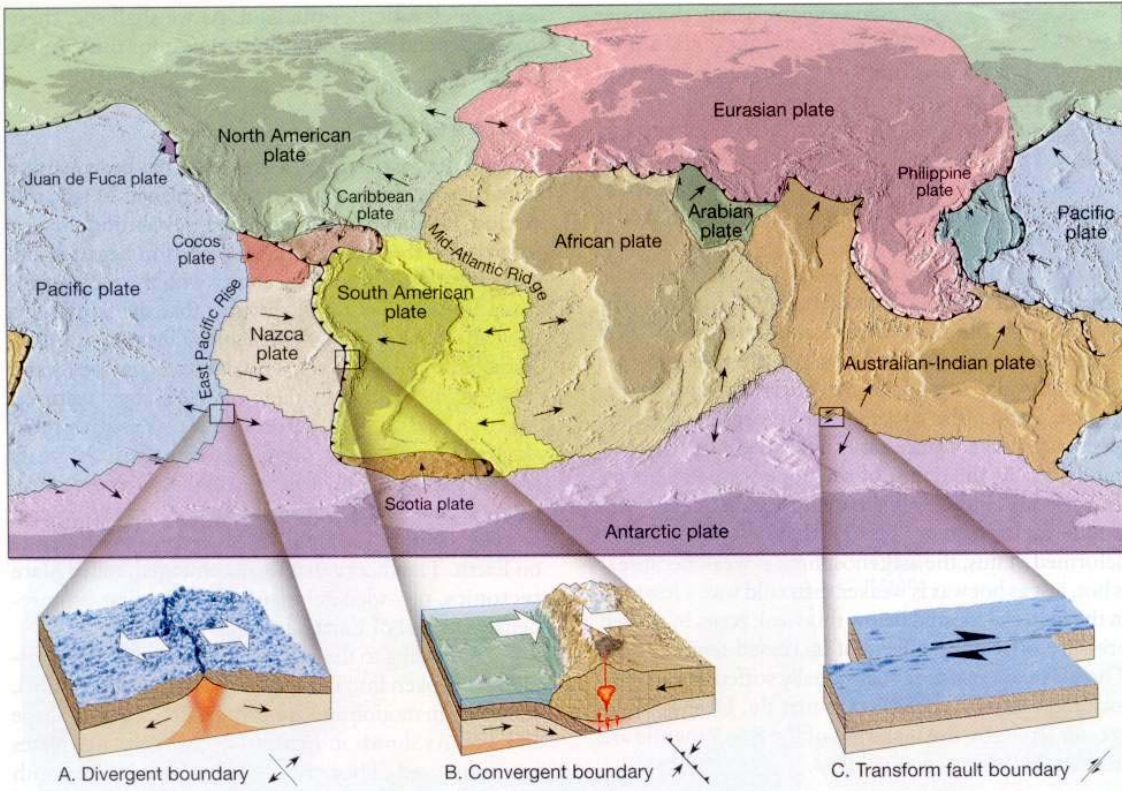
Litosferin altında, yumuşak kısmen zayıf bir katman olan astenosfer (zayıf küre) bulunur. Astenosferin üstten 150 km kadarlık bir bölümü içinde az miktarda erimenin gerçekleşebileceği bir sıcaklık /basınç rejimine sahiptir. Bu çok zayıf zon içerisinde, litosfer daha alttaki astenosferden ayrılmıştır. Sonuçta litosfer astenosfer üzerinde bağımsız olarak hareket edebilmektedir.

Şurası önemlidir ki, yerküredeki değişik malzemelerin dayanımları onların bileşimleri yanında üzerlerine etkiyen basınç ve sıcaklığa da bağlıdır. Dolayısıyla derinlere doğru gidildikçe kayaçların mekanik dayanımı azalır, daha kolay deforme olurlar. Üst astenosfer derinliklerinde artık kayaçlar ergime noktalarına yaklaştıklarından dayanımları epey azalmıştır. Bu zonun daha altlarında basınç artan sıcaklığın etkisini hafifletir ve kayaçların dayanımını artırır.

### **Levha Tektoniği**

1968 yılıyla birlikte kıta kayması ve deniz tabanı yayılması kavramları Levha Tektoniği olarak bilinen daha kapsamlı bir teori halinde birleştirildi. Levha tektoniği Yer litosferinin yitim ve deniz tabanı yayılması mekanizmasıyla gözlenen hareketini açıklayan, ki bu hareketler sonucu kıtalar ve okyanus havzaları oluşuyor, değişik düşüncelerin bir birleşimidir. Levha tektoniğinin ima ettiği şeyler o kadar sınırsızdır ki, sonuçta bu teori pek çok jeolojik sürecin algılanmasına bir zemin oluşturdu.

Levha tektoniği modeline göre, mantonun en üst kısmında yer alan kabuk litosfer olarak bilinen, rijit ve dayanımlı bir tabaka olarak davranmaktadır. Bu en üst kabuk mantodaki astenosfer adı verilen daha zayıf bir bölge üzerinde



**Figure 1.16** Mosaic of rigid plates that constitute Earth's outer shell. (After W. B. Hamilton, U.S. Geological Survey)

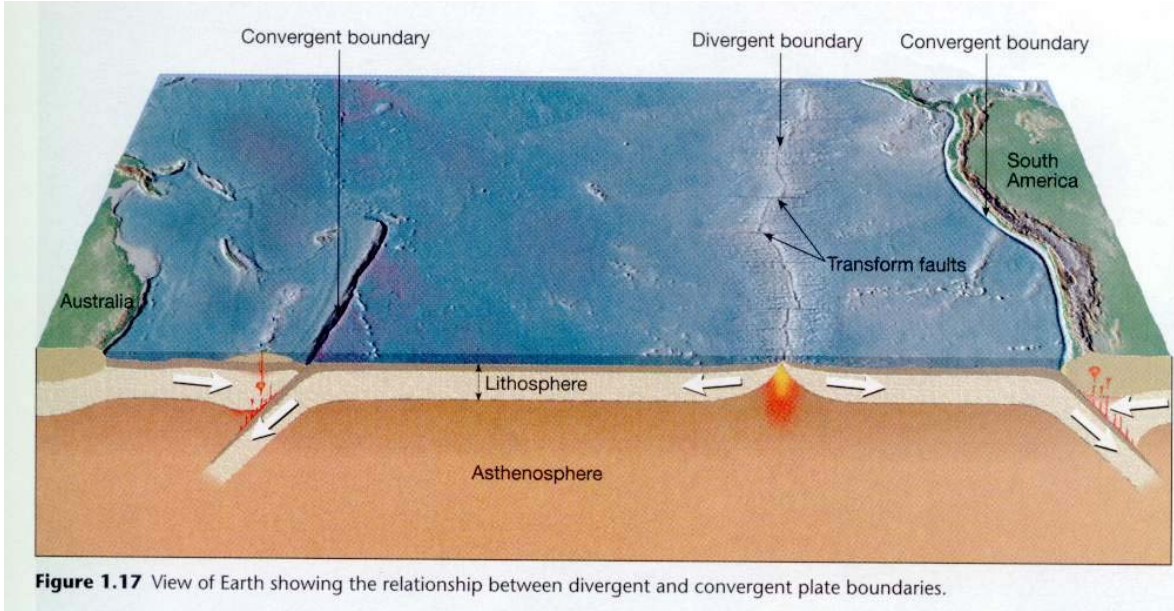
yer alır. Dahası, litosfer "Levha" adı verilen çok sayıda parçaya bölünmüştür. Bunlar sürekli hareket halindedir ve şekil ve boyut açısından değişime uğrarlar. Şekil 19. 17' de gözüktüğü gibi, başlıca 7 büyük levha tanınmıştır. Bunlar Kuzey Amerika, Güney Amerika, Pasifik, Afrika, Avrasya, Avustralya ve Antartik levhalarıdır. Bu şekilde, bazı büyük levhaların bir kıtanın tamamıyla birlikte geniş bir deniz tabanı da kapsadığına dikkat ediniz (Örneğin Güney Amerika Levhası). Bu durum Wegener'in kıta kayması hipotezinden büyük bir sapmadır. Wegener, kıtaların okyanus tabanı boyunca hareket ettiğini ileri sürmüştü, ancak okyanus tabanı ile birlikte hareket ettiğini düşünmemişti. Belirtilen şekilde, ayrıca, hiçbir levhanın sınırının tamamen kıta kenarları tarafından belirlenmediğine de dikkat ediniz.

Bu yedi büyük levhaya ek olarak bir de orta boy levhalar vardır: Karayip, Nazka, Filipin, Arap, Kokos ve İskoçya levhaları. Bunlara ek olarak bir düzine kadar Şekilde gösterilmemiş küçük boyutlu levhanın varlığını belirtelim.

Bugün biliyoruz ki, litosferik levhalar oldukça yavaş (yılıda birkaç santimetre mertebesindeki) hızlarla fakat sürekli bir şekilde hareket etmektedirler. Bu hareket, yer içindeki eşit olmayan ısı dağılımı tarafından sürdürülmektedir. Yerin litosferik levhalarının devasa öğütücü hareketi depremlere neden olur, volkanları oluşturur ve çok miktarda kayacı dağlar şeklinde deforme eder.

### ***Levha Sınırları***





Levhalar, çevresindeki başkalarına göre yekpare kütsel bir hareket halindedirler. Levhaların iç kısımları deforme olabilir de, tek tek levhalar arasındaki asıl etkileşim (ve dolayısıyla deformasyonun çoğu) levhaların sınırlarında oluşur. Aslında levha sınırlarının belirlenmesine ilişkin ilk girişimler deprem yerleri kullanılarak yapıldı. Sonraki çalışmalar levhaların üç farklı sınırla bağlandığını, ve bu üç sınırın farklı hareketler sergilediğini ortaya çıkardı. Bu sınırlar;

- 1- Uzaklaşan Sınırlar (Divergent boundaries): Buralarda levhalar birbirlerinden uzaklaşırlar; bu, yeni deniz tabanı oluşturmak üzere magma malzemesinin yukarıya doğru yükselmesine yol açar
- 2- Yaklaşan Sınırlar (Convergent boundaries): Buralarda levhalar birbirlerine yaklaşırlar ve sonuçta okyanusal litosferi mantoya dalarak tükenmesi gerçekleşir.
- 3- Transform Faylı Sınırlar: Buralarda, levhalar litosfer oluşum veya yitimi gerçekleşmeksizin, birisi diğerinin yanından sürtünerek geçer.

Her bir levha bu sınırlardan birkaçı ile sınırlanmıştır. Örneğin Nazka levhası, batıda bir uzaklaşan sonra, doğuda yaklaşan sınıra ve uzaklaşan sınırları atıma uğratan birçok transform fayla sınırlanmıştır. Her ne kadar dünyanın toplam yüzey alanı değişmiyorsa da, yaklaşan ve uzaklaşan levhaların dağılımına göre alan açısından büyüyüp küçülebilirler. Örneğin Atlantik ve Afrika levhaları neredeyse tamamen uzaklaşan sınırlar tarafından çevrelenmiştir ve bu yüzden alan açısından giderek büyümektedirler. Bunun tersine Pasifik levhası kuzey ve batı kenarları boyunca mantoya dalarak tüketilmektedir, ve bu yüzden alanı azalmaktadır.

Bunların ötesinde, bu rijit bloklara etkiyen kuvvetlere bir yanıt olarak yeni bazı levha sınırları da oluşabilir. Örneğin kısmen yeni bir levha sınırı Doğu Afrika rift vadisi olarak bilinen bölgede halen gelişimini sürdürmektedir. Eğer burada yayılma devam ederse Afrika levhası bir okyanusla bölünmüş iki levhaya ayrılacaktır.

## KAYAÇ ÇEVİRİMİ

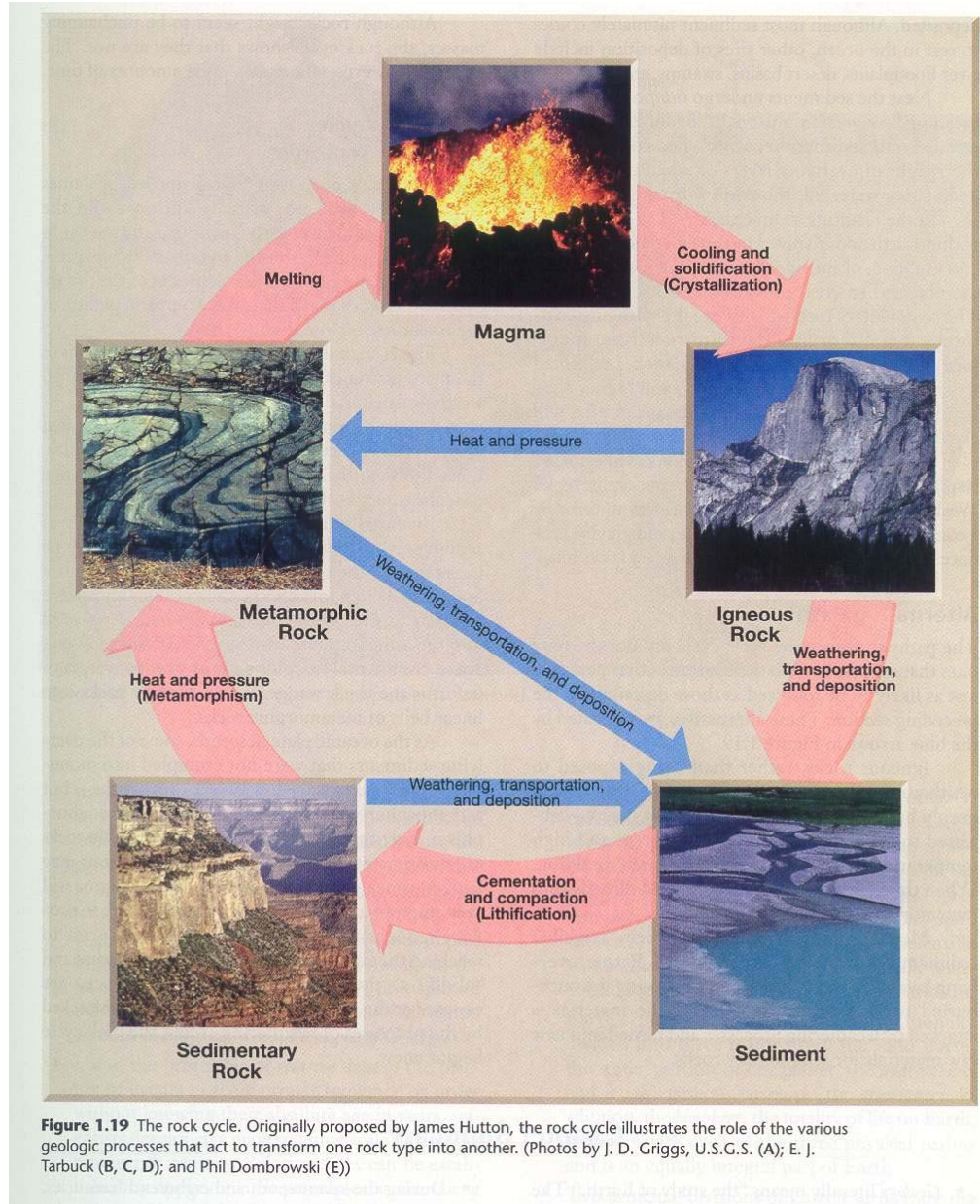
Dünya bir sistemdir, bu, onun birbiriyle etkileşen parçalardan ibaret bir bütün olduğu anlamına gelir. Dünyanın bir sistem olduğunu en iyi örnekleyen kayaç çevrimidir. Kayaç çevrimi dünyanın farklı bölümlerinin karşılıklı ilişkilerini görmemizi sağlar. Magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaçların kökenim ve birbirleriyle ilişkilerini anlamamıza yardımcı eder.

**Temel Çevrim:** Şekil 1. 19'un en üstü ile başlayalım. Magma, Dünya içinde oluşan eriyik malzemedir.

En nihayetinde magma soğur ve katılaşır. Kristallerime denen bu süreç yerin altında derinlerde oluşabileceği gibi bir volkanik patlamadan sonra yüzeyde de oluşabilir. Her iki durumda da oluşan kayaçlara magmatik kayaçlar (bazen akkor kayaçlar da deniyor) denir.

Magmatik kayaçlar yüzeylendiklerinde

(üstlerindeki aşındırılmasıyla yüzeye çıktıklarında) bozunmaya uğrarlar, gündün güne atmosferik ekiler onları yavaş yavaş ayrıştırır. Oluşan malzeme yamaç aşağı çekim etkisiyle sürüklenir, daha başka değişik alanlarla



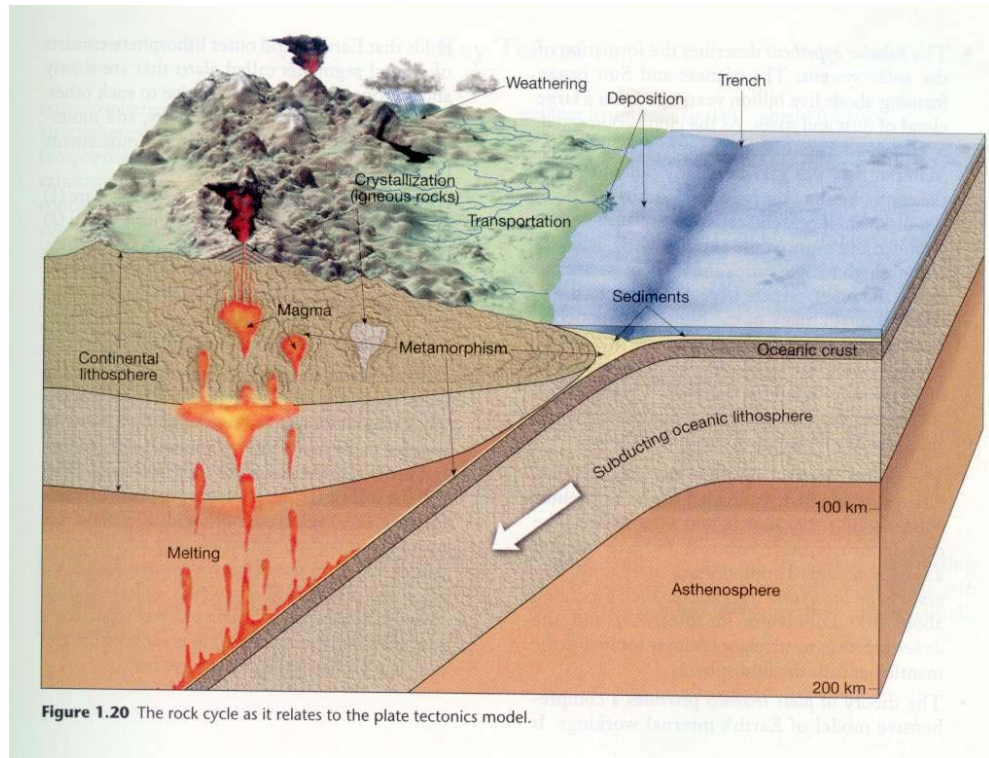


-akarsu buzul, rüzgar, dalga gibi -değişik mesafelere taşınırlar. Sediman denen katı veya çözülmüş maddeler en nihayetinde bir yerlerde çökler. Bu çökme ortamı çoğunlukla okyanuslar olmakla birlikte akarsu yatakları, çöller, bataklıklar da çökme alanlarıdır.

Çökelen bu sedimanlar "taşa dönüşme anlamına gelen" taşlaşmaya (ing. Lithification) uğrarlar. Sedimanlar taşlaşarak sedimanter kayalara dönüşürler. Taşlaşma süreci üstteki sedimanların ağırlığıyla gözeneklerin azalması/tıkızlaşma ve gözeneklerin kimyasal çökellerle doldurulması süreçlerini içerir.

Böylece oluşan sedimanter kayaç üstüne yeni sedimanların gelmesiyle yerin derinlerine doğru gömülerek dağ oluşum süreçlerine katılırsa veya sonradan sokulan bir magma tarafından ısıtılırsa yüksek basınç veya sıcaklığa maruz kalmış olur. Bu koşullarda sedimanlar kayaç değişen ortam koşullarına ayak uyduracak ve üçüncü bir kayaç tipine, metamorfik kayaca dönüşecektir. Metamorfik kayaç çok daha yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kaldığında eriyecek ve magmayı oluşturacaktır.

Yerinin ısısı magmatik ve metamorfik kayaçların oluşumlarında n sorumludur. Güneş enerjisi ve yerçekimi tarafından yönlendirilen yüzey süreçleri (bozunma ve aşınma) sedimanları oluşturur, bunlar ise taşlaşarak sedimanter kayalara dönüşürler.



### Kayaç Çevrimi ve Levha Tektoniği

James Hutton, ilk kez kayaç çevrimi kuramını ileri sürdüğünde bir kayacın diğerine nasıl dönüştüğü ile ilgili pek az şey



biliyordu. Ancak Levha Tektoniği kuramının doğmasıyla kayaç çevriminin tam bir resmini ortaya çıkarmak mümkün oldu.

Sekil 20, levha tektoniği vasıtasıyla kayaç çevrimini göstermektedir. Bu modele göre kara kütlerinden aşındırılan malzeme kıta kenarlarına taşınır ve oralarda kalınlığı binlerce metre olan sedimanter tabakalar olarak çökeltirler ve taşlaşır. Bir kıta kenarının sakinliği buranın bir yakınlaşan levha sınırına dönüşmesiyle aniden değişir. Böyle yerlerde okyanusal levha astenosferin içine doğru dalmaya başlar ve zamanla kıta kenarındaki sedimanları dalmanın fiziksel zorlamasıyla deforme edip metamorfizmaya uğratar.

Okyanusal litosfer daldıkça üzerindeki bir miktar sedimanter kayaç ta mantoya doğru sürüklenir, orada metamorfizmaya uğrar ve sonra da ergir. Buradan oluşan magma litosfer içinde yükselerek magmatik kayaçları oluşturur. Bunlardan bazıları derinlerde bazıları da yüzeye çıkarak katılaşır. Magmatik kayaçlar yüzeyle temas haline geldiğinde derhal bozunma süreçlerinin taarruzuna uğrarlar. Böylece yeni bir kayaç çevrimi başlamış olur.

# BÖLÜM-2

## MADDE VE MİNERALLER

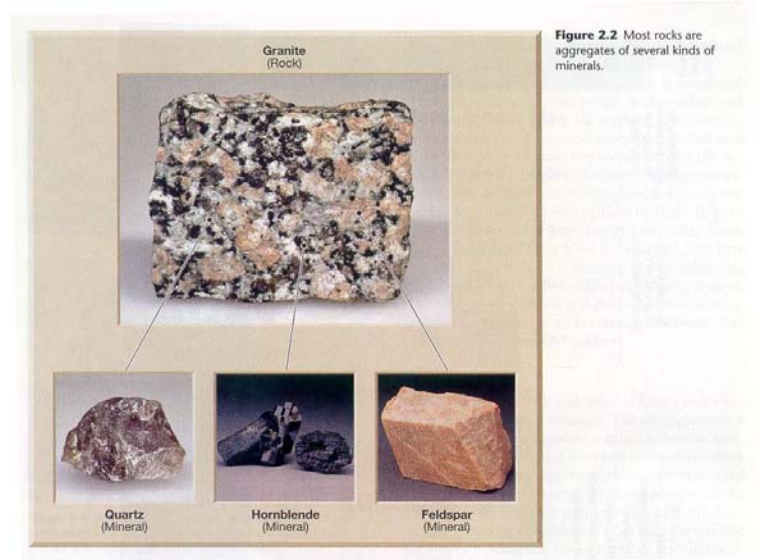


Yeryüzü ve okyanus tabanları pek çok çeşit yararlı ve önemli minarellerin kaynağıdır. Aslında her mamul ürün minarellerden elde edilen bazı maddeleri içerir. Çoğu insan, pek çok baz metalin değişik kullanım alanları olduğunu bilir; alüminyum içecek kutularında, bakır elektrik tellerinde, altın ve gümüş mücevheratta kullanılır. Ancak bazı kişiler kurşun kalem uçlarının yağlı hissi veren grafiti içerdiğini, bebek pudrasının talk adlı bir metamorfik mineralden yapıldığını bilmez. Yine pek çoğumuz üzerine elmas aşındırıcılar yerleştirilmiş matkapların diş doktorları tarafından kullanıldığını veya yaygın bir mineral olan kuvarşın bilgisayar çiplerindeki silikonun kaynağı olduğunu bilmez. Modern toplumun mineral gereksinimi arttıkça, yararlı minerallere olan ek talebi karşılamak ihtiyacı artmakta ve bu iş daha da güçleşmektedir. Kayaç ve minerallerin ekonomik kullanımına ek olarak, jeologların incelediği bütün süreçler bu temel yer malzemelerinin temel özelliklerine bağlıdır. Volkanik patlamalar, dağ oluşumu, bozulma ve aşınma, ve hatta depremler kayaç ve minerallerle ilgilidir. Sonuç olarak jeolojik olayların anlaşılması için yerin malzemeleri ile ilgili temel bir bilgi mutlaka gereklidir.

### Mineraller : Kayaçların Yapıtaşları

Dünya' daki malzemelerle ilgili tartışmamıza bir mineraloji (minerallerin incelenmesi) özeti ile başlayalım; çünkü mineraller kayaçların yapı taşlarıdır. Jeologlar, minerali doğal olarak oluşan, düzenli iç yapıya ve belli kimyasal bileşime sahip bir inorganik katı olarak tanımlarlar. Şu halde mineral olarak tanımlanan her yer malzemesinin şu özellikleri göstermesi beklenir.

- 1- Doğal olarak oluşmalıdır
- 2- İnorganik olmalıdır
- 3- Katı olmalıdır
- 4- Düzenli bir iç yapıya sahip olmalıdır, yani atomları belli bir desenle düzenlenmiş olmalıdır.
- 5- Belirlenen sınırlar içinde değişebilen kesin bir kimyasal bileşime sahip olmalıdır.



Buna göre kimyacıların elde ettiği yapay elmaslar ve daha pek çok yararlı madde mineral olarak düşünülemez. Ek olarak, opal olarak bilinen süstaşları da mineraloid olarak sınıflanır, çünkü bunların düzenli bir yapısı bulunmaz.

Kayaçlar ise biraz daha gevşek bir şekilde tanımlanırlar. Bir kayaç basitçe, gezegenimizin bir parçası olarak oluşan bir mineral kütleli veya mineral benzeri katı küttedir. Az sayıda kayaç nerede ise tamamen bir tek mineral türünden oluşur. Bunun yaygın bir örneği saf olmayan kalsit minerali kütlelerinden oluşmuş bir sedimanter

kayaç olan kireçtaşıdır. Ancak çoğu kayaç granit gibi birkaç tür mineral yığılmasından oluşur. Burada yığılma sözcüğü, tek tek özellikleri iyi korunan minerallerin birleşip kenetlenmesini anlatmaktadır. Bir granite çıplak gözle baktığınızda onun tek tek mineral birleşimlerini görebilirsiniz. Az sayıda kayaç mineral olmayan maddelerden oluşmuştur. Volkanik kayalardan olan obsidyen ve pümis (kristalin olmayan camı maddelerden oluşurlar) ve katı organik kalıntılardan oluşan kömür bu gruba girerler.

## Minerallerin Bileşimi

Dünya'daki yaklaşık 4000 mineralin her biri kimyasal birleşimi ve iç yapısı ile tanımlanır. Başka deyişle, aynı minerale ait her örnek aynı tarzda tekrarlanarak bir araya gelen bazı elementleri içerir. Önce kısaca minerallerin yapıtaşları olan elementleri ele alacağız; ardından elementlerin mineral yapılarını oluşturmak üzere nasıl bir araya geldiklerini inceleyeceğiz.

The periodic table is organized into groups and periods. The groups are labeled IA through VIIA, and the periods are labeled 1 through 7. The elements are color-coded according to their properties:

- Metals (Red):** Groups IA, IIA, IIIA, IVB, VB, VIB, VIIB, VIII, IB, IIB.
- Transition metals (Orange):** Groups IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, VIII, IB, IIB.
- Nonmetals (Yellow):** Groups VA, VIA, VIIA.
- Noble gases (Green):** Group VIIIA.
- Lanthanide series (Blue):** Elements 57-71.
- Actinide series (Purple):** Elements 89-103.

Each element cell contains its atomic number, symbol, atomic weight, and name. The table also includes a legend for the color coding and a note about the tendency to lose or gain electrons for different groups.

Figure 2.3 Periodic Table of the Elements.

Şu an 112 element biliniyor. Bunlardan 92'si doğal olarak oluşuyor. Bazı mineraller, örneğin altın ve kükürt yalnızca bir element türünden yapılır. Ancak çoğu mineral iki ya da daha çok elementin kimyasal olarak kararlı bir yapı oluşturmak üzere bağlanmasından oluşurlar. Elementlerin molekül ve birleşik halinde nasıl bağlandığını anlamak için, atomu incelemeliyiz. Bağlanmayı sağlayan işte bu oldukça küçük parçadır.

## Atomik Yapı

Temel atomik yapıyı gösteren iki model şekil 2. 4'te veriliyor. Atom, çekirdek denen bir merkezi bölgeye sahiptir. Bu



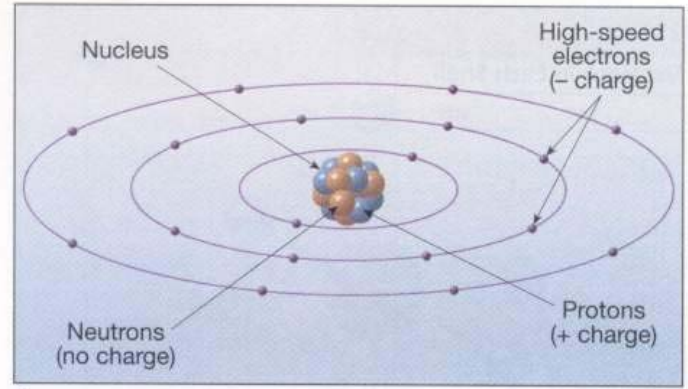
bölge içinde proton (bunlar pozitif elektrikle yüklüdür) ve aynı yoğunlukta nötronlar (bunlar yüksüzdürler) bulunur. Çekirdeği, elektron adı verilen hafif partikül çevreler. Bunlar negatif yüklüdür ve çok hızlı hareket ederler. Kolaylık açısından atomlar, tıpkı merkezde güneş ve onun çevresindeki yörüngelerde gezegenler gibi, merkezde çekirdek ve çevresindeki yörüngelerde dolaşan elektronlar şeklinde gösterilir. Ancak elektronların dönüşü gezegenlerinkine benzemez. Yüksek hızları yüzünden elektronlar çekirdek çevresinde enerji seviyeleri veya kabukları adı verilen negatif yüklü zonlar oluştururlar. Bu yüzden bir atomu, şekil 2 - 4B' de olduğu gibi çekirdek çevresinde hızla dönen bulut benzeri elektronları içeren bir kütle olarak hayal etmek daha doğrudur.

Atom çekirdeğinde bulunan protonların sayısı *atom numarasını* ve *atomun adını* beliler. Örneğin altı protonu olan bütün atomlar karbon atomlarıdır , 8 protonu olanlar da oksijen atomu. Atomlar eşit miktarda proton ve elektron içerdiklerinden atom numarası, çekirdek çevresinde dolaşan atomların sayısını verir, yani atomlar elektriksel olarak nötraldirler.

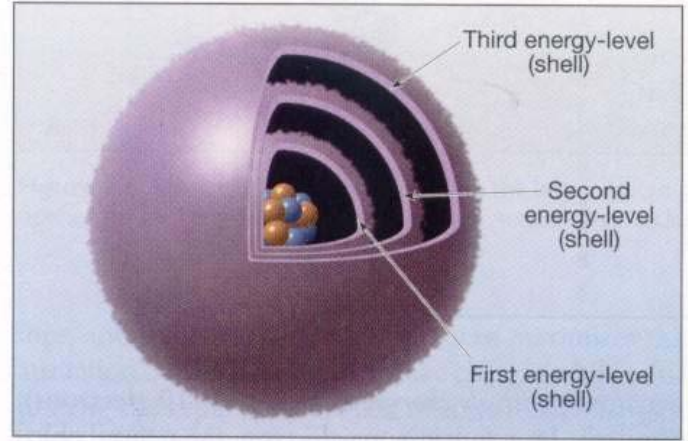
En hafif element olan hidrojen çekirdeğinde bir protonu ve onun çevresinde dönen bir elektronu içerir. Peryodik cetvelde ardarda sıralanan her bir atomun bir fazla proton ve bir fazla elektronu, ve değişen sayıda nötronu bulunur. Elektron konfigürasyonu çalışmaları her bir elektronun sistematik bir şekilde özel bir enerji seviyesine eklendiğini gösteriyor. İlk temel seviye en çok iki elektron, sonrakiler 8 veya daha fazla elektron tutarlar. Daha sonra göreceğimiz gibi genellikle en dış elektronlar (bunlara değerlik elektronları da denir) kimyasal bağlanmaya katılır.

### Bağlanma

Elementler, daha karmaşık maddeleri oluşturmak üzere çok değişik şekillerde birbirine bağlanırlar. Atomları



A.

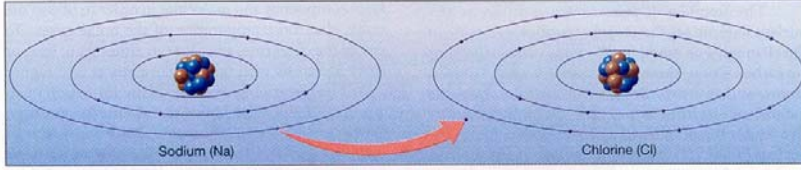


B.

**Figure 2.4** Two models of the atom. **A.** A very simplified view of the atom, which consists of a central nucleus, consisting of protons and neutrons, encircled by high-speed electrons. **B.** Another model of the atoms showing spherically shaped electron clouds (energy level shells). Note that these models are not drawn to scale. Electrons are minuscule in size compared to protons and neutrons, and the relative space between the nucleus and electron shells is much greater than illustrated.

birbirine bağlayan güçlü çekim kuvvetlerine kimyasal bağlar denir. Kimyasal bağlar iki ya da daha fazla elementi birbirine bağladığında artık bir birleşik (ing. compound) oluşmuştur. Çoğu mineral bir kimyasal birleşiktir.

Elementler neden bir araya gelip birleşikleri oluşturur? Deneyle göstermektedir ki atomları bir arada tutan kuvvet



**Figure 2.5** Chemical bonding of sodium and chlorine through the transfer of the lone outer electron from a sodium atom to a chlorine atom. The result is a positive sodium ion ( $\text{Na}^+$ ) and a negative chloride ion ( $\text{Cl}^-$ ). Bonding to produce sodium chloride ( $\text{NaCl}$ ) is due to electrostatic attraction between the positive and negative ions. In this process note that both the sodium and chlorine atoms have achieved the stable noble gas configuration (eight electrons in their outer shell).

elektirikselidir. Aslında kimyasal bağlanma, bağlanan atomun elektron konfigürasyonunda ki bir değişiklikten kaynaklanır. Bağlanma sürecine katılan değerlik elektronlarıdır. İlk enerji seviyesinin dışında, her seviye

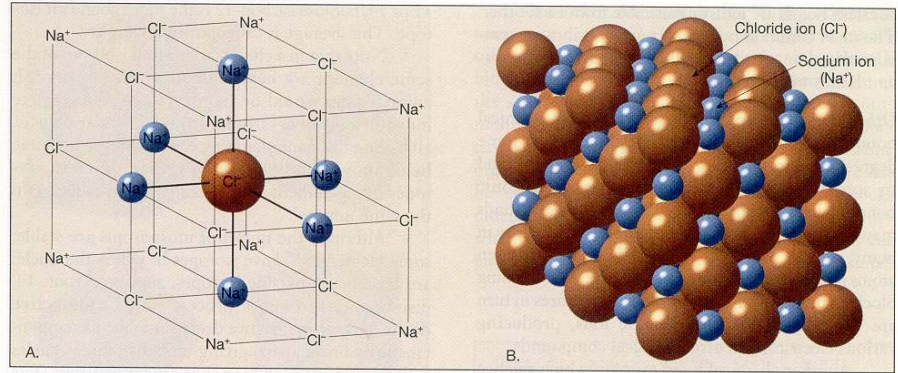
sekiz elektron içerdiğinde kararlı bir konfigürasyon oluşturur. Yalnızca asal gazlar denen neon ve argon gibi bazı gazlar, en dış yörüngelerinde tam (yani 8) elektron içerir. Bu yüzden asal gazlar (veya soy gazlar) kimyasal açıdan en az reaktif maddelerdir (yani kolay kolay reaksiyona girmezler). Oktet veya 'sekizli takımlar' kuralı tam en dış enerji seviyesi kavramını açıklamak için kullanılır. Bu kural, atomların asal gaz konfigürasyonuna ulaşmak için (yani daha kararlı hale gelmek için) bileşikler ve moleküller oluşturmak üzere bir araya geldiğini anlatır. Oktet kuralına uymak üzere atomlar, elektron kaybeder, kazanır veya başka atomlarla elektronlarını paylaşırlar. Sonuçta atomları birbirine bağlayan elektriksel bir yapıştırıcı ortaya çıkar.

## İyonik Bağlar

En kolay hayal edilebilecek bağ iyonik bağdır. İyonik bağda bir ya da daha fazla değerlik elektronu bir atomdan diğerine geçer. Basitçe bir atom değerlik elektronunu verir, ve kararlılık açısından ihtiyacı olan diğer atom

da bunu en dış yörüngesine alır. Yaygın bir iyonik bağ örneği, Na ve Cl bağlayarak sodyum klorür ( $\text{NaCl}$ ) oluşumunu sağlar. Sodyum, son yörüngesindeki bir tek yalnız elektronunu, son yörüngesinde 7 elektron olan klora verir. Böylece her ikisi de son yörüngelerinde 8 elektron taşıyacaklarından daha kararlı olurlar.

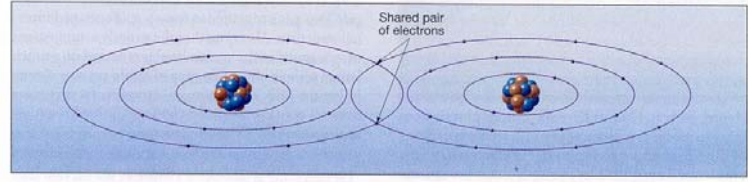
Bir kez elektron transferi gerçekleştikten sonra artık bu atom elektriksel olarak nötral değildir. Üstteki örneğimizde 1 elektron kaybeden sodyum pozitif yüklü hale gelir, klor ise negatif yük kazanmış olur. Elektron proton sayısı denk olmayan bu tür atomlara iyon denir. Fazladan bir elektron kazanarak negatif yükle yüklenen iyona anyon, pozitif yük kazanan (elektron kaybeden) atoma da katyon adı verilir.



**Figure 2.6** Schematic diagrams illustrating the arrangement of sodium and chloride ions in table salt. A. Structure has been opened up to show arrangement of ions. B. Actual ions are closely packed.



İyonların, benzer yüklüleri itip farklı yüklüleri çektiğini biliyoruz. Şu halde iyonik bağ zıt yüklü iyonların birbirini çekmesi olarak ta değerlendirilebilir. Şekil 2. 6 daki NaCl molekülünün yapısına bu gözle bakıldığında, her bir komşu Na ve Cl iyonunun birbirini çektiği ve böylece yapının dayanımını sağladığı sonucuna varabiliriz.



**Figure 2.7** Illustration of the sharing of a pair of electrons between two chlorine atoms to form a chlorine molecule. Notice that by sharing a pair of electrons both chlorine atoms have eight electrons in their valence shell.

Kimyasal bileşiklerin özellikleri kendilerini oluşturan elementlerinkinden son derece farklıdır. Örneğin klor, zehirli olduğu için 1. Dünya savaşında kullanılan, yeşil renkli bir gazdır. Sodyum, yumuşak, suyla kolayca reaksiyona giren gümüş renkli bir metaldir; elinize alırsanız ciddi ölçüde yanabilirsiniz. Ancak bu iki atom iyonik bağlarla bağlanarak bir araya geldiğinde yemeklerde kullandığımız, insan için hayati önemdeki beyaz renkli bir mineral oluşuyor.

### **Kovalent Bağlar**

Bütün atomlar, elektron alıp vererek başkalarıyla bağlanmazlar. Bazı atomlar, elektronlarını paylaşırlar. Örneğin Oksijen ( $O_2$ ), Hidrojen ( $H_2$ )ve Klor ( $Cl_2$ ) gibi gaz elementler, birbirlerine elektron aktarmaksızın atomlarını birbirine bağlarlar. Şekil 2. 7, bir çift klor elementinin klor gazı ( $Cl_2$ ) oluşturmak üzere elektronlarını nasıl paylaştığını göstermektedir. En dış yörüngeleri üst üste çakıştırarak, bu klor atomları bir çift elektronu ortak kullanmış olur. Böylece her bir Cl atomu, dış yörüngesindeki elektron sayısını 8'e çıkararak daha kararlı hale dönüşmüş olur. Elektron paylaşımı ile oluşan bağa kovalent bağ denir.

### **Diğer Bağlar**

Tahmin edeceğiniz gibi, çoğu bağ aslında hibrittir, yani üstteki iki ana bağ türünün belirli oranlarda etkisinden oluşur. Hem iyonik hem de kovalent bağlar aynı bileşikte etkin olabilir. Çoğu silikat mineralinde bu geçerlidir. Bu minerallerde silika ve oksijen birbirine kovalent bağlarla bağlıyken metalik iyonlar iyonik olarak aynı yapı içinde yer alırlar.

Bir başka kimyasal bağ, değerlik elektronunun bir iyondan diğerine serbestçe gezindiği durumlarda gözlenir. Bu durumda hareketli değerlik elektronu elektriksel yapıstırıcı işleri görür. Bu tür elektron paylaşımı bakır, altın, aliminyum ve gümüşte gözleendiğinden buna metalik bağlanma da denir. Metalik bağlanma metallerin yüksek elektriksel iletkenliğini, metallerin kolay biçimlendirilebilirliklerini açıklayabilmektedir.

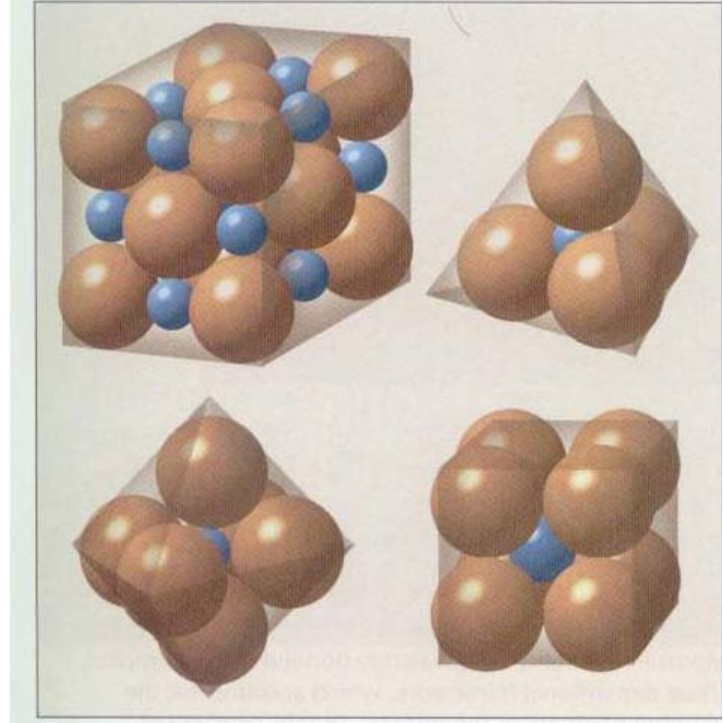
### **MİNERALERİN YAPISI**

Bir mineral, düzenli bir atom dizisinin özel bir kristal yapısı oluşturmak üzere kimyasal olarak bağlanmasından oluşur. Atomların bu düzenli istiflenmesi, kristal adım verdiğimiz düzenli şekilli nesnelere

kendini gösterir.

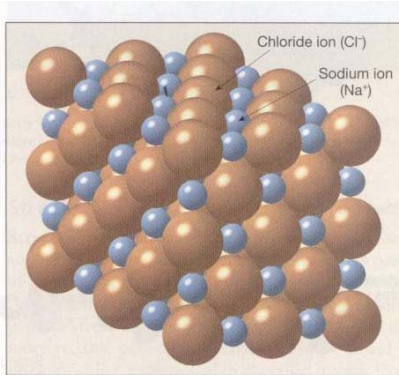
Bir mineralin özgün kristal yapısını belirleyen nedir? İyonların oluşturduğu bileşiklerde atomun iç düzenlenişi kısmen iyonların yükleri ile belirlenmekle birlikte ise de, asıl önemli olan iyonların çapıdır. Duraylı (Stabil) iyonik bileşikler oluşturmak üzere, her pozitif yüklü iyon, çok sayıda uygun nitelikteki negatif yüklü iyonla çevrelenir ve böylece toplam elektriksel nötrallik sağlanmış olur. Şekil 2. 8'de değişik iyon boyutları için bazı ideal düzenlenmeler gösterilmiştir.

Halit mineralinde Na ve Cl iyonlarının geometrik düzenlenmesini ele alalım. Şekil 2. 9A'da Na ve Cl'un kübik şekilli bir iç yapı oluşturmak üzere istiflendiğini görüyoruz. Burada atomik boyuttaki düzenlenişin çok daha büyük ölçekte halit kristallerinin kübik



**Figure 2.8** Ideal geometrical packing for various-sized positive and negative ions.

şekline yansıdığına dikkat ediniz. Halit gibi özel bir mineralin bütün elementleri, aynı düzen içerisinde bir araya gelmişlerdir.



A.



B.

Bir minerale ait her örnek aynı iç yapıya sahipse de, bazı elementler birden fazla şekilde birbirlerine bağlanabilirler. Bu yüzden, aynı kimyasal bileşime sahip bazı mineraller tamamen farklı özellikler gösterebilirler. Bu tür mineral tiplerine "polimorfa sahip" denir. Grafit ve elmas polimorfizmin güzel bir örneğidir; her ikisi de yalnızca C (karbon)'dan oluşmakla birlikte çok farklı özelliklere sahiptirler. Grafit, yumuşak, gri bir maddedir ve kalem uçları yapımında kullanılır; halbuki elmas dünyanın en sert mineralidir. Bu ikisi arasındaki özellik farkı, oluşum koşullarının farklılığından kaynaklanır. Elmas yerin 200 km kadar derinlerinde yüksek basınç koşullarında oluşur; Grafit ise aralıklı yayılmış, zayıf bağlarla bağlı C atomu levhalarından oluşur; Bu karbon levhaları birbiri üzerinden kolayca kaydığından grafit oldukça kaygandır.

Bilimciler (bilim adamları), yüksek basınç altında grafiti ısıtarak elmas elde edebileceklerini öğrendiler. Sentetik (yapay) elmaslar genellikle süstaşı kalitesinde olmasa da, sertlikleri nedeniyle endüstriyel kullanım özelliğine sahiptirler. Bir polimorfun diğerine dönüşümüne faz değişimi denir. Doğada, bir ortamdan ötekine geçilirken bazı mineraller faz değişimine uğrarlar. Örneğin kayaçlar dalan levhalarla

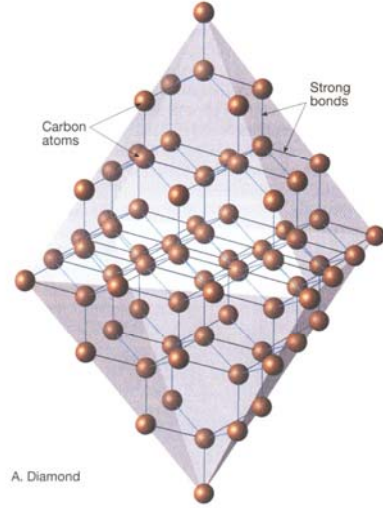
büyük derinliklere taşınırsa, bunlar içindeki olivin, spinel adı verilen daha kompleks bir şekle dönüşür. Özdeş kimyasal bileşime ( $\text{CaCO}_3$ ) sahip, ancak kristal biçimleri farklı diğer iki mineral, kalsit ve aragonittir. Kalsit başlıca biyokimyasal süreçlerle oluşur ve kireçtaşının ana bileşenidir. Aragonit ise daha çok sıcak sular tarafından çökertilir, ayrıca deniz kabukları ve incilerin önemli bir bileşenidir. Aragonit zamanla daha duraylı olan kalsite dönüştüğünden 50 Milyon yıldan daha yaşlı kayaçlarda aragonit genellikle bulunmaz.

### Minerallerin Fiziksel Özellikleri

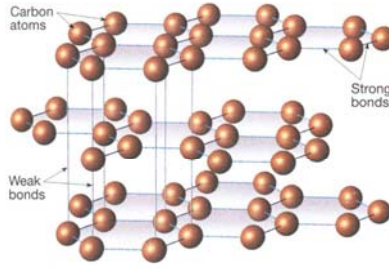
Mineraller inorganik süreçlerle oluşan katı maddelerdir. Her mineral düzenli atom dizilimlerine (kristal yapısı) ve belirli bir kimyasal bileşime sahiptir. Bu, minerale bir dizi özgün özellik kazandırır. Bir mineralin iç yapısı ve kimyasal bileşimi çok ayrıntılı testler ve bazı düzenekler olmaksızın anlaşılamayacağından, mineral tayininde kolayca tanınabilir bazı fiziksel özellikler kullanılır.

#### *Kristal Şekli*

Çoğu kimsenin, kristali ender rastlanan bir ticari mal olarak düşünmesine karşın aslında çoğu inorganik katı madde kristallerden ibarettir. Bu yanlış algılamanın nedeni çoğu kristalin belirgin kristal şekli göstermemesidir. Kristal şekli, atomların düzenli iç dizilimini yansıtan minerallerin dış görünüş ifadesidir. Şekil 2. 11 A, demir içeren bir mineral olan piritin kristal şeklini gösteriyor.



A. Diamond



B. Graphite

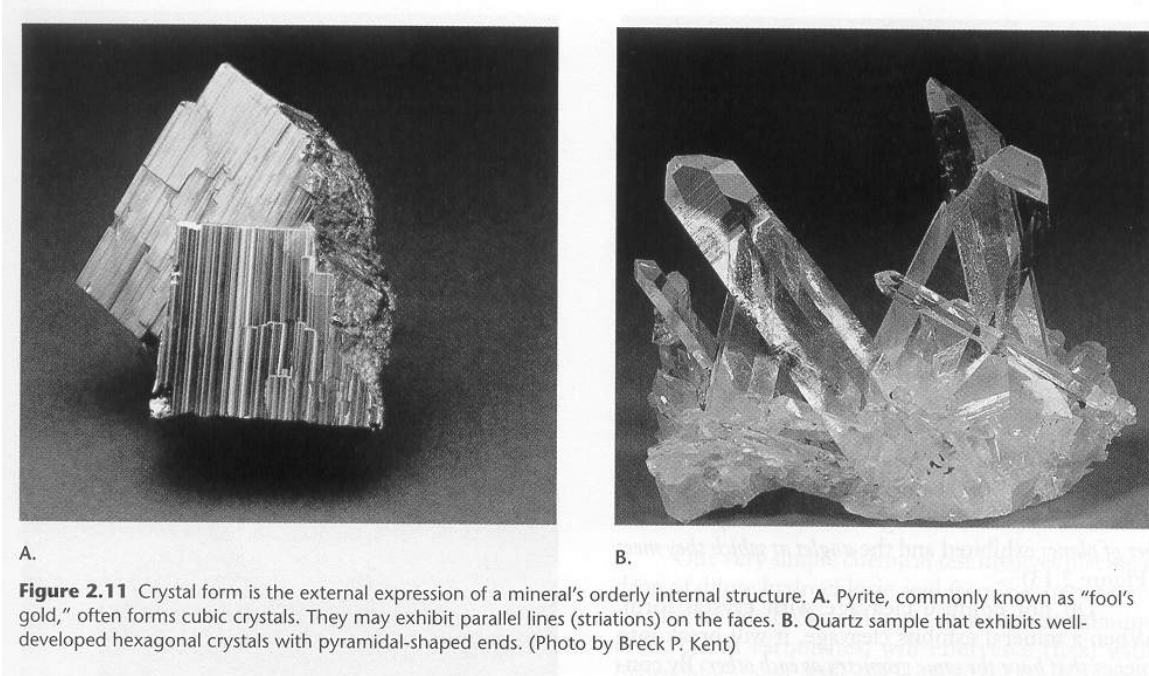


A. Diamond

**Figure 2.10** Comparing the structures of diamond and graphite. Both are natural substances with the same chemical composition—carbon atoms. Nevertheless, their internal structure and physical properties reflect the fact that each formed in a very different environment. A. All carbon atoms in diamond are covalently bonded into a compact, three-dimensional framework, which accounts for the extreme hardness of the mineral. (Photo courtesy of Smithsonian Institution) B. In graphite the carbon atoms are bonded into sheets that are joined in a layered fashion by very weak electrical forces. These weak bonds allow the sheets of carbon to readily slide past each other, making graphite soft and slippery, and thus useful as a dry lubricant. (Photo by E. J. Tarbuck)



B. Graphite



Genelde, bir mineralin oluşumu sırasında yer darlığı sorunu yoksa, bu mineral iyi şekilli kristal yüzeylerine sahip tek tek kristaller şeklinde ortaya çıkar. Kuvars gibi bazı mineraller, tayinde kullanışlı olabilecek oldukça ayırtman kristal şekline sahiptir. Ancak çoğu zaman kristal gelişimi yeterli boşluk olmaması yüzünden içice büyüme şeklinde gözlenebilir veya hiçbir kristal şekli gözlenmeyebilir.

### ***Parlaklık***

Parlaklık, bir kristal yüzeyinden yansıyan ışığın niteliği veya görünüşüdür. Rengi ne olursa olsun metal görünüşüne sahip olanlara "metalik parlaklığa sahiptir" denir. Metalik olmayan parlaklığa sahip olanlar camsı, incimsi, ipeksi, reçinemsi veya donuk gibi sıfatlarla tanımlanır. Bazı mineraller kısmen metalik parlaklık gösterirler, bunlara "yarı metalik parlaklıktadır" denir.

### ***Renk***

Renk bir mineralin açık bir özelliğiysen de, çoğunlukla güvenilir bir tanımlama özelliğidir. Yaygın bir mineral olan kuvarsta az miktarda bulunan impürite (yabancı maddeler) bu minerale pembe, mor (bu renk kuvarsa ametist deniyor), beyaz ve hatta siyah renk verebiliyor. Eğer bir mineral bir çok renge sahipse buna egzotik renklenme deniyor. Egzotik renklenme, kristalin yapı içindeki yabancı iyonlar gibi impürite kapanlarından kaynaklanır. Sarı olan kükürt ve parlak yeşil olan malahit gibi diğer bazı minerallerin doğal renklenmeye sahip olduğu söylenir.

### ***Çizgi İzi (Ing. Streak)***

Bu mineralin toz halindeki rengidir ve çizgi levhası diye isimlendirilen pürüzlü bir porselen üzerine mineralin sürtülmesi ile elde edilir. Mineralin rengi bir örnekten diğerine değişmekle birlikte çizgi rengi değişmez, bu



yüzden güvenilirdir. Çizgi rengi, aynı zamanda metalik parlaklığa sahip mineralleri metalik olmayan parlaklığa sahip minerallerden ayırmada bir araç olarak kullanılabilir.

### **Sertlik (İng. Hardness)**

En ayırtman özelliklerden biri sertliktir. Bu bir mineralin aşınmaya veya çizilmeye karşı dayanımının bir ölçüsüdür. Bu özellik, bilinmeyen bir minerali sertliği bilinen bir nesne veya mineral ile karşılaştırarak belirlenir. Bunun için MOHS sertlik sıkalası kullanılır. 10 aralıklı bu skalada 1 en yumuşağı (talk), 10 en sert (elmas) gösterir. Bir minerali bu skalaya oturtmak için ek araçlar vardır. Tırnağın sertliği

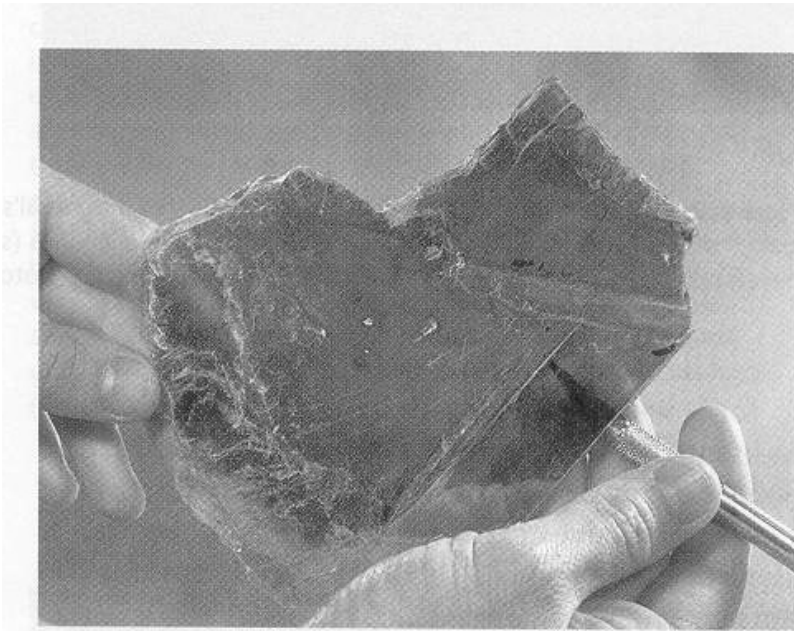
2, 5 bir bakır metal paranın ki 3, camınki 5, 5'tir. En sert minerallerden biri olan kuvars cam ve metali çizer.

**Table 2.2 Mohs Scale of Hardness**

Relative Scale	Mineral	Hardness of Some Common Objects
Hardest	10	Diamond
	9	Corundum
	8	Topaz
	7	Quartz
	6	Potassium Feldspar
	5	Apatite
		5.5 Glass, Pocketknife
	4	Fluorite
	3	Calcite
	2	Gypsum
		3 Copper Penny
		2.5 Fingernail
Softest	1	Talc

### **Dilinim (İng. Cleavage)**

Bir mineralin kristal yapısında bazı bağlar diğerlerinden daha zayıftır. Kayaç gerilime maruz kaldığında bu bağlar boyunca kırılır. Dilinim ya da klivaj, zayıf bağ düzlemleri boyunca minerallerin kırılma eylemidir. Bütün minerallerin dilinim düzlemleri bulunmaz, olanlar ise kırıldıklarında pürüzsüz yüzeyler oluştururlar.



**Figure 2.12** The thin sheets shown here were produced by splitting a mica (muscovite) crystal parallel to its perfect cleavage. (Photo by Breck P. Kent)

En basit klivaj tipini mika gösterir (Şekil 2. 12). Mikalar bir yönde zayıf bağlara sahip olduklarından ince, yassı levhalar oluşturacak şekilde ayrılırlar. Bazı minerallerin birkaç klivaj düzlemi bulunurken bunlardan bazıları iyi gelişmiş, bazıları da kötü gelişmiş olabilir. Bazı minerallerin hiç klivaj düzlemi bulunmaz. Klivaj ı kristal şekli ile karıştırmamak gerekir.

### **Özgül Ağırlık (İng. Specific gravity)**

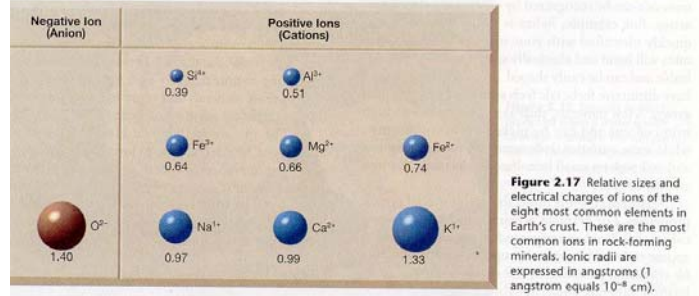
Özgül ağırlık bir mineralin

ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Örneğin bir mineralin ağırlığı, aynı hacimdeki suyun ağırlığının 3 katı ise, o mineralin özgül ağırlığı 3'tür denir. Az bir deneyimle mineralin özgül ağırlığını elle tartarak tahmin edebilirsiniz. Örneğin bir mineral ortalama bir kayaç kadar çekiyor ise özgül ağırlığının 2, 5-3 olduğu sonucuna varabilirsiniz. Bazı metalik mineraller ortalama kayaç oluşturan minerallerden 2 - 3 kat daha fazladır. Galen'in özgül ağırlığı 7, 5; 24 ayar altınunki yaklaşık 20'dir.

## MİNERAL GRUPLARI

Şimdiye değin 4000 kadar mineral isimlendirilmiştir ve her yıl 40 ile 50 yeni mineral keşfedilmektedir. Mineral çalışmalarına yeni başlayan öğrenciler şanslıdır çünkü bunlardan yalnız birkaç düzinesi doğada yaygın olarak bulunmaktadır. Bu az sayıda mineral birlikte yer kabuğunu oluşturmakta, bu

yüzden "kayaç oluşturan mineraller" adını almaktadırlar. Bu minerallerin yapısında sadece 8 elementin bulunması ve bunların toplam kıtasal kabuğun (ağırlıkça) %98'ini oluşturması ilginçtir.



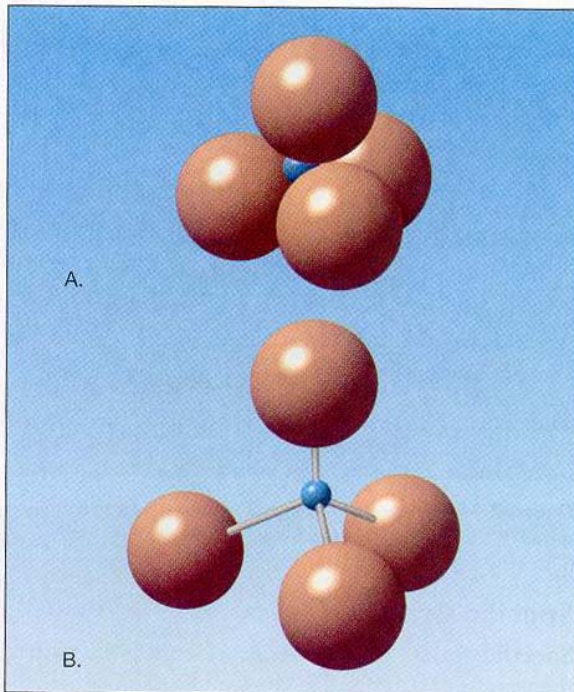
En yaygın bulunan iki element silisyum (ing. silicon) ve oksijendir. Bu ikisi birleşerek en yaygın mineral grubu

olan silikatların asıl çatısını oluşturur. Silikatlardan sonra en yaygın olan grup karbonatlardır. Bu grubun en bilinen örneği kalsittir. Diğer kayaç oluşturan yaygın mineraller içinde jips ve halit sayılabilir.

### Silikatlar

Her silikat minerali oksijen ve silisyum elementlerini içerir. Dahası, kuvars gibi birkaç mineral dışında her silikat minerali elektiriksel nötrallığı sağlamak üzere başka bazı ek elementleri kapsarlar. Bu ek elementler silikat mineralinin ve özelliklerinin büyük çeşitlilik göstermesine yol açarlar.

**Silisyum-Oksijen Tetraedr'leri:** Bütün silikatlar yapı taşları olarak Si-O tetraedlerini içerirler. Bu yapı, küçük çaplı bir silisyum iyonunu çevreleyen daha büyük çaplı 4 oksijen iyonundan oluşur. Bu tetraedrler -4 yüklü kompleks (SiO<sub>4</sub><sup>-4</sup>) iyonlardır. Doğada, bu tetraedrleri





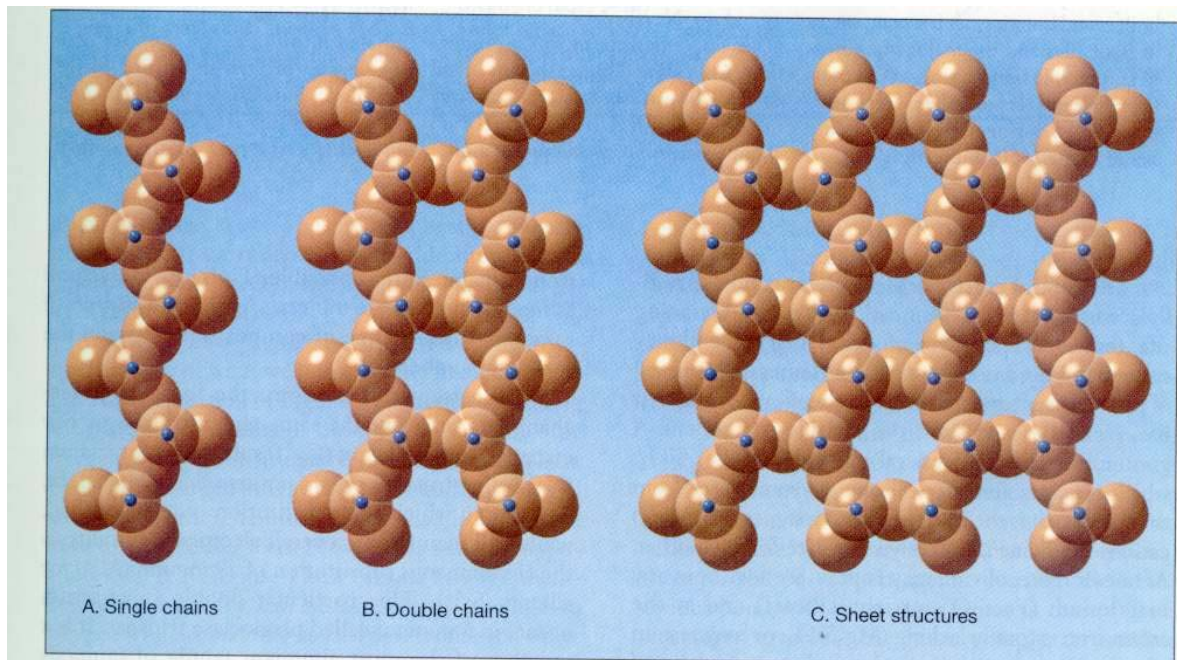
birleştirerek nötralliği sağlamanın en kolay yolu, yapıya pozitif yüklü bazı iyonlar eklemektir. Bu yolla katyonlarla bağlanmış, kimyasal olarak duyarlı bir yapı oluşur.

**Diğer Silikat Yapıları:** Tetraedrleri bağlamak için gerekli zıt yüklü katyonlara ek olarak tetraedrlere, kendi kendilerine değişik yollarla da bağlanabilirler. Örneğin tetraedrlere, tekli zincir, çiftli zincir veya levha yapıları oluşturacak şekilde bağlanabilirler. Tetraedrlerin birbirine bağlanması komşu tetraedrlerdeki oksijen atomlarının paylaşılmasıyla gerçekleşir.

Bu paylaşımın nasıl olduğunu anlamak için Şekil 2. 18'de tekli zincir yapısı yakınında bir silisyum iyonu seçelim. Bu iyon oksijen tarafından çevrelenmiştir. Bunlardan ikisi komşu silisyum iyonlarına bağlanmış, diğer ikisi ise serbesttir, yani paylaşılmamıştır. İşte tetraedrleri bağlayan güç bu oksijenlerin paylaşımından ileri gelir. Şimdi levha yapısı ortasında bir silisyuma bakalım (Şekil 2. 18C). Bunda, 4 oksijenden 3'ü diğerleriyle paylaşılıyor. Paylaşım oranı tekli zincire göre artmış bulunuyor. Bunlardan başka silikat yapıları da bulunuyor; bunların en yaygını bütün oksijen iyonlarının paylaşıldığı 3 boyutlu yapıdır. Buna göre silikat minerallerini "düşük" ve "yüksek silisyum içerikli" şeklinde gruplayabiliriz. Magmatik kayaların oluşumunu incelerken bunun önemli olduğunu göreceğiz.

### Silikat Yapılarının Bağlanması

Çoğu silikat yapısı (tekli, çiftli zincir ve levha yapısı da dahil olmak üzere) nötr olmayan kimyasal bileşiklerdir. Tıpkı tetraedrlere gibi nötralliklerinin sağlanması için, onları değişik karmaşık kristal şekillerinde bağlayacak metal katyonlara ihtiyaç vardır. Silikat yapılarını birbirine bağlayan başlıca katyonlar demir (Fe), magnezyum (Mg), potasyum (K), sodyum (Na), alüminyum (Al) ve kalsiyum (Ca)'dur. Şekil 2. 17'de her bir atomun özel bir atom büyüklüğü ve yükü olduğunu görüyoruz. Genellikle aynı boyuttaki atomlar kolayca birbirinin yerini alabilirler.



**Figure 2.18** Three types of silicate structures. A. Single chains. B. Double chains. C. Sheet structures.

Örneğin Fe ve Mg iyonları yaklaşık aynı boyuttadır ve mineral yapısı bozulmaksızın birbirlerinin yerini alabilirler (buna ornatma da denir). Bu Na ve Ca için de geçerlidir. Bunlara ek olarak alüminyum (Al), silisyum-oksijen tetraedrlerindeki silisyumun yerini alabilir.

Silikat yapılarının belli bir kristal bağlanma noktasında belli özelliklere sahip farklı kanyonları kolayca kabul edebilmesi yüzünden, bir mineral örneği farklı kesimlerinde belirli elementleri farklı miktarlarda içerebilir. Bu tür bir minerali formülle ifade ederken değişken bileşenler parantez içinde gösterilir. Bunun iyi bir örneği olivin mineralidir ((Mg, Fe)<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub>). Formülünden anlaşıldığı üzere bu mineral yapısındaki Mg ve Fe birbirinin yerini alabilmektedir. Bu mineral, kristal yapısı değişmeksizin, tamamen Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> veya Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> bileşimine sahip olabilmektedir. Ayrıca bu uç üyelerin arasında Fe ve Mg'un farklı oranlarda bulunurluğu mümkündür. Şu halde, başka silikat minerallerinde olduğu gibi olivin, bileşimi iki uç üye arasında değişen bir ailedir.

Belirli ornatmalarda, yer değiştiren iyonlar aynı elektriksel yüke sahip değildir. Örneğin Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> ile yer değiştirdiğinde, yapı bir yük kazanır. Doğada bunun mümkün olmasının bir yolu, aynı anda Al<sup>+3</sup> un Si<sup>+4</sup> ile yer değiştirmesidir. Bu özel çiftli ornatma plajyoklazda gözlenir. Bu, yer kabuğundaki çoğu kayacın çok yaygın bir bileşenidir. Bu ailenin uç üyeleri anortit (CaAl<sub>2</sub> Si<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ve albit (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)'dur.

## YAYGIN SİLİKAT MİNERALLERİ




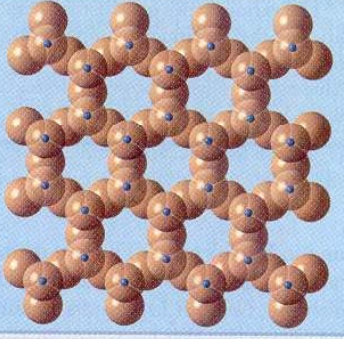
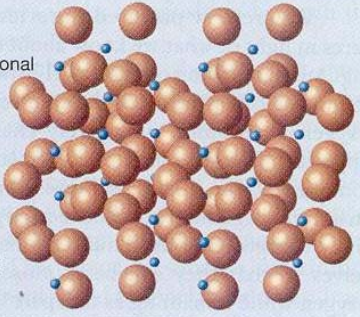
Tekrar söylenirse, silikatlar en yaygın mineral grubudur; ve temel yapı taşları olarak silikat (SiO<sub>4</sub><sup>-4</sup>) iyonlarından oluşur. Ana silikat grupları ile bunların yaygın bulunan örnekleri şekil 2. 19'da verilmiştir. Feldispatlar en bol silikat grubudur, yer kabuğunun % 50 sini oluştururlar; bunu kuvars izler.

Bu şekilde, her mineral grubunun özel bir yapıya sahip olduğuna dikkat ediniz. Bu yapı ile klivaj arasında da bir ilişki vardır. Silisyum-oksijen bağları güçlü olduklarından silikat mineralleri silisyum-oksijen bağ yapıları arasında (bu bağları keserek değil bu bağ gruplarının arasından) ayrılmak eğilimindedir. Örneğin mikalar levha yapısına sahiptir. Bu yüzden yassı levhalar şeklinde ayrılırlar. Eşit miktarda güçlü Si-O bağlarına sahip kuvars klivaja sahip değildir. Ancak konkoidal kırılma gösterir.

Çoğu silikat minerali eriyik kayalar soğurken oluşur. Soğuma yeryüzünde veya yakınında (düşük sıcaklık ve basınçta) veya büyük derinliklerde (yüksek sıcaklık ve basınçta) oluşabilir. Kristallenmenin gerçekleştiği ortam koşulları ve erimiş kayacın kimyasal birleşimi büyük ölçüde oluşacak minerali belirler. Örneğin olivin yüksek sıcaklıklarda, kuvars ise düşük sıcaklıklarda kristalleşir. Buna ek olarak bazı silikat mineralleri yüzeyde, daha yaşlı silikat minerallerinin bozunması ile oluşurlar. Başka bazı silikat mineralleri ise dağ oluşumu sırasındaki çok büyük basınçlar altında oluşur. Şu halde her silikat minerali onun oluşum koşullarını gösteren belli bir yapıya ve kimyasal bileşime sahiptir.

Şimdi en yaygın bazı silikat minerallerini ele alalım.

**Ferromagnezyen (koyu renkli) silikatlar:** Bunlar yapılarında Fe ve/veya Mg içerirler. Özgül ağırlıkları açık renkli olanlardan daha büyüktür (3, 2-3, 6). bunların en yaygınları olivin, amfibol, piroksen, biyotit ve granattır.

Mineral		Idealized Formula	Cleavage	Silicate Structure	
Olivine		$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	None	Single tetrahedron	
Pyroxene group (Augite)		$(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$	Two planes at right angles	Single chains	
Amphibole group (Hornblende)		$\text{Ca}_2(\text{Fe, Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Two planes at 60° and 120°	Double chains	
Micas	Biotite	$\text{K}(\text{Mg, Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	One plane	Sheets	
	Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$			
Feldspars	Orthoclase	$\text{KAISi}_3\text{O}_8$	Two planes at 90°	Three-dimensional networks	
	Plagioclase	$(\text{Ca, Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$			
Quartz		$\text{SiO}_2$	None	(Expanded view)	

**Figure 2.19** Common silicate minerals. Note that the complexity of the silicate structure increases down the chart.

*Olivin:* Yüksek sıcaklık silikat minerali ailesidir. Rengi siyahtan zeytin yeşiline değişir; camsı parlaktır ve konkoidal kırılma gösterir. Kristalleri genelde küçüktür ve kayaca taneli bir görüntü verir. Tek tek tetraedrelerin Mg ve Fe iyonları ile bağlanmasından oluşur. Sonuçta homojen 3 boyutlu bir yapı ortaya çıkacağından dilinim gözükmez.

*Piroksen:* Mantonun önemli birleşenlerinden biri olduğu sanılan karmaşık bir mineral grubudur. En yaygın üyesi ojit, siyah apak bir mineraldir. Birbirine dik iki yönde klivaj gösterir. Kristal yapısı tekli tetraedr zincirinden ibarettir. Bu tekli zincirler birbirlerine Fe ve Mg'la bağlanmıştır. İşte bu son elementlerin bağlantı yerleri klivaj düzlemlerine karşılık gelir. Ojit, bazaltların yaygın bir bileşenidir. Okyanus kabuğunda bolca bulunur.

*Hornblend:* Amfibol denen kimyasal olarak karmaşık bir gurubun en yaygın üyesidir. Rengi koyu yeşil-siyahtır. 60 ve 120°'lik iki klivaj açısı dışında ojite çok benzer. Hornblend yapısındaki çift zincir, onun özgün klivajını oluşturur. Kayaçalarda hornblend uzun kristaller olarak bulunur, bu şekli onu çoğunlukla bloksu şekle sahip



piroksenlerden ayrılır.

**Biyotit:** Mika ailesinin koyu renkli demirce zengin üyesidir: Diğer mikalar gibi levha yapısına sahiptir. Biyotit, siyah parlak bir görünüşe sahiptir, bu onu diğer ferromagnezyen minerallerden ayırmaya yardımcı eder. Hornblend gibi biyotit te granit gibi kıtasal kayaların bir bileşenidir.

**Granat:** Olivine benzer, onun gibi metalik iyonlar tarafından bağlanan tetraedrlerden oluşur; yine olivin gibi camsı parlaklıktadır, klivajı yoktur. Değişik renkler gösterirse de en çok kahverengi koyu kırmızı renkte bulunur. Çoğunlukla metamorfik kayalarda eş boyutlu taneler olarak bulunur. Şeffaf olduklarında sustası olarak kullanılabilir.

**Table 2.4 Common Nonsilicate Mineral Groups**

Group	Member	Formula	Economic Use
Oxides	Hematite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ore of iron, pigment
	Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Ore of iron
	Corundum	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gemstone, abrasive
	Ice	H <sub>2</sub> O	Solid form of water
	Chromite	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ore of chromium
Sulfides	Ilmenite	FeTiO <sub>3</sub>	Ore of titanium
	Galena	PbS	Ore of lead
	Sphalerite	ZnS	Ore of zinc
	Pyrite	FeS <sub>2</sub>	Sulfuric acid production
	Chalcopyrite	CuFeS <sub>2</sub>	Ore of copper
Sulfates	Bornite	Cu <sub>3</sub> FeS <sub>2</sub>	Ore of copper
	Cinnabar	HgS	Ore of mercury
	Gypsum	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Plaster
	Anhydrite	CaSO <sub>4</sub>	Plaster
	Barite	BaSO <sub>4</sub>	Drilling mud
Native elements	Gold	Au	Trade, jewelry
	Copper	Cu	Electrical conductor
	Diamond	C	Gemstone, abrasive
	Sulfur	S	Sulfa drugs, chemicals
	Graphite	C	Pencil lead, dry lubricant
Halides	Silver	Ag	Jewelry, photography
	Platinum	Pt	Catalyst
	Halite	NaCl	Common salt
	Fluorite	CaF <sub>2</sub>	Used in steelmaking
	Sylvite	KCl	Fertilizer
Carbonates	Calcite	CaCO <sub>3</sub>	Portland cement, lime
	Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Portland cement, lime
	Malachite	Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Gemstone
Hydroxides	Azurite	Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Gemstone
	Limonite	FeO(OH) · nH <sub>2</sub> O	Ore of iron, pigments
	Bauxite	Al(OH) <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O	Ore of aluminum
Phosphates	Apatite	Ca <sub>5</sub> (F,Cl,OH)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Fertilizer
	Turquoise	CuAl <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub>	Gemstone

### **Ferromagnezyen**

**olmayan (açık renkli) silikatlar:** İsminden de anlaşıldığı gibi bunlar açık renklidirler ve özgül ağırlıkları 2, 7 civarındadır. Ferromagnezyen minerallerle aradaki bu fark yapıda Fe ve Mg'un eksikliğinden kaynaklanır. Açık renkli silikatlar değişen miktarlarda K, Ca, Al, Na içerirler.

**Muskovit,** mika ailesinin yaygın bir elemanıdır. Açık renklidir, inci parlaklığına sahiptir. Diğer mikalar gibi tek yönde çok iyi dilinim gösterir. Bu yüzden orta çağlarda pencere camı olarak kullanılmıştır.

**Feldispat,** çok değişik sıcak ve basınç koşullarında oluşabilen yaygın bir mineral grubudur. Bütün feldispatlar benzer özelliklere sahiptirler. Yaklaşık 90 derece ile birbirine kavuşan iki klivaj düzlemi bulunur; Orta sertliktedir (moho sıklasına göre 6). Feldispat minerallerinin yapısı 3 boyutlu çatıdan ibarettir; öylesine ki oksijen atomları komşu silisyum atomları tarafından paylaşılır. Ayrıca, 1/4-1/2

oranında silisyum atomu Al atomları tarafından ornatılır. Alüminyum ile silisyum arasındaki yük farkı kristal yapısına şu iyonlardan bazılarının sokulması ile halledilir ; potasyum (+1), sodyum (+1), kalsiyum (+2). Potasyumun (sodyum ve kalsiyuma göre) daha iri boyutu nedeni ile iki farklı feldispat yapısı ortaya çıkar. Ortoklas feldispatlar (kısaca ortoklaslar) yapısında potasyum içeren feldispatlardır. Diğer grup sodyum ve kalsiyum içerir (ki bu ikisi birbirini ornatılabilir) ve plajyoklaz adını alır.



*Kuvars*, tamamen silisyum ve oksijenden ibaret bol bulunan bir silikat mineralidir. Kimyasal formülü  $\text{SiO}_2$  olan kuvarsa silika da denir.

Kil, mika gibi levhamsı yapılı, oldukça karmaşık mineralleri tanımlayan bir ailenin adıdır. Kil mineralleri çoğunlukla çok ince tane boylu olduklarından ancak çok özel mikroskoplarda incelenebilirler. Çoğu kil mineralleri diğer silikat minerallerinin yüzeysel koşullarda bozunmasından oluşurlar. En yaygın kil minerallerinden biri *kaolindi*. Bu, kaliteli kağıt imalinde kullanılır. Bazı killer çok miktarda su tutarak şişme özelliğine sahiptirler (örneğin montmorillonit). Bu özelliği yüzünden bu killer sondajcılıkta sondaj çamuru olarak kullanılırlar.

**Önemli silikat olmayan mineraller:** Bu gurup silikat minerallerine göre çok daha az bulunur, ancak ekonomik açıdan daha önemlidirler. Tablo2. 4'e bunların bir listesi veriliyor.

*Karbonat mineralleri* silikatlara göre daha az karmaşıktır. Bu mineral grubunda karbonat iyonu ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ve bir ya da daha fazla pozitif iyon vardır. En yaygın karbonat mineralleri kalsit ve dolomittir. Özellikleri benzer olduğundan ikisini birbirinden ayırmak zordur. İkisi de camsı parlaklıkta, sertlikleri 3-4 civarında ve çok iyi gelişmiş rombik klivaj gösterirler. Derişik hidroklorik asitte kalsit köpürürken dolomit çok daha az köpürür. Kalsitten oluşan kayaca *kireçtaşı* denir. Halit ve jips te yaygın bulunan minerallerdendir. Bunlar eski göl veya denizlerin kurumasından oluşur. *Halit* sofratuzunun ( $\text{NaCl}$ ) mineral adıdır. *Jips*, 2 mol su içeren kalsiyum sülfatler ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve alçı yapımında kullanılır. Bunların dışında ekonomik değere sahip pek çok mineral türü de bulunur.

# BÖLÜM-3

# MAGMATİK KAYAÇLAR



**Figure 3.1** Recent eruption of Hawaii's Kilauea Volcano. (Photo by Douglas Peebles/Westlight)

Magmatik kayalar yer kabuğunun asıl kütlelerini oluştururlar. Aslında sıvı dış çekirdeği bir yana bırakırsak gezegenimizi ince bir sedimanter kayaç örtüsü ile kaplanmış devasa bir magmatik kayaç olarak düşünebiliriz. Sonuç olarak gezegenimizin yapısını, bileşimini, içinde olup bitenleri anlamamız için temel bir magmatik kayaç bilgisine sahip olmamız gerekir.

Kayaç çevrimi ile ilgili bölümde magmatik (ingilizce; igneous, ignis=ateş) kayaların, erimiş kayaların soğuması ile oluştuğuna işaret edilmişti. Pek çok kanıt magmatik kayaların ana malzemesini oluşturan magmanın 'kısmi ergime' denen bir süreçle oluştuğunu gösteriyor. Kısmi ergime yer kabuğu ve üst mantodaki farklı derinliklerde (yer yer 200 km) gerçekleşir.

Bir kez oluşuktan sonra, magma kütlesi yüzeye doğru yükselir, çünkü yoğunluğu çevre kayalarınkinden daha azdır. Erimiş kayaların yüzeye çıktığı noktalarda görkemli volkanik patlamalar oluşur. Yüzeye ulaşan magmaya lav denir. Bölüm kapağı sayfasında görülen lav çeşmeleri (İng. lava fountain), gazlar kaçarken erimiş kayaları magma odasından fırlattıklarında oluşur. Bazen bacanın tıkanması ve bunu izleyen artan gaz basıncı afet gibi patlamalara yol açar. Ancak her patlama şiddetli değildir, bazıları sakince lav akıttırlar.

Erimiş kayaların yüzeyde soğumasıyla oluşan magmatik kayalara **ekstrüviz** veya **volkanik kayalar** denir. Ekstrüviz kayalar kuzey ve güney Amerika'nın batı kesiminde ve diğer pek çok kıtada yaygındır. Anadolu'da da bu tür kayalar çok yaygın olarak bulunur.

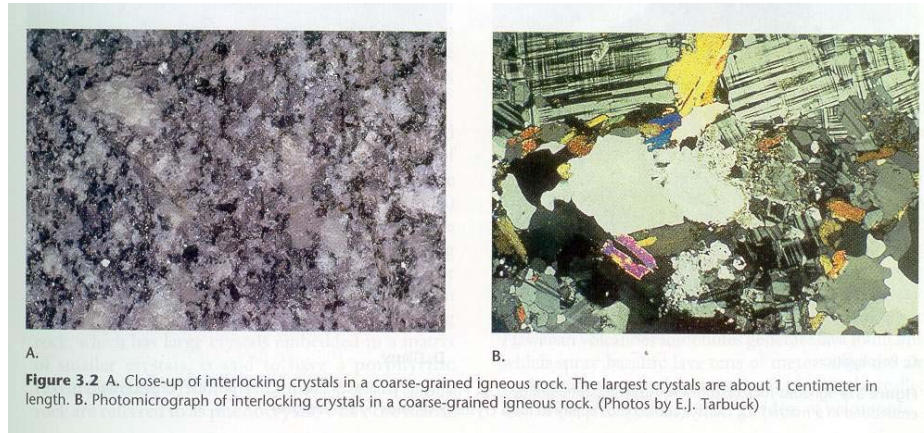
Yüzeye ulaşmadan hareketliliğini yitiren magma derinlerde kristelleşir. Derinlerde oluşan magmatik kayalara **intrüviz** veya **plütonik** (Plüto; yunan mitolojisinde yer altı tanrısı) kayalar denir. İntrüviz kayalar, kabuğun derin kısımları yükselip üzerindeki kayalar aşınmazlarsa hiçbir zaman gözlenmezler.

### Magmanın Kristallenmesi

Magma, içinde bazı asılı halde duran kristalleri ve çevre kayaların basıncı gibi nedenlerle tutulan su buharı gibi bazı gazları içeren erimiş kayadır. Magmanın çoğu yeryüzünde bulunan 8 elementin iyonlarından oluşur.

Aynı zamanda silikat mineralinin ana bileşeni olan bu elementler; Silisyum, Oksijen, Potasyum, Kalsiyum, Demir, Alüminyum, Sodyum, Magnezyumdur.

Magma soğudukça bu iyonların rastgele hareketleri azalır,



düzenli kristal yapıları haline gelmeye başlarlar. Kristalleşme (veya kristalizasyon) denen bu süreçte mineral taneleri oluşur. Böylece mineraller eriyikten itibaren çökelmeye başlarlar.

Magmanın nasıl kristalleştiğini incelemeden önce bir kristalin nasıl eridiğine bir göz atalım. Herhangi bir katı kristalde iyonlar oldukça sıkı istiflenmiş düzenli bir desen şekli sunarlar. Bu haldeyken bile iyonlar büsbütün hareketsiz değildirler; belirli sınırlar içinde titreşim gösterirler; sıcaklık yükseldikçe, iyonlar daha çok ve hızlı titreşirler ve en sonunda komşularına çarpmaya başlarlar. İyonların bu titreşimi onları birbirine bağlayan kimyasal bağlardan daha güçlü hale gelirse katı kristal erimeye başlar.

Kristalleşme sürecinde, yani magmanın soğumasında, erime olaylarının tersi cereyan eder. Sıvının sıcaklığı düşüncü iyonlar birbirine daha yakın duruma gelir ve hareket özgürlüklerini yitirirler. Yeterince soğuduklarında kimyasal bağlar uygun atomları tutar ve bir kristal düzeni oluşur. Aslında magmanın kristallenmesi yukarıda özetlendiğinden daha karmaşıktır. Bir tek bileşik, örneğin su, belli bir sıcaklıkta kristalleşirken çeşitli kimyası nedeniyle bir magmanın katılaşması çoğunlukla 200 derece gibi geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşir. Üstelik magma henüz kristalleşmesi tamamlanmadan yeni bir yere göç edebilir, ya da bir magma içine bileşimi farklı bir magma eklenebilir. Bütün bu olaylar kristalleşme sürecini daha da karmaşıktır.

Magma soğuduğunda ilk önce silisyum ve oksijen atomları bir araya gelerek, silikat mineralinin temel yapısı olan silisyum-oksijen tetrahedrlerini oluşturur. Magma sıcaklığını çevresine vererek sıcaklığını kaybettiğince tetrahedrler de birbirleriyle ve başka iyonlarla birleşerek embriyonik kristal çekirdeklerini oluştururlar. Her çekirdek, iyonlar hareketliliklerini yitirdikçe ve kristal yapısına bağlandıkça büyür. Magmadan itibaren ilk kristalleşen mineraller gelişmeleri için yeterince yer olduğundan, sonra kristalleşenlere göre daha iyi kristal yüzlerine sahip olurlar. En sonunda bütün magma birbiri içine geçmiş katı silikat kütesine dönüşür. Bu ürüne magmatik kayaç denir (Şekil 3. 2).

Hiç biri ki magma birbiriyle özdeş kimyasal bileşime sahip olamayacağından ve kristalleştikleri ortamlar da çoğunlukla farklı olacağından pekçok çeşit magmatik kayaç vardır. Bu çeşitliliğe karşın magmatik kayaçları mineralojik bileşim ve oluşum koşulları temelinde sınıflandırmak mümkündür. Kristalleşmenin gerçekleştiği koşullar kabaca, mineral boyu ve mineral tanelerinin düzenlenmesinden (buna **doku, ing. texture** denir) anlaşılır.

### **Magmatik Dokular**

Magmatik kayaçlar söz konusu olduğunda doku, kayaç oluşturan kristallerin boyut, şekil ve düzenlenme şekilleriyle belirlenen genel görünüşü anlamına gelir (Şekil 3. 3). Doku önemli bir özelliktir çünkü bu, kayacın oluştuğu ortam hakkında pek çok bilgi verir. Bu olgu jeologa arazide çalışırken yeterince gelişmiş araç gereci yoksa kayacın kökeni hakkında fikir edinmesini sağlar.

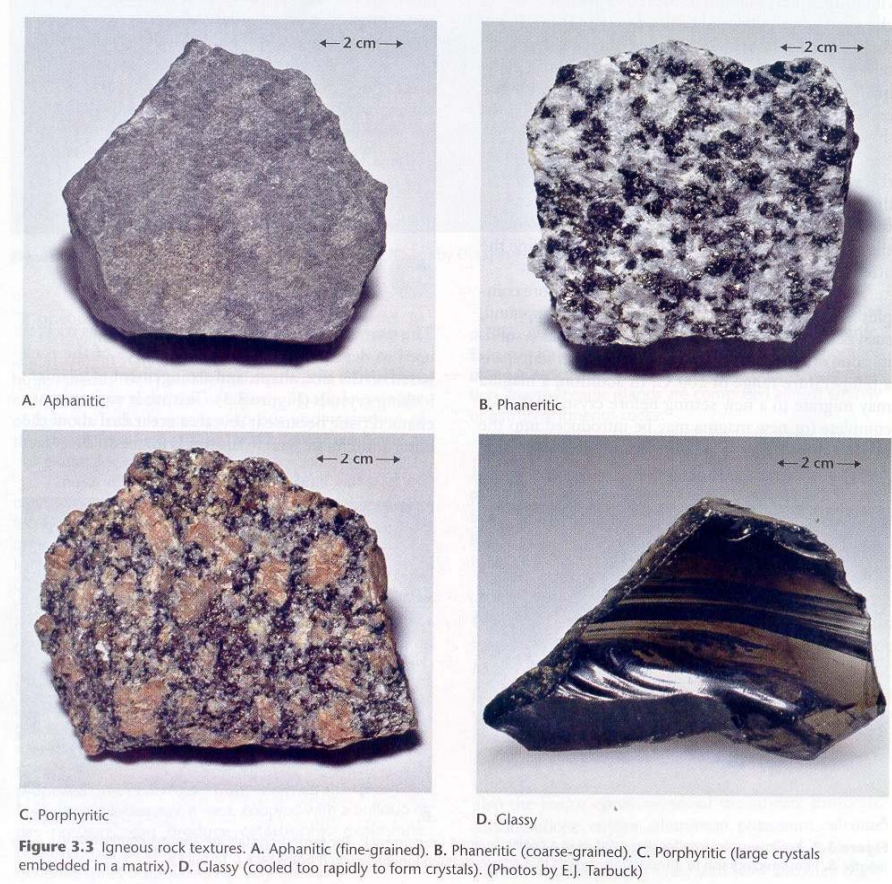
### **Kristal boyutunu etkileyen faktörler**

Magmatik kayaçların dokusunu üç faktör biçimlendirir:

- Magmanın soğuma hızı
- Magmadaki silika miktarı
- Magmadaki çözünmüş gaz miktarı



Bir magma kütleşi soğudukça iyonlarının hareketliliği azalır. Derinlerdeki çok büyük bir magma kütleşinin soğuması onbinlerce hatta yüzbinlerce yıl olabilir. Soğumanın başlangıcın da küçük kristal çekirdekleri oluşur. Yavaş soğuma iyonların uzun mesafelere göç etmesine ve oralarda var olan kristal yapılarına bağlanmasına olanak sağlar. Sonuç olarak yavaş soğuma , az



fakat iri kristallerin oluşumunu sağlar. Öte yandan soğuma çok hızlı olursa (ince bir lav akışında olduğu gibi) iyonlar hareketliliklerini çabuk kaybederler ve birbirleriyle çabuk birleşirler. Bu her biri varolan iyonları kapmak için uğraşan pek çok embriyonik çekirdeğin gelişmesine yol açar. Sonuçta, katı, içice geçmiş pek çok kristalden oluşan bir yapı ortaya çıkar.

Eriyik malzeme çabucak soğumuşsa, iyonların bir kristal ağına dahil olması için yeterince zaman kalmayabilir. Düzensiz iyonlardan oluşan kayaca **cam** (İng. **glass**) adı verilir.

### **Magmatik doku tipleri**

Gördüğümüz gibi soğumanın kayaç dokusu üzerindeki etkisi oldukça doğrudandır; yavaş soğuma iri kristalleri, hızlı soğuma ince/küçük kristalleri oluşturur.

**Afanitik (ince taneli) doku:** Yüzeyde veya kabuğun üst kesimlerinde küçük kütleler halinde oluşan magmatik kayaçlar çok hızlı soğuduklarında ince taneli dokuya sahip olurlar. Tanım olarak afanitik bir kayacı oluşturan kristalleri çıplak gözle ayırt edemeyiz. Bu yüzden bu kayaçları, açık renkli, orta açıklıkta ve koyu renkli olarak gruplarız. Afanitik kayaçlarda magma soğurken kaçan gazların boşluklarına genelde rastlanır. Bu küremsi yada uzunlamasına boşluklar **vesikül** olarak isimlendirilir ve lav akışının üst yüzeyinde bolca bulunurlar.

**Faneritik (iri taneli) doku:** Çok büyük hacimdeki magma yerin oldukça derinlerinde soğursa iri taneli doku gösteren magmatik kayalar oluşur. Bu iri taneli kayalar birbirine kenetlenmiş iri kristallerden oluşur. Bu kristaller az çok aynı boydadır ve çıplak gözle seçilebilir. Faneritik dokulu magmatik kayalar çoğunlukla yerin derinliklerinde oluştuğundan bunların yüzeye çıkmaları üzerlerindeki kayaların aşınmasıyla mümkündür.

**Porfiritik Doku:** Genelde magmanın derinlerde veya sığ derinliklerde soğuması zaman aldığından ve her mineral farklı sıcaklıklarda kristalleştiğinden, bazı kayalarda bazı mineraller oldukça iyi gelişirken diğerleri henüz gelişimlerinin ilk evrelerinde küçük kalabilirler, sonuçta ince kristallerin iri kristalleri sarmaladığı bir doku oluşur. Böyle bir kayada iri kristallere *fenokristal*, ince taneli kristal yığına da *matriks* denir. Bu tür dokuya sahip kayalara *porfiri* denir.



**Figure 3.5** This obsidian flow was extruded from a vent along the south wall of Newberry Caldera, Oregon. Note the road for scale. (Photo by E.J. Tarbuck)

**Camsı Doku (Glassy Texture):** Bazı volkanik patlamalarda eriyik kayalar

atmosfere fırlatılırlar ve orada hızlıca soğurlar. Bu tür hızlı soğumalar camsı dokuya sahip kayaları oluşturur. Daha önce de belirttiğimiz gibi camda (tabii kayac anlamındaki cam) iyonlar düzensiz bir şekilde donup kalmışlardır. Oksidyen, doğal (volkanik) camın yaygın bir örneğidir. Bu ticari cama benzer, tıpkı onun gibi kırılır. Doğada volkanik patlamalarla bazen birkaç metre kalınlığında camlar oluşabilir (şekil 3. 5).

Hızlı soğumadan ayrı olarak çok yüksek silisyum içeriğine sahip magmalar da cam oluşumunu sağlayabilirler.

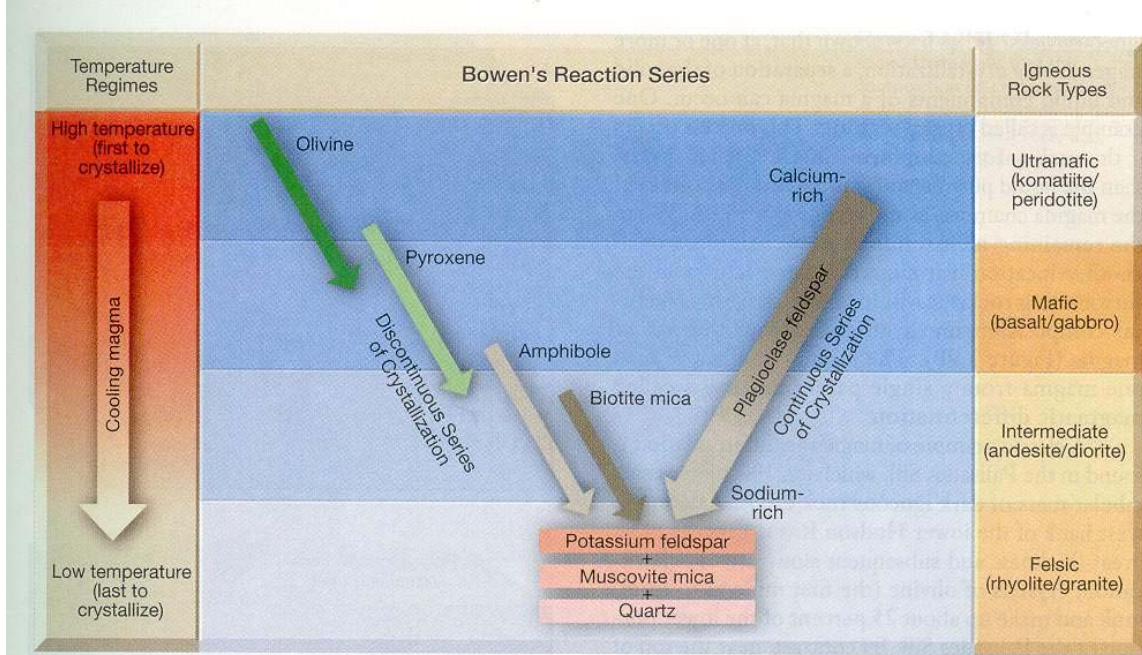


**Figure 3.6** Pyroclastic texture. This volcanic rock consists of

**Piroklastik Doku:** Bazı magmatik kayalar volkanik patlamayla havaya fırlatılan kayac parçalarının birikip tıkkızlaşmasıyla oluşur. Fırlatılan parçaların boyutu çok ince, kül boyutundan çok iri (3-4 m. çaplı) köşeli bloklara kadar değişebilir. Bu yolla oluşan, taneli görünümüne sahip kayalar '*piroklastik dokuya sahiptir*' denir.

**Pegmatitik Doku:** Çok özel





**Figure 3.8** Bowen's reaction series shows the sequence in which minerals crystallize from a magma. Compare this figure to the mineral composition of the rock groups in Table 3.1 Note that each rock group consists of minerals that crystallize in the same temperature range.

koşullar altında çok çok iri kristalli magmatik kayaçlar oluşur, bunlara pegmatit denir. Bu kayaçlarda bütün kristaller birkaç cm'den daha büyük çapa sahiptir. Çoğu pegmatitik dokulu kayaç ana magma kütlelerinin kenarlarındaki damarlarda oluşur. Bu damarlar, ana kütlede kaçan uçucu maddelerce zengin olduklarından ve bu uçucu maddeler de zengin iyon içerdiklerinden buralarda oluşan kristaller oldukça iridirler.

### Magmatik Bileşim

Magmatik kayaçlar büyük ölçüde silikat minerallerinden oluşurlar. Üstelik bir magmatik kayacı oluşturan minerallerin türleri, en nihayetinde bu kayacın oluştuğu magmanın kimyasal bileşimi tarafından belirlenir. Anımsayalım, magma, aynı zamanda silikat minerallerinin ana bileşenleri olan 8 elementten oluşuyordu. Silisyum ve oksijen kayaçta en bol bulunanlardı. Bunlarla birlikte Al, Ca, Na, K, Mg, Fe magmanın neredeyse %98 'ini oluşturur. Magma bunların dışında Ti, Mn, Au, Ağ ve U gibi çok az bulunan elementleri de içerir.

Magma soğudukça bu elementler iki ana silikat grubu mineralleri oluşturmak üzere bir araya gelirler. Koyu renkli silikatlar (ferromagnezyan silikatlar) Fe ve Mg'ca zengin, Si ve O'ce fakirdirler. Olivin, piroksen, amfibol ve biyotit ferromagnezyan silikatların iyi bilinen örneklerindedir. Tersine, açık renkli silikatlar daha fazla K, Na, Ca içerirler. Bunlar Si ve O açısından ilk gruptan daha zengindirler. Açık renkli silikatlar kuvars, muskovit ve feldsparları bolca içerirler.

Magmatik kayaçları bileşimlerine göre iki ana gruba ayırabiliriz. Granitik kayaçlar daha çok açık renkli minerallerden oluşurlar, %70 civarında SiO<sub>2</sub> (silika) içerirler. Kıtasal kabuğun çoğunu granitik kayaçlar oluşturur. Bazaltik kayaçlar bolca ferromagnezyen minerallerden oluşurlar, %50'den az silika içerirler. Okyanusun tabanları bazaltik bileşimli kayaçlardan oluşur. Bu iki uç bileşimin arasında bulunan kayaç grupları da bilinmektedir.

İlk bakışta, bileşimi böylesine farklı kayaçları oluşturan magmaların da birbirlerinden çok farklı kimyasal bileşime sahip olacakları düşünülebilir. Fakat jeologlar farklı zamanlarda püsküren aynı volkanın kayaçlarının birbirinden farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu, bir veya birkaç tür magmanın zaman içinde, kristalleşme sırasında evrim geçirdiği fikrine götürmüştür jeologları. Bu konudaki öncü çalışmaları 20. yy'm ilk çeyreğinde N. L. Bowen'ın çalışmalarına borçluyuz.

### **Bowen Reaksiyon Serisi**

Bir laboratuvar deneyinde Bowen, bir bazaltik magma soğurken, minerallerin kaynama noktalarına göre sistematik bir şekilde kristalleşme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Şekil 3. 8'de görüldüğü gibi, bazaltik magmadan ilk kristalleşen, ferromagnezyen bir mineral olan olivindir. Daha fazla soğuma Ca'ca zengin plajyoklazların yanı sıra piroksenleri oluşturuyor, soğumayla birlikte kristalleşme sırası tablonun alt sıralarına doğru kayıyor.

Kristalleşme süreci sırasında eriyiğin bileşimi sürekli değişir. Örneğin magmanın üçte bir katılaştığında magmada neredeyse hiç Fe, Mg ve Ca kalmaz. Bu elementlerin kristaller şeklinde uzaklaşmasıyla magma Na, K ve Al açısından zenginleşir. Dahası, ilksel bazaltik magma %50 civarında silika (SiO<sub>2</sub>) içerdiğinden; ve ilk kristalleşen mineraller (örneğin olivin) %40 civarında silika içerdiğinden magma zamanla silika açısından da zenginleşir.

Bowen aynı zamanda, önce kristalleşen minerallerin magmayı terketmeyip onunla kontak halinde olacağını, böylece magmayla kimyasal bir reaksiyona girip başka minerallere evrimleşebileceğini de öngörmüştür

### **Kesikli Reaksiyon Serisi**

Şekil 3. 8'de Bowen reaksiyon serisinde olivinle başlayan soldaki kol, magma soğudukça kristalleşen olivinin kalan magmayla reaksiyona girip pirokseni oluşturduğu gösteriyor. Bu reaksiyonda tek tek silika tetrahedrelerinden oluşan olivin yapısına yeni silikalar kazanır ve böylece tetrahedrelerini tek zincirli yapıya dönüştürür ve böylece piroksen ortaya çıkar. Aynı mantıkla magma soğudukça, bu kez piroksenler kalan magmayla reaksiyona girip çift zincirli amfibole dönüşürler. Bu süreçte en sonunda biyotit oluşur. Bu reaksiyonlar zincirinde bir önceki minerallerin tamamı bir sonrakine dönüşmeyebilir. Bu yüzden bu dalda aşağıdaki ve yukarıdaki mineraller bir kayaçta birarada bulunabilirler. Bu reaksiyon serisine "kesikli" denmesinin nedeni, herbir aşamada yeni minerallerin ortaya çıkmasındandır.

### **Sürekli Reaksiyon Serisi**

Şekil 3. 8'de sağdaki kol bu adla anılır. Bu, ilk oluşan Ca'ca zengin plajyoklazların eriyikteki Na iyonları ile sürekli reaksiyona girerek giderek daha fazla Na'ca zengin hale gelmesini anlatır. Burada Na iyonları feldspat kristalleri içine saçılır ve kristal yapısında Ca iyonlarının yerini alır. Soğuma çoğunlukla o kadar hızlı olur ki, Ca'un tamamı yapıdan atılamaz; sonuçta feldspat kristalleri orta kesimleri Ca'ca zengin yapıda iken çeperleri Na'ca zengin niteliğe sahip olur. Soğumanın son evresinde magmanın çoğu katılaştıkça artık K-feldspat oluşur.

### **Magmatik Farklılaşma**



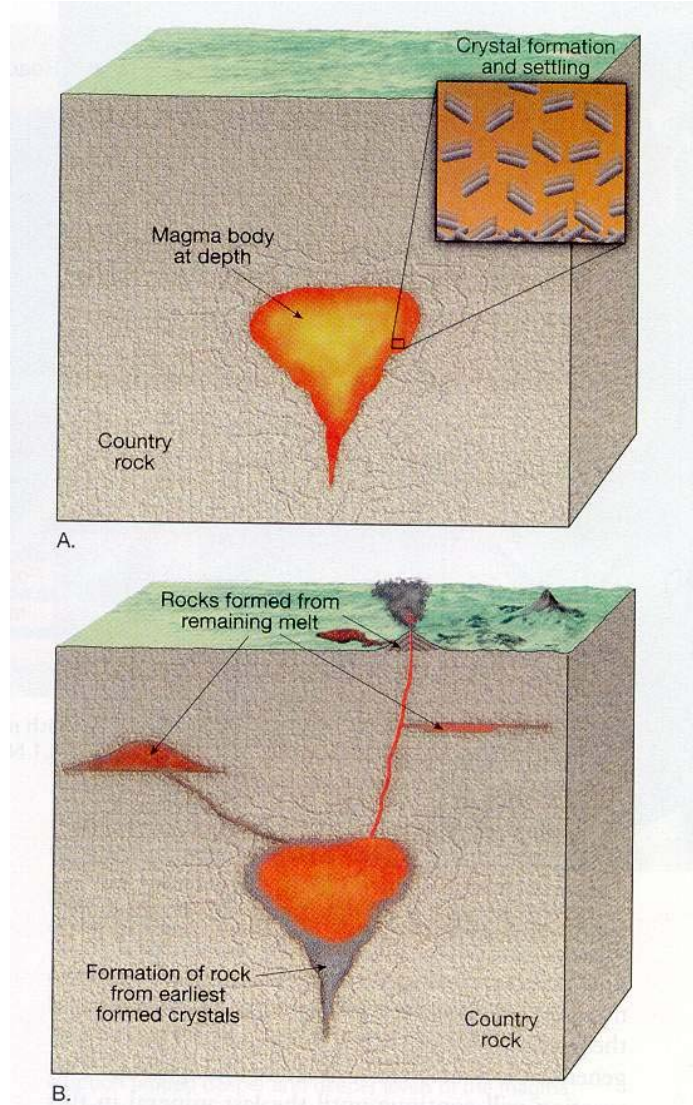
Bowen, minerallerin magmadan itibaren sistematik olarak kristalleşeceğini gösteriyordu. Fakat Bowen reaksiyon serisi büyük çeşitliliğe sahip magmatik kayaları nasıl açıklayabilir? Gösterilmiştir ki, magmanın kristalleşmesi sırasında bir veya birkaç evrede magmanın katı kesimi (yani önce kristalleşen mineraller) eriyikten ayrılabilir. Bunun gerçekleşme yollarından biri kristal çökmesidir. Bu süreç, önce kristalleşen mineraller eriyikten daha ağırsa gerçekleşir. Minerallerin çökmesinden sonra artan kalan eriyik yerinde veya başka bir yere göç edip katılaştığında oldukça farklı bileşimde bir kayaç oluşturacaktır. Bir magmadan birden fazla bileşime sahip magma oluşumuna magmatik farklılaşma (magmatik differentiation) deniyor. Magmatik farklılaşmanın güzel bir örneği Palisades silinde gözlenmiştir. Aşağı Hudson ırmağının (ABD) kenarında gözlenen bu üç yüz metre kalınlığındaki kütlemin alt kesiminde olivin oranı %25 iken, üst kesiminde yalnızca %1 kadardır.

### Asimilasyon ve Magma Karışımı

Son yapılan çalışmalar, magma çeşitliliğinin magma farklılaşmasından başka yollarla da gerçekleşebileceğini göstermektedir. Magma bir kez oluştuğundan sonra, yabancı maddelerin magma içine girmesi onun bileşimini değiştirir. Magma yüzeye doğru yükselirken bazı yan kayaç parçalarını içine alabilir. Bu magmanın kırılğan yan kayalara uygulayacağı basınçla daha da kolaylaşır. Magma bileşimi, bir magmanın bir başka magmayla karışmasıyla da değişebilir.

### Magmatik Kayaçların İsimlendirilmesi

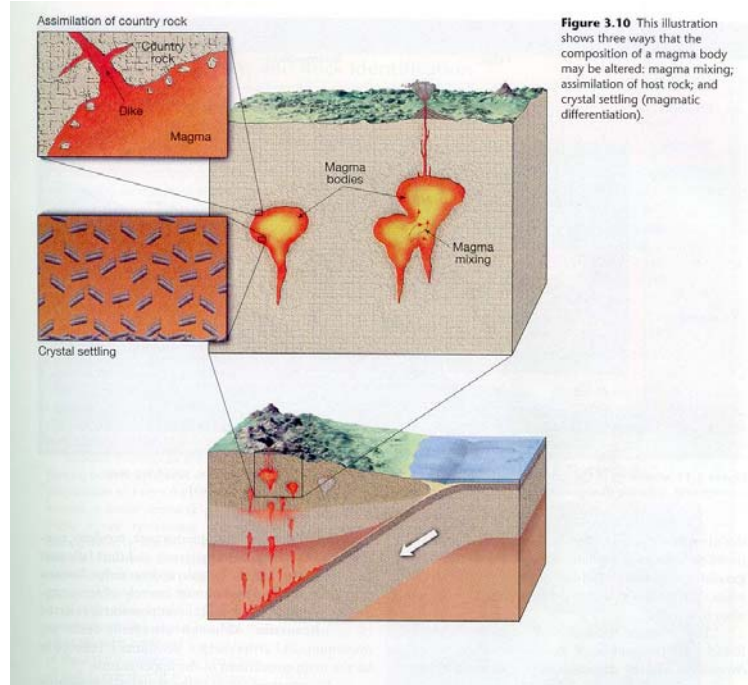
Daha önce de belirtildiği gibi magmatik kayaçlar en çok dokuları ve minarolojik bileşimleri temelinde sınıflandırılıyorlar (şekil 3. 11). Farklı dokular farklı soğuma öykülerinin bir sonucu olarak ortaya çıkıyorsa da bir magmatik kayacın mineralojik bileşimi onu oluşturan magmanın kimyasal bileşimine bağlıdır.



**Figure 3.9** Separation of minerals by crystal settling. A. Illustration of how the earliest-formed minerals can be separated from a magma by settling. B. The remaining melt could migrate to a number of different locations and, upon further crystallization, generate rocks having a composition much different from that of the parent magma.

### Magmatik Kayaç Tipleri

İlk kristalleşen mineraller-olivin, piroksen ve Ca - zengin plajyoklaz - yüksek Fe, Mg ve Ca oranına ve düşük silika ( $\text{SiO}_2$ ) içeriğine sahiptir. Bazalt çoğunlukla bu tür minerallerden oluştuğundan bu tür kayaçların tamamına **bazaltik** adı verilir. Bu kayaçlar çoğu jeolog tarafından **mafik** kayaçlar (magnezyum ve ferrum (demir)'den) olarak da isimlendirilir. Yüksek Fe içerikleri nedeniyle mafik kayaçlar daha koyu renkli ve ağırdırlar.



**Figure 3.10** This illustration shows three ways that the composition of a magma body may be altered: magma mixing; assimilation of host rock; and crystal settling (magmatic differentiation).

Magmadan itibaren son kristalleşen mineral K-Feldispat, ve kuvars, yaygın olarak bulunan **granit** adındaki kayacın bileşimini oluştururlar. Bu iki mineralin baskın olarak bulunduğu kayaçların **granitik** bileşime sahip olduğu söylenir. Jeologlar bu son gruba **Felsik** (feldispat ve silika'dan) de derler.

**Ortaç** (intermediate) bileşimli magmatik kayaçlar Bowen reaksiyon serisinin ortasında yer alırlar. Amfibol ve ortaç plajyoklaz, feldispatlar bu grubun ana bileşenleridir. Granit ve Bazalt arasında bileşime sahip bu kayaçlara da **Andezitik** kayaçlar deniyor. **Andezit**, bu grubun en tipik örneği olan volkanik kayaçtır. Bu üç ana grup arasında hep geçiş olabileceğini unutmamak gerekir.

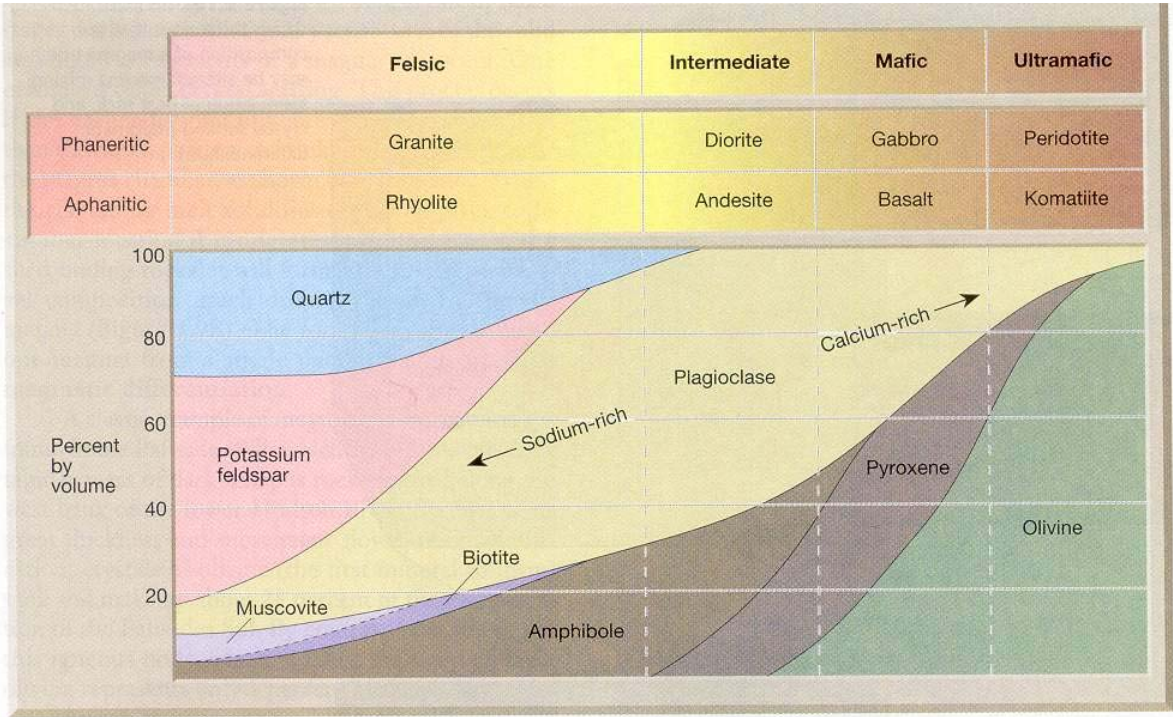
Magmatik kayaçların kimyasal bileşiminin önemli bir özelliği onların silika içeriğidir ( $\text{SiO}_2$ ). Tipik bir kabuk kayacında silika içeriği %50'den (Bazaltik kayaçlar) %70'e (granitik kayaçlar) kadar değişir. Magmatik kayaçlarda silika içeriği diğer elementlere paralel olarak sistematik şekilde değişir. Örneğin bir kayaçta silika oranı düşükse Ca, Mg, Fe oranı yüksek demektir. Sonuç olarak silika içeriği bize magmatik kayaçların kimyası hakkında dolaylı olarak ipuçları sağlar.

Öte yandan silika içeriği magmanın davranışlarını oldukça etkiler. Yüksek silika içeriğine sahip granitik magma oldukça ağırdır ve 800 derece gibi düşük sıcaklıklarda bile akışkanlığını koruyabilir, Bazaltik magma ise düşük silika içeriğine sahiptir ve genelde daha akışkandır ve 950 derece'nin altında büyük ölçüde kristalleşir katılaştır.

### Felsik (Granitik) Kayaçlar

**Granit:** Bütün magmatik kayaçlar içinde en iyi bilinenidir. Bu, bir ölçüde parlatıldığında daha da artan güzelliğinden kaynaklansa da asıl önemli neden onun kıtasal kabuktaki en yaygın kayaç olmasıdır. Parlatılmış granit levhaları





**Figure 3.11** Mineralogy of the common igneous rocks. Phaneritic (coarse-grained) rocks are plutonic, solidifying deep underground. Aphanitic (fine-grained) rocks are volcanic, or solidify near Earth's surface. (After Dietrich)

mezar taşları, anıtlar ve yapı malzemesi olarak kullanılır. Granit, faneritik bir kayadır; %25-30 kuvars, %50'den fazla K-Feldispat ve Na-zengin plajyoklaz içerir. Kuvars kristalleri çoğunlukla küresel ve camsıdır, ve rengi şeffaf-açık gridir. Feldispat kristalleri ise o kadar camsı değildir, rengi beyazımsı-pembemsi-grimsidir. Genellikle dikdörtgenimsi kristaller halindedir. Bunların dışında az miktarda (%20) muskovit ve koyu renkli silikat da granit içinde yer alır. Granit içinde K-Feldispat çoksa kayacın rengi neredeyse kırmızı olur ki, bu kayacın kaplama taşı olarak çok popülerdir. Ankara'da MTA Genel Müdürlüğü'nün yeni yapılmakta olan müzesinin dış cephesi K-Feldispatça zengin granitlerle kaplanmaktadır.

**Riyolit:** Magmatik kayalar mineralojik bileşim ve dokuları temelinde gruplandırıldıklarından iki kayacın aynı mineralojik bileşime sahip olabilir, ancak dokuları farklı olduğundan isimleri de farklı olur. İşte granitinkiyle aynı mineralojik bileşime sahip olan ince taneli volkanik kayaca **riyolit** denir. Riyolit de granit gibi açık renkli silikatlardan oluşur. Bu, doğrudan rengine yansır. Rengi pembemsiden parlak griye kadar değişir. Riyolit aphanitiktir, camsı parçalar ve gaz boşlukları içerir.

**Oksidyen:** Koyu renkli camsı bir kayadır. Silikata zengin lavların ani soğumasıyla oluşur. Oksidyendeki iyonlar çoğunlukla mineraller oluşturmazlar, düzensiz dağılmışlardır.

**Pümis:** Oksidyen gibi camsı dokudadır ancak çok sayıda gaz boşluğu içerir. Bu yüzden hafiftir, suda yüzebilir.

### Ortaç (Andezitik) Kayalar

**Andezit:** Grimsi ince taneli volkanik bir kayadır. And Dağları gibi çoğu dağ bu kayacın oluşur. Bu dağlara

*volkanik ada yayları* adı verilir.

**Diyorit:** Granitten daha koyu renkli, iri taneli magmatik bir kayadır. Gözle görülür kuvars kristalleri içermez.

### **Mafik (Bazaltik) Kayalar**

**Bazalt:** Koyu yeşil-siyah renkli, ince taneli volkanik bir kayadır. Piroksen ve Ca- plajyoklaz, daha az miktarda olivin ve amfibol içerir.

**Gabro:** Bazaltın derinlik eşdeğeri. Rengi bazaltunki gibidir, kristalleri iri ve belirgindir. Okyanusal kabuğun önemli bir kısmını oluştururlar.

### **Piroklastik Kayalar**

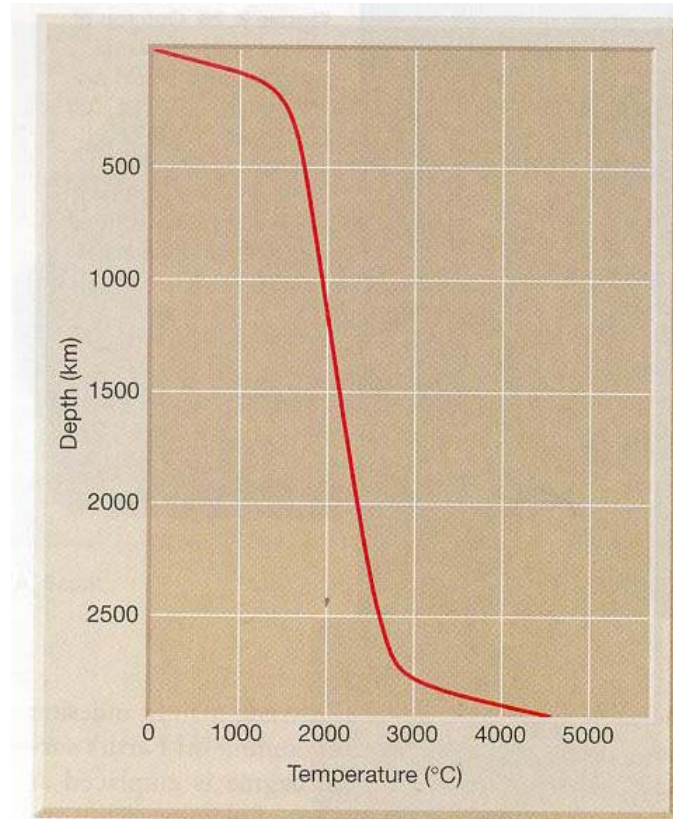
Volkanik patlamalarda bacadan dışarıya fırlatılmış kırıntılardan oluşur. En yaygın bulunanı tüf tür. Bu, kül boyu volkanik kırıntıların çimentolanmasından oluşur. Kül parçaları yere düştüklerinde yeterince kızgınlarsa kaynaşır *kaynamış tüf* oluştururlar. Bunlar genellikle sert kayalardır. Kül boyundan daha iri parçalardan oluşan piroklastik kayaca *volkanik breş* denir.

### **Levha Tektoniği Ve Magmatik Kayalar**

Neredeyse bilimin doğuşundan beri magmanın kökeni oldukça tartışmalı bir konudur. Farklı bileşimde ki magmalar nasıl oluşur? Derin deniz okyanus havzalarındaki volkanlar neden başlangıçta bazaltik lav püskürtürler, buna karşın hendeğe komşu kıta kenarındakiler andezitik bileşimlidir? Neden bazaltik kayalar yeryüzünde yaygınken granitik kayalar kabuğun derinlerinde yerleşirler. Levha tektoniği teorisi çerçevesinde bakış bu sorulara bazı yanıtlar getirir.

#### **Magmanın Kökeni**

Elimizdeki bilimsel veriler yerkabuğu ve mantonun eriyik olmayan katı kayalardan oluştuğunu gösterir. Dış çekirdek akışkan olmakla birlikte Fe'ce zengin yoğun malzemeden oluşması yüzünden hep yerin derinliklerinde kalıyor. Şu halde magmatik



**Figure 3.21** This graph illustrates the estimated temperature distribution for the crust and mantle. Notice that temperature increases significantly from the surface to the base of the lithosphere and that the temperature gradient (rate of change) is much less in the mantle. Because the temperature difference

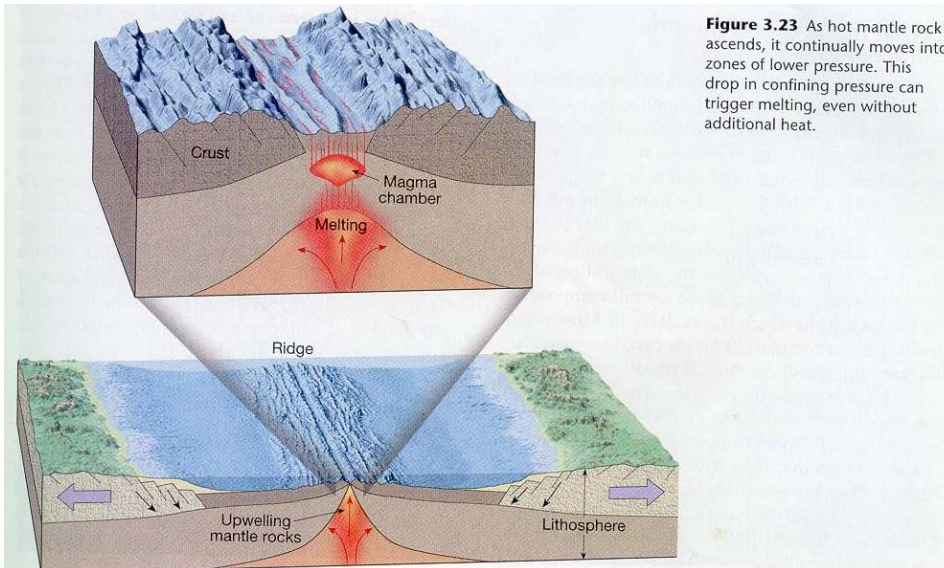


aktiviteyi oluşturan bu magma nereden geliyor?

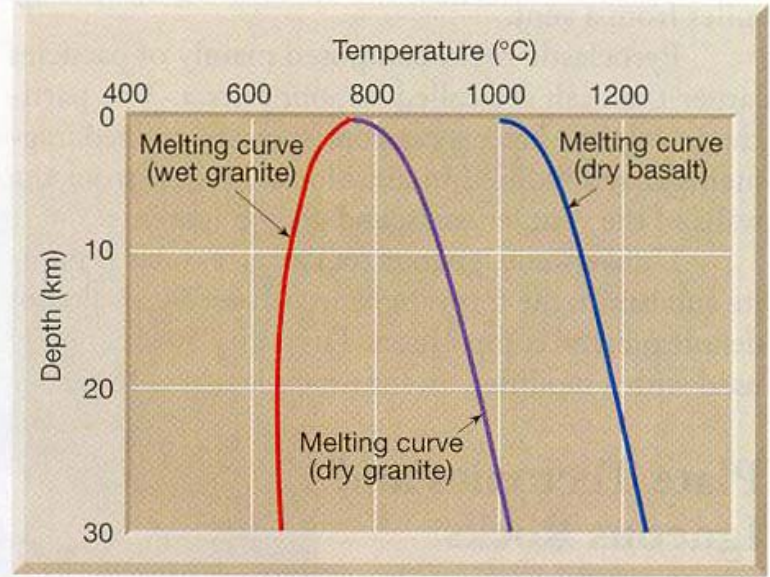
Jeologlar, magmanın kabuk veya üst mantodaki kayaların erimesiyle oluştuğu sonucuna ulaşıyorlar. Erimeyi başlatmanın en doğrudan yolu sıcaklığı arttırmaktır. Granitik kayaların bulunduğu kıtaların altında 750 derece ve daha çok bazaltik kayaların bulunduğu okyanuslar altında 1000 dereceye ulaşıldığında ergime başlıyor. Sıcaklık artışının yanında *hopsolmuş basınç* (yerin derinlerindeki lito statik basınç) azaldığında veya ortama bolca akışkan girdiğinde de ergime olayı daha kolay gerçekleşebiliyor.

### Isının Rolü

Kayaçları eritmek için hangi ısı kaynağı yeterlidir? Yeraltında çalışan madenciler derinlere inildikçe sıcaklığın arttığını bilirler. Sıcaklık artış oranı yerden yere değişmekle birlikte kilometrede ortalama 20-30 derece civarında gerçekleşir. Derinlikle sıcaklığın bu artışına *jeotermal gradyan* denir. Tahminler 100 km derinde sıcaklığın 1200-1400 dereceye kadar çıktığını gösteriyor.



Bu koşullar altında magma birkaç yolla oluşabiliyor. İlk olarak dalma-batma zonlarındaki sürtünme (bir levhanın diğerine sürtünmesi) fazladan ısı yaratıyor; ikincisi ise derinlere doğru dalan levha jeotermal gradyan



**Figure 3.22** Idealized melting temperature curves. These curves portray the minimum temperatures required to melt rock within Earth's crust. Notice that dry granite and dry basalt melt at higher temperatures with increasing depth. By contrast, the melting temperature of wet granite actually decreases as the confining pressure increases.

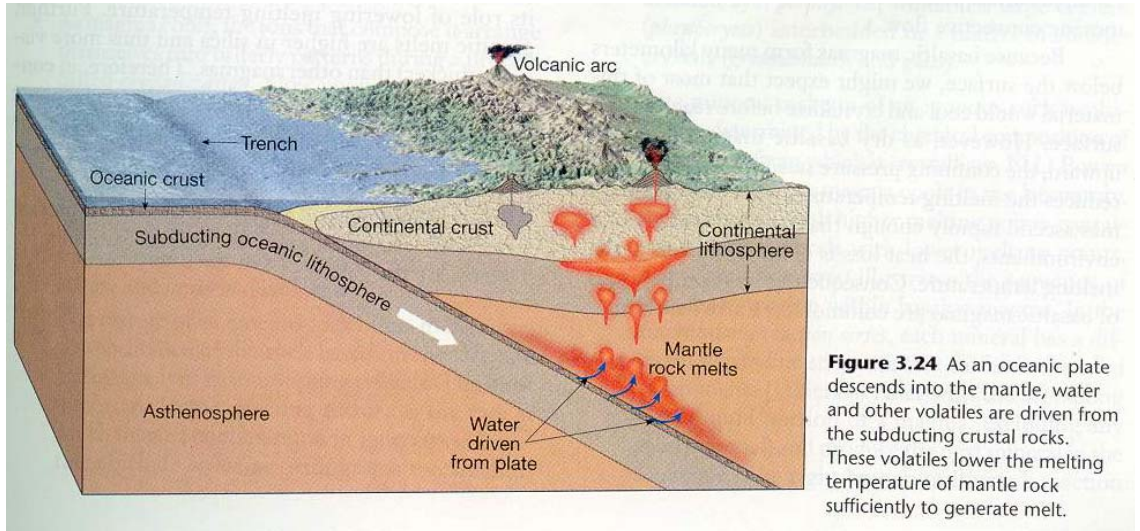
yüzünden giderek daha fazla ısınıyor. Üçüncü olarak da derinlerde ısınan malzeme yukarı çıkıp civarındaki kayaları ısıtabilir. Bütün bu süreçler bir miktar magma oluştursa da, genellikle bunun miktarı ve yayılımı sınırlıdır. Daha sonra göreceğimiz gibi çoğu magma yeni ısı eklenmesi olmaksızın ortaya çıkar.

### **Basıncın Rolü**

Eğer ergimeyi yalnız sıcaklık belirleseydi, gezegenimiz ince bir katı kabukla sarılmış eriyik bir top olurdu. Halbuki durum bu değildir. Çünkü derinlikle birlikte sıcaklık da artar. Hacim artışını da ortaya çıkaran ergime daha büyük derinliklerde çok daha fazla sıcaklıklar gerektirir. Çünkü derinliklerde hapsolmuş basınç giderek artar. Tersine hapsolmuş basıncı azaltmak kayacın ergimesi için gerekli sıcaklığı düşürür, yani hapsolmuş basınç düşerse ergime tetiklenir (başlar). Bu, konvektif yükselim nedeniyle kayaların düşük basınç alanlarına doğru yükselmesiyle gerçekleşir. Bu süreç okyanusal sırtlar boyunca magma oluşumunu sağlar.

### **Uçucuların Rolü**

#### **Magmanın erime sıcaklığını kontrol eden bir başka**



etmen onun su içeriğidir. Su ve diğer uçucular, tuzun buza yaptığına benzer bir etkide bulunurlar, onun erime sıcaklığını düşürürler. Basıncın artmasıyla birlikte uçucuların etkisi daha da büyür. Uçucular, soğuk okyanusal litosferin mantoya doğru daldığı yerlerde magma oluşumunda önemli bir role sahiptirler. Okyanusal levha daldıkça, sıcaklık ve basınç, levha üzerinde üst mantoya çekilen sedimanlardaki suyu kaçırmaya zorlar. Oldukça hareketli su ve başka uçucular üstteki mantoya geçerler. Bu sürecin mantodaki ergime sıcaklığını yeterince düşürdüğü ve ergimeye yol açtığına inanılır. Birkez yeterince magma kütlesi oluştuğundan sonra, bu kütle dalmazlık etkisiyle yüzeye doğru yükselir. Kıtasal yerleşimde bu kütle zaten ergime noktasına yakın kayalar içine sokulabilir. Bu ikincil silikata zengin magmalar yaratabilir.



# BÖLÜM 4

## SEDİMANTER KAYAÇLAR



**Figure 6.3** Sedimentary rock layers exposed in the walls of the Grand Canyon, Arizona. Beds of resistant sandstone and limestone produce bold cliffs. By contrast, weaker, poorly cemented shale crumbles and produces a gentler slope of weathered debris in which some vegetation is growing. (Photo by Tom Till)

Daha önce oluşup ta yüzeye çıkan yaşlı kayaçların bozunmaları süreci yeni sedimanter kayaçların oluşum sürecinin başlangıcını oluşturur. Sonra aşındırıcı etmenler, örneğin akarsu, rüzgar, dalga ve buzlar, bozunmayla oluşan ürünleri bunların nihai olarak çökecekleri yeni yerlere taşırlar. Çoğunlukla, taşınma sırasında tanecikler daha da parçalanırlar. Çökmeden sonra sediman adını alan bu malzeme taşlaşır ve çoğu durumda sedimanlar tıkkızlaşma (compaction) ve çimentolanma (cementation) süreçleri sonucunda katı sedimanter kayaca dönüşür.

Öyleyse, mekanik ve kimyasal bozunmanın ürünlerinin sedimanter kayaçların hammaddesi olduğunu söyleyebiliriz. Sedimanter sözcüğü, latince sedimentum'dan türetilmiştir, ve hava veya su gibi bir akışkandan çökelmiş katı maddeleri anlatır. Hepsisi değilse de çoğu sediman bu yolla çökler. Bozunmuş ana kayaç artıkları (debriler) ana kaya üzerinden sürekli süpürülür, uzaktaki göllere, akarsu vadilerine, denizlere ve sayısız başka alanlara taşınır. Bir çöl dönündeki tanecik, bir bataklığın tabanındaki çamur, akarsu yatağındaki çamur ve hatta evinizdeki toz tanesi, bunların hepsi bu sürekli taşıyıp biriktirmenin canlı örneklerini oluşturur. Ana kayacın bozunması, taşınma ve çökertilmesi sürekli devam ettiğinden sedimanları her yerde bulmak mümkündür. Sediman yığınları biriktikçe daha tabandaki malzeme (sediman) üsttekilerin ağırlığı yüzünden tıkkızlaşır. Uzun dönemler boyunca, tanelerin arasındaki boşlukları dolduran mineral maddeler tarafından çimentolanırlar ve katı kayacı oluştururlar.

Jeologlar, sedimanter kayaçların dünyanın en dıştaki 16 km kalınlığındaki kesimin hacimce yalnızca %5'ini oluşturduğunu hesaplıyorlar. Ancak bu kayaçların önemi, üstteki yüzdenin ima ettiğinin çok çok ötesindedir. Eğer yüzeyde bulunan kayaçları örneklemiş olsaydık, yüzeyin büyük kesiminin bu kayaçlardan oluştuğunu görecektik. Gerçekten kıtaların yüzeyindeki kayaçların %75'ini sedimanter kayaçlar oluşturur. Şu halde sedimanter kayaçları, kabuğun en üst kesiminde bulunan ince ve biraz da yanal devamlılığı sınırlı bir katman olarak düşünebiliriz. Sedimanların yüzeyde biriktiğini düşündüğümüzde bu yüksek oran çok anlamsız gelmez bize. Sedimanlar yüzeyde biriktiklerinden, tabaka katmanları geçmişte gerçekleşen olaylar konusunda kanıtlar taşırlar. Çok değerli doğaları (özellikleri) sayesinde sedimanter kayaçlar, içlerinde çökeldikleri eski ortamları ve taşınma koşullarını gösteren bilgiyi bulundurlar. Dahası, jeolojik geçmişin incelenmesinde hayati öneme sahip olan fosiller, yine sedimanter kayaçlar içinde bulunurlar. Sonuç olarak, jeologlar yer tarihinin detaylarını yeniden kurgularken büyük ölçüde bu kayaç grubundan yardım görürler.

Son olarak, çoğu sedimanter kayaç ekonomik olarak oldukça önemlidir. Ülkemizin elektrik enerjisinin önemli bir kısmının eldesi için yakılan kömür, bir sedimanter kayaç sınıfıdır. İnsanlığın başka ana enerji kaynakları petrol ve doğal gaz sedimanter kayaçlarla ilişkili olarak bulunur. Demir, alüminyum, manganez ve gübre yanında inşaat sektörünün pek çok ana malzemesinin kaynağı hep sedimanter kayaçlardır.

## **SEDİMANTER KAYAÇLARIN TÜRLERİ**

Sedimanlar iki ana kaynağa sahiptirler. İlki, mekanik ve kimyasal bozunmadan katı partiküller olarak türeyip taşınan malzemedir. Bu tür çökeller "kırıntılı" diye tanımlanır. Bunların oluşturduğu sedimanter kayaçlara kırıntılı sedimanter kayaçlar (detrital sedimentary rocks) adı verilir. İkinci ana sediman kaynağı, büyük oranda



kimyasal bozunmadan türeyen çözünebilir malzemelerdir. Bu çözülmüş maddeler inorganik veya organik süreçlerle çökdiklerinde oluşan malzemeye kimyasal sediman; bunların oluşturduğu sedimanter kayaçlara ise kimyasal sedimanter kayaçlar denir.

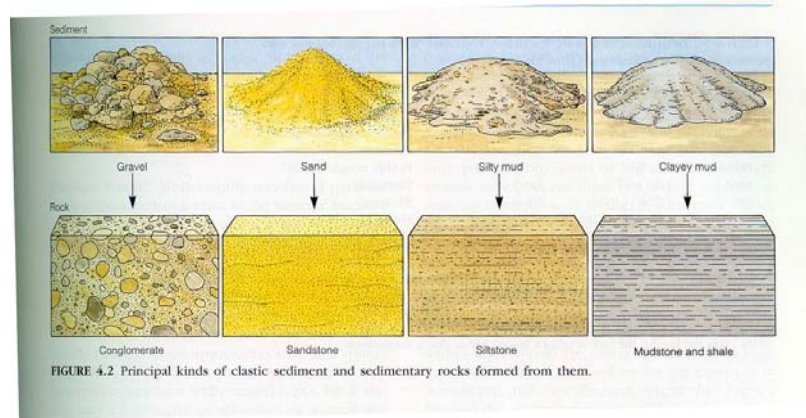
### KIRINTILI SEDİMANTER KAYAÇLAR

Kırıntılı kayaçların yapısında pek çeşitli mineraller ve kayaç parçaları bulunursa da, kil mineralleri ve kuvars çoğu sedimanter kayacın başlıca bileşenlerini oluştururlar. Kil mineralleri silikat minerallerinin, özellikle de feldispatların kimyasal bozunmasının en yaygın ürünlerindedir. Killer, levha şekilli kristal yapıya sahip ince taneli minerallerdir, mikalara benzerler. Diğer yaygın mineral olan kuvars oldukça sert ve kimyasal bozunmaya oldukça dayanıklı bir mineraldir. Eğer granit gibi magmatik kayaçlar yüzeysel bozunma süreçlerinden etkilenirlerse, tek tek kuvars taneleri serbestleşirler.

Kırıntılı kayaçlardaki diğer yaygın mineraller feldispat ve mikalardır. Kimyasal bozunma bu mineralleri hızlıca başka minerallere dönüştürğünden, bunların sedimanter kayaçlarda bulunmaları, ana kayacın hızlı aşındırılıp, aşınan sedimanların çabuk çökdikleri anlamına gelir.

Tane boyu kırıntılı kayaçları birbirinden ayırmada temel parametredir. Alttaki şekilde kırıntılı kayaçları oluşturan partikül sınıfları gösterilmektedir. Buradaki kullanımda, kil teriminin yalnızca tane boyuna işaret ettiğini, herhangi bir mineral adına karşılık gelmediğine dikkat ediniz. Çoğu kil mineralleri kil boyunda ise de, tüm kil boyu sedimanlar kil minerallerinden oluşmazlar.

Tane boyu, yalnızca kırıntılı kayaçların bölümlenmesinde uygun bir yöntem olmakla kalmaz, aynı zamanda çökme



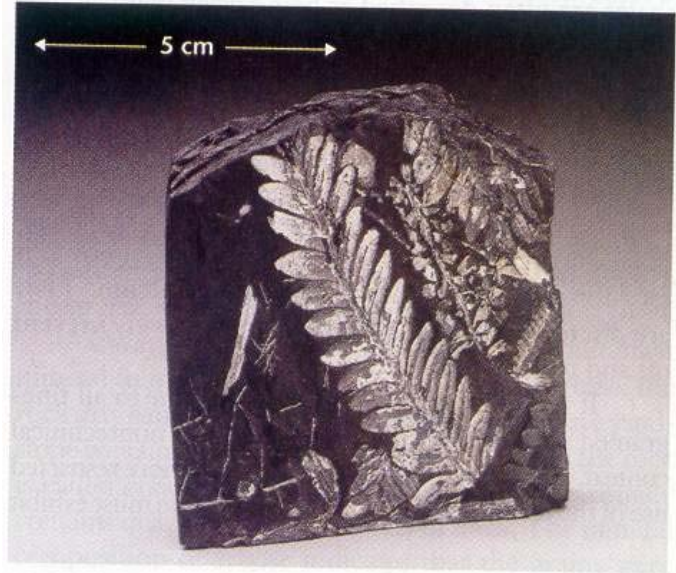
ortamı hakkında da yararlı ipuçları verir. Hava veya su akımı, partikülleri boyutlarına göre boyutlandırır; akıntı ne kadar büyükse, o ölçüde daha iri bloklar taşınır. Örneğin çakıllar, akarsu içinde olduğu kadar heyelan ve buzullar içinde de hızlıca hareket ederler. Kum taşımak için az enerji gerekir; örneğin rüzgarların süpürüp çöktüğü dünler, bazı akarsu ve kumsal çökelleri gibi. Kili taşımak için çok az enerji yeterlidir, bu yüzden çok yavaş olarak kendi ağırlığı ile çöker. Bu pek ince partiküllerin birikimi çoğunlukla durgun göl, lagün, bataklık ve bazı deniz ortamları ile ilişkilidir.

Artan tane boyu sırasına göre yaygın kırıntılı sedimanter kayaçlar şeyl, kumtaşı ve çakıltası veya breştir.

## Şeyl

Şeyl, silt ve kil tane boyundaki malzemeden oluşan bir sedimanter kayaçtır. Bu ince taneli sedimanter kayaçlar, toplam sedimanter kayaçların nerdeyse yarısını oluşturur. Bu kayaçların bileşenleri öyle küçük tane boyudur ki, ancak çok büyütülmeli bir lupla (büyüteçle) bakıldığında görülebilir.

Şeylle ilgili öğrenilebilecek çoğu şey onun tane boyundan gelir. Şeyldeki ince tane boylu bileşenler kısmen sakin, türbülanslı olmayan akıntılardan itibaren çökeltilir. Bu tür ortamlar göller, akarsu taşkın düzlükleri, lagünler ve denizlerin derin kesimleridir. Bu sakin ortamda bile kil boyu partikülleri hareketli tutacak yeterli türbülans vardır. Sonuçta, çoğu partikül yanındakine birleşip te daha iri yığılımlar oluşturduklarında çökebilirler. Bazen bu kayaçların kimyasal bileşimi de önemli bilgiler sağlar. Örneğin siyah şeyller, adlarının belirttiği gibi siyahtırlar. Çünkü bol miktarda organik madde (karbon) içerirler. Eğer böyle bir kayaçla karşılaşmışsanız, bunun çökelişiminin oksijence fakir bir ortamda örneğin bir bataklık ya da bir anoksik gölde gerçekleştiğini ileri sürebilirsiniz. Çünkü oksijenli ortamlarda organik maddeler kolayca bozunurlar.



**Figure 6.2** Shale is a fine-grained detrital rock that is by far the most abundant of all sedimentary rocks. Dark shales containing plant remains are relatively common. (Photo by E. J. Tarbuck)

Kil ve siltler genellikle çok ince tabakalar halinde çökelişirler ki bu ince tabakalara

lamina denir. Başlangıçta laminadaki partiküller rastgele yönlendirilmişlerdir, bu yüzden yüksek oranda birbirleriyle bağlantılı gözeneğe sahiptirler. Ancak bu durum, üzerine yeni katmanların birikmesiyle zamanla değişir; bu evrede kil ve silt partikülleri tabakalaşmaya paralel dizilmeye başlarlar. Bu düzenlenme gözenek boşluklarının boyutunu azaltır ve buralardaki suyu kaçırmaya zorlar. Taneler bir kez birbirine daha yakın hale geldiklerinde, artık çimentolanmayı sağlayacak gözenek suları kaçacak yer bulamazlar. Bu yüzden şeyller genellikle zayıf olarak nitelenir, zayıf çimentolandıklarından pek taşlaşmış değildirler.

Şeyllerin suyu geçirmemesi yeteneği, onların yeraltındaki su ve petrol hareketi açısından neden bariyer oluşturduğunu iyi açıklar. Su, yeraltında şeyl türünden bir geçirimsiz katmanın üstündeki geçirimli katman içinde ilerlerken, petrol (hafifliği yüzünden), şeyl türünden bir geçirimsiz katmandan yukarı çıkamadığından bir şeyl kubbesi tarafından örtülür.

Şeyl genel olarak bütün ince taneli sedimanlara uygulanan teknik olmayan bir kavram olarak kullanıldığı gibi, bazen de yalnızca çok ince tabakalaşma düzlemlerine ayrılabilen ince taneli sedimanter kayaçlar için

kullanılır. Şeylin bu özelliğine ayrılma (fissility) adı verilir. Eğer ince taneli kayaç bloklara ayrılıyorsa ona çamurtaşı adı verilir. Ayrılma göstermeyen çamurtaşına silttaşı denir.

Bazı şeyl katmanları ekonomik öneme sahip olabilirler, özellikle çanak çömlekçilikte, tuğla imalinde kullanılırlar. Özel bir şeyl türü olan, yüksek organik madde içerikli petrollü şeyl (oil shale) geleceğin önemli hammaddelerinden biri olmaya adaydır.

### Kumtaşı

Kumtaşı, kum boyu tanelerin baskın olduğu (bol olduğu) sedimanter kayaca verilen isimdir. Şeylden sonra kumtaşları, kırıntılı sedimanter kayaçların toplam %20'sini oluşturan ikinci bol üyesidir. Kumtaşları çok değişik ortamlarda oluşabilirler ve boylanma tane biçimi ve bileşimi gibi bazı özellikleri sayesinde oluşum ortamı hakkında ipuçları sağlarlar.

Boylanma (ing. sorting), bir sedimanter kayaçta tane boylarının birbirine benzerliğinin ölçüsüdür. Bir kumtaşında taneler az çok aynı boyda ise bu kumtaşına "iyi boylanmış"(well-sorted) denir. Tersine, eğer kayaç iri ve küçük tanelerin bir karışımı şeklindeyse bu kumtaşının "kötü boylanmış" (poorly sorted) söylenir. Bir kumtaşının boylanmasını inceleyerek, onu çökelten akıntılar hakkında bilgi ediniriz. Rüzgarın çökelttiği kumlar, çoğunlukla dalgaların çökeltiklerinden daha iyi boylanmıştır. Öte yandan dalgaların çökelttiği kumlar, akarsuların çökeltiklerinden daha iyi boylanmıştır. Kötü boylanmış birikimler, çoğunlukla kısa mesafede taşınıp aniden çökeltilemeyle gerçekleşir. Örneğin bir türbülanslı akarsu, sarp dağ eteğine ulaşır orada düşük eğimle karşılaştığında taşıdığı çakıl ve kum yüklerini karışık ve kötü boylanmış bir şekilde oracıkta bırakır.

Tane şekli de bir kumun tarihinin aydınlatılmasında yardımcı olabilir. Akarsular, rüzgarlar veya dalgalar kum tanelerini ve diğer sedimanları taşırken birbirlerine ve zemine çarpmak suretiyle onların keskin kenarlarını ve köşelerini yuvarlaklaştırırlar.

Bu yüzden yuvarlak taneler çoğunlukla su veya havada taşınmışlardır. Bunun yanında yuvarlaklaşma derecesi taşınma mesafesi ile de ilgilidir. Çok köşeli taneler iki anlama gelebilir. Ya taneler çok kısa bir mesafede taşınmıştır, ya da onları taşıyan başka bir ortamdır. Örneğin buzullar sediman taşırken, buzul etkisiyle gelişen kırılma ve ufalanma yüzünden düzensiz bir dış görünüşe sahip olurlar.

Taşınma yuvarlaklığa ve tanelerin boylanmasına etki ettiği kadar türbülanslı hava veya su akıntılarıyla uzun

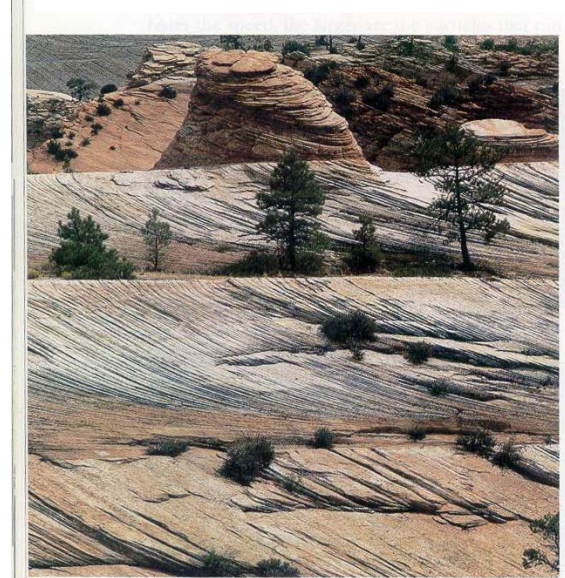


FIGURE 4.6 Ancient cross-stratified sand dunes converted to sandstone are exposed widely in Zion National Park, Utah. The inclined bedding dips to the right, in the direction toward which the prevailing wind blew when the dunes were active.

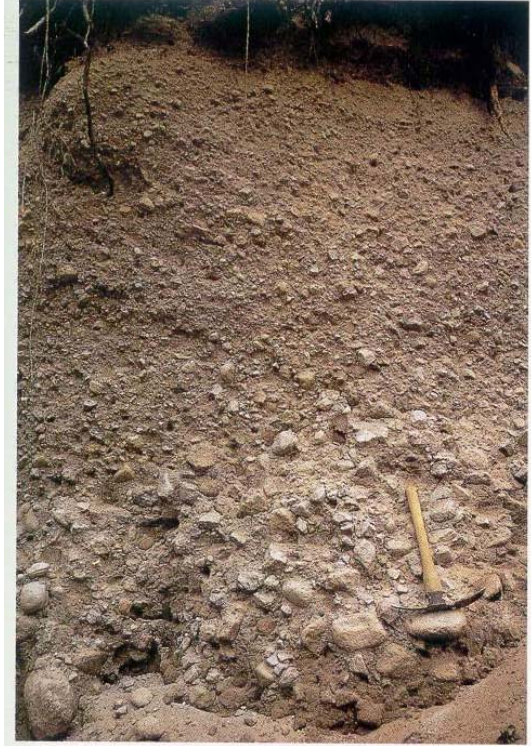


mesafelere taşınma sedimanter çökellerin mineral bileşimini de etkiler. Bozunma ve uzun mesafelere taşınma daha zayıf olan feldispat ve ferromagnezyen mineraller içeren bazı tanelerin daha kolay kırılmasına neden olur. Kuvars çok dayanıklı olduğundan türbülanslı ortamlarda genellikle korunur. Bu yüzden çoğu kumtaşında en bol bulunan mineraldir. Yüksek oranda kuvars taneleri içeren kumtaşlarına kuvars kumtaşı denir. Eğer kumtaşı yüksek oranda feldispat taneleri içeriyorsa buna da arkoz denir. Arkozlar içinde feldispat yanında ışıldayan mika kırıkları da bulunur. Arkozlar granit kaynak kayaların varlığını gösterir. Üçüncü bir kumtaşı türü grovaktır. Bu, kuvars yanında bolca kayaç parçası ve bunları birbirine tutturun killi-siltli bir matriksten oluşur.

### **Konglomera ve breş**

Konglomeralar büyük ölçüde çakıllardan oluşurlar. Çakıllar, çoğunlukla kaya türleri saplanabilecek kadar iridirler. Bu yüzden kaynak bölgenin tayin edilmesinde önemlidirler. Konglomeralar çoğunlukla kötü boylanmıştır. Çakıllar, sarp yamaç eğimi ve oldukça türbülanslı akışlar nedeniyle çeşitli ortamlarda birikebilirler. Konglomeradaki iri çakıllar dağ akarsularının enerjili akışlarını, veya aşındırıcı bir sahildeki güçlü dalga etkinliğini gösterebilir.

Eğer kayacı oluşturan iri taneler yuvarlak değil de köşeli ise bu kayaç breş adını alır. Taşınma sırasında iri taneler birbirine çarpma yüzünden çabucak yuvarlaklaştıklarından, breşlerin varlığı çok kısa taşınma mesafelerini gösterir. Başka bir deyişle diğer pek çok sedimanter kayaç gibi konglomera ve breşler de geçmiş tarihle ilgili ipucu taşırlar.



**FIGURE 4.7** A mudflow deposit that originated at Mount St. Helens Volcano is vertically sorted. Conspicuous cobbles and pebbles in the lower part grade upward into finer pebbles and sand near the top. This graded bed resulted from a prehistoric eruption that sent a flood of muddy debris down a nearby valley.

### **KİMYASAL SEDİMANTER KAYAÇLAR**

Bozunmanın katı ürünlerinden oluşan kırıntılı kayaçların tersine, kimyasal sedimanlar göl ve denizlere çözültide taşınan malzemedan türelerler. Bu maddeler suda sonsuza kadar çözülti olarak kalmaz; bir kısmı kimyasal sedimanlar olarak çökelirler. Bunlar zamanla kireçtaşı, çört ve kaya tuzu gibi kayaçları oluştururlar.

Bu malzeme çökeli mi iki yolla olur. İnorganik süreçler, örneğin buharlaşma ve kimyasal aktivite, kimyasal sedimanları üretir. Suda yaşayan organizmaların organik (yani yaşam) süreçleri de kimyasal sedimanlar oluşturur ki bunlara "biyokimyasal kökenlidir" denir.

İNorganik kimyasal süreçlerle oluşan çökellerden biri çoğu mağarayı süsleyen damlataşlarıdır. Bir diğeri, denizin buharlaşmasından arta kalan tuzdur. Bunların tersine, çoğu suda yaşayan hayvan ve bitki, kavkı veya



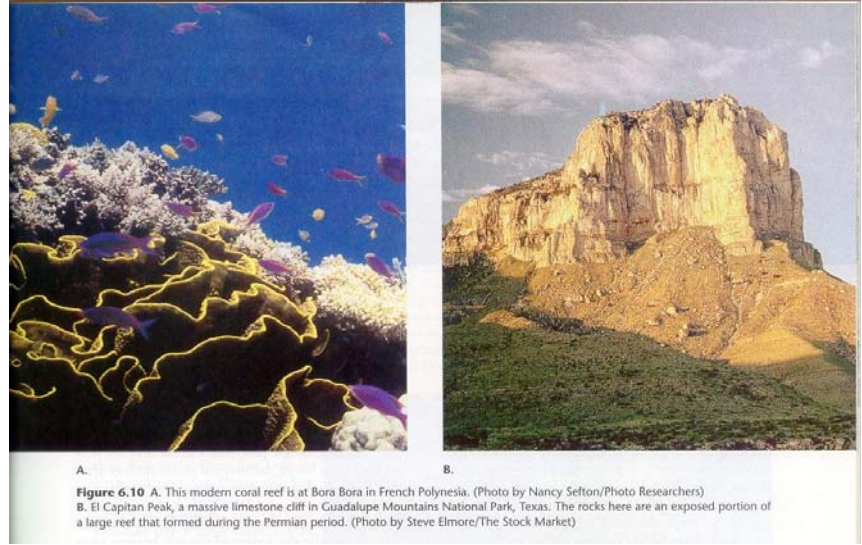
başka katı bölümlerini oluşturmak üzere kimyasal madde salgılar. Organizma öldüğünde bu katı bölümlerin milyonlarca göl veya okyanus tabanında birikerek biyokimyasal sedimanları oluşturur.

### ***Kireçtaşı***

Bütün sedimanter kayaçların %10 kadarını oluşturur. En yaygın kimyasal sedimanter kayaçtır. Başlıca kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) minerallerinden ibarettir ve hem inorganik hem de biyokimyasal yolla olabilir. Kökenleri farklı olsa da bütün kireçtaşlarının bileşimi birbirine benzer. Bunlar içinde en yaygın bulunanı biyokimyasal yolla denizlerde çökelmiş olanıdır.

### ***Mercan resifleri***

Mercanlar, büyük miktarlarda denizel kireçtaşı üretebilme yeteneğine sahip organizmalara önemli bir

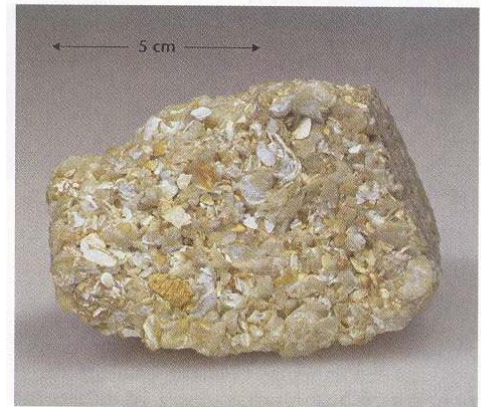


**Figure 6.10** A. This modern coral reef is at Bora Bora in French Polynesia. (Photo by Nancy Sefton/Photo Researchers) B. El Capitan Peak, a massive limestone cliff in Guadalupe Mountains National Park, Texas. The rocks here are an exposed portion of a large reef that formed during the Permian period. (Photo by Steve Elmore/The Stock Market)

örnektir. Bu kısmen basit omurgasız hayvanlar kalkerli bir dış iskelet salgırlarlar. Küçük olmalarına karşın, mercanlar resif adı verilen masif yapıları oluşturabilirler. Resifler çok sayıda mercan bireylerinin bir araya gelmesiyle oluşmuş kolonileri içerirler. Resiflerde mercanlarla birlikte  $\text{CaCO}_3$  salgılayan algler de yaşar. Bunlar mercanların birbirine tutunarak masif bir yapı oluşturmalarına yardım eder. En iyi bilinen güncel resif Avustralya'nın Büyük Bariyer Resifidir. Bu resif 2000 km uzunluğundadır. Bunlar sıg, ılık tropikal/subtropikal sularda ( $30^\circ$  enlemlerine kadar ) gelişirler. Mercanlar jeolojik geçmişte çok muazzam miktarlarda kireçtaşı üretmişlerdir. Anadolu'da özellikle Toros Dağlarında Kambriyen'den Geç Kretase'ye kadar yaşta çok kalın kireçtaşları bulunur.

### ***Kokina ve tebeşir***

Çoğu kireçtaşı biyolojik süreçlerin ürünü ise de bu genellikle pek belirgin değildir, çünkü kavkı ve iskeletler kayacın taşlaşması sırasında çok önemli değişikliklere uğrarlar. Buna karşın, kolayca ayırt edilebilecek kireçtaşlarından biri kokina'dır. Bu, kötü çimentolanmış kavkı ve kavkı kırıklarından oluşur. Daha az belirgin ama benzer bir örnek



**Figure 6.9** This rock, called coquina, consists of shell fragments; therefore, it has a biochemical origin. (Photo by E. J. Tarbuck)

Close up



tebeşirdir. Bu yumuşak, gözenekli, tamamen mikroskobik denizel organizmalardan ibaret bir kayadır. En ünlü tebeşir çökelleri İngiltere'nin güney sahilleri boyunca bulunur.

### ***İnorganik Kireçtaşı***

İnorganik kökene sahip kireçtaşları kimyasal değişimler veya yüksek su sıcaklığı, kalsiyum karbonat konsantrasyonu  $\text{CaCO}_3$ 'ü çökertecek noktaya çıkarırsa gerçekleşir. Traverten bu yolla oluşur ve çoğunlukla mağaralarda görülür. Bir başka inorganik kireçtaşı oolitik kireçtaşıdır. Bu, küçük küremsi, ooid denen karbonat tanelerinden oluşur.

### ***Çört***

Çört, mikrokristalin silikadan ( $\text{SiO}_2$ ) oluşmuş çeşitli türden sert kayalar için kullanılan bir tanımlamadır. İyi bilinen bir şekli çakmaktaşı (flint)'dir. Çört çökelleri çoğunlukla şu iki durumda bulunurlar.

1-Kireçtaşı içinde yumrular halinde,

2-Tabakalar halinde,

Çoğu çört nodülünü oluşturan silika doğrudan deniz suyundan itibaren çökler. Bunlar inorganik kökenlidir. Ancak tabakalı çörtlerin çoğu deniz suyunda bolca bulunan silis iskeleti, mikroskopik diyatome ve radyolaryalardan oluşurlar.

### ***Evaporitler***

Evaporasyon, çoğunlukla, kimyasal çökeliyi tetikleyen mekanizmadır. Bu yolla çökelen başka mineraller halit (sodyum klorür,  $\text{NaCl}$ ), jips (sulu kalsiyum sülfat,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )'tür. Haliti hepimiz yemeklerden biliriz. Bunun dışında buz eritmede ve hidroklorik asit imalinde de kullanılır. İnsanlık tarihi boyunca tuzun ticareti, aranması ve hatta tuz savaşları olmuştur. Jips ise alçının ana maddesidir. En çok sıva yapımında kullanılır.



**Figure 6.13** These salt flats in Utah are examples of evaporite deposits and are common in basins located in the arid West. (Photo by Scott T. Smith)

Jeolojik geçmişte, şimdi kara alanları olan pek çok yer okyanuslarla bağlantılı sığ bir denizin kapladığı havzalardan ibarettir. Bu koşullar altında, körfezde buharlaşan su deniz suyu ile takviye ediliyordu. Körfez alanlarında aşırı buharlaşma nedeniyle su bazı elementlerce çok doygun hale geliyor ve sonuçta tuz çökeliyi başlıyordu. Bu yollarla oluşan çökeltilere evaporitler denir.

Bir su kütlesi buharlaştığında, çökelen mineraller, çözünebilirliklerine bağlı olarak belirli bir düşey dizilim gösterirler. En önce en az çözünen mineraller çökeler, ardından buharlaşma yüzünden tuzluluk arttıkça daha çok çözünen mineraller çökeler. Buna göre çökelim sırası

kalsit→jips→K ve Mg tuzları→silvit'ir.

Jeolojik geçmişte Anadolu'da evaporitlerin yaygın olarak oluştuğu alanlar bulunur. Örneğin Geç Eosen zamanında (~ 40 Milyon yıl önce) Orta Anadolu'nun önemli bir kısmı giderek buharlaşan bir denizin çökerttiği jipslerle kaplanmıştı. Miyosen zamanında (~ 20 Milyon yıl önce) Kırşehir'den Sivas'a kadar olan geniş bir alan tamamen jips oluşumlarına sahne olmuştu. Geç Miyosen'de (Messiniyen'de)(~7 Milyon yıl önce) bütün Akdeniz kurumuş, sonuçta halit ve jips oluşumları gerçekleşmişti.

### ***Kömür***

Kömür, diğer kayaçlardan oldukça farklıdır. Kireçtaşı ve çörtten farklı olarak bu, organik maddeden oluşmuştur. Tam olgunlaşmamış kömürün bir büyütle incelenmesi onun içindeki yaprak, dal ve gövde parçalarını ortaya çıkarır. Bu, kömürün, çok miktardaki bitkisel materyalin milyonlarca yıl boyunca kayaçların altında gömülü kalmasıyla desteklemektedir.

Kömür oluşumunun ilk evresi çok miktardaki bitki kalıntısının birikmesidir. Ancak bu birikimin atmosferle karşılaşp da çürüyüp gitmemesi için çok özel, oksijensiz koşullar gerekir. Böyle bir ortam çoğunlukla bataklıktır. Bataklık, aynı zamanda bitkilerin gelişimi için uygun bir sucul ortamdır.

Bitkisel artıkların oksijence fakir bir ortamda kısmen bozunmasıyla oluşan tabakaya turba denir. Bu, yumuşak, kahverengi, bitki artıklarının hala seçilebildiği bir malzemedir. Turba, üzerine yeni sedimanların gelmesiyle birlikte yavaş yavaş dönüşüm geçirerek linyit olur. Gömülme sedimanların sıcaklığını ve basıncını artırır. Yüksek sıcaklık bitkisel malzeme içinde bazı kimyasal reaksiyonlara yol açar. Zamanla malzemenin sabit karbon içeriği artar ve sert, parlak görünümlü bitumlu kömür oluşur. Çok yüksek sıcaklıklarda kömürleşmenin son evresi olan antrasite geçilir. Artık bu sert, parlak bir metamorfik kayaçtır.

Kömür temel bir enerji kaynağıdır. Ülkemizde en yaygın kömür yatakları Zonguldak bölgesinde bulunur.

### ***Sedimanların Sedimanter Kayaca Dönüşümü***

Bu dönüşüm sürecine taşlaşma (lithification) denir. Bu sürecin ilk aşaması tızklaşma (compaction)'dır. Sedimanlar zaman içinde üst üste yığıldıkça, altlakiler, üstlekilerin ağırlığı ile birbirlerine daha çok yaklaşmaya başlarlar, böylece gözenekleri azalır. Örneğin killer üzerine birkaç bin metre sediman yığıldığında %40 oranında hacim kaybederler. Kum ve daha iri sedimanlar daha az sıkışabilir olduklarından bunlarda tızklaşma fazla gerçekleşmez.

Çimentolanma sedimanların sedimanter kayaca dönüşümünde en önemli süreçtir. Çimentolayıcı malzeme sedimanlar arası gözeneklerde dolaşan çökeltelerde bulunur. Uygun koşullarda bunlar kimyasal olarak



çökeliş gözenekleri doldurur.

Kalsit, silis, demir oksit en yaygın çimentolardır.

Çoğu sedimanter kayaç tıkkızlaşma ve çimentolanma süreçleriyle taşlaşır. Ancak bazı kimyasal sedimanter kayaçlar daha başta iç içe büyüyen, sert, tıkkız kristaller olarak büyürler.

### ***Sedimanter Ortamlar***

Bu bölümün başında vurgulandığı gibi sedimanter kayaçlar dünya tarihinin yorumlanmasında önemlidir. Sedimanter kayaçların oluştuğu koşulları anlayarak jeologlar bu kayaçların tarihçesini (bileşenlerin kökenini, taşınma mesafesini ve şeklini, vb.

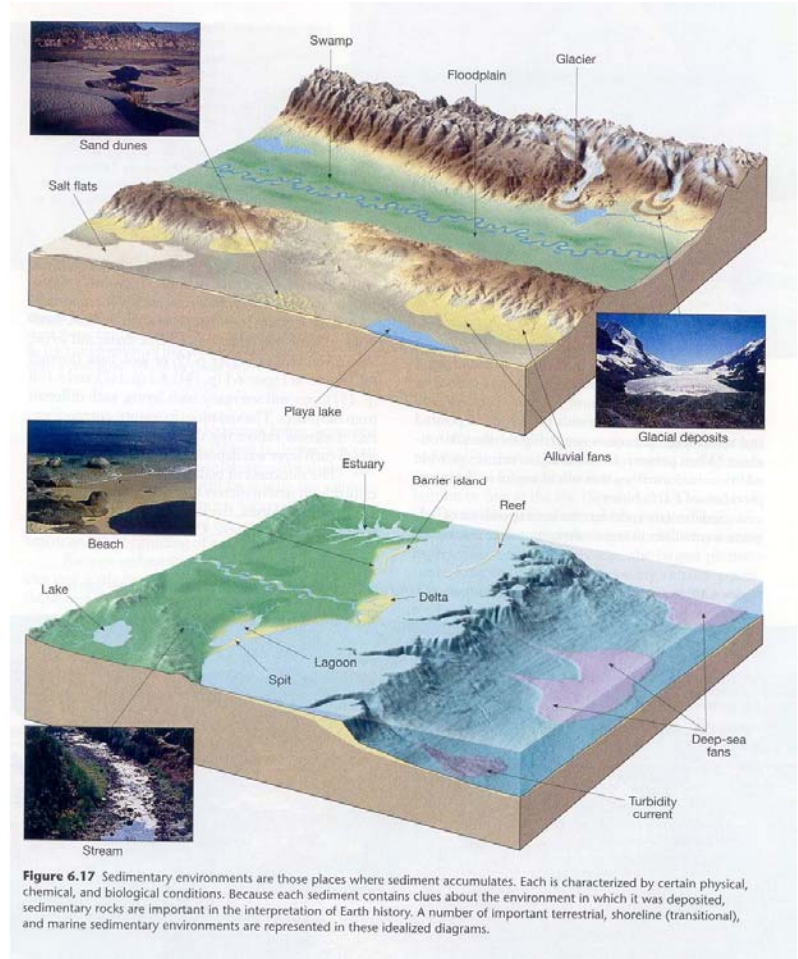
) yani kısaca çökeliş ortamını tahmin edebilirler.

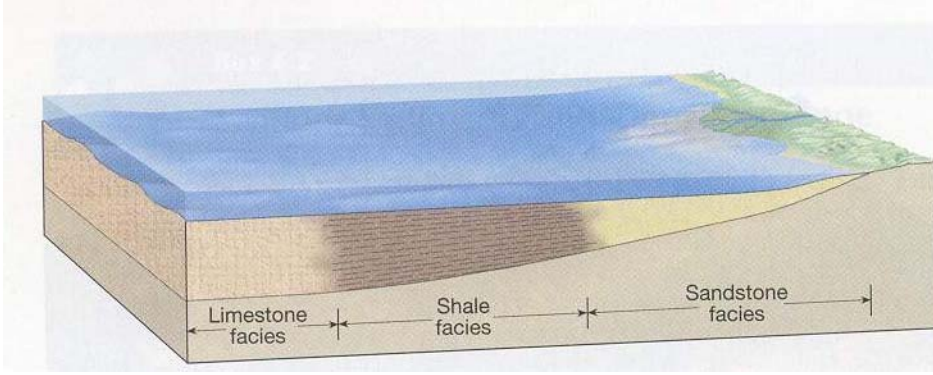
Sedimanlar yeryüzünde çökelişir. Öyleyse, çökeldikleri alanlardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik koşullar hakkında pek çok ipucu taşırlar. Bugünkü koşullar hakkında tam bir bilgiye sahip olan jeologlar, belli bir sedimanter tabaka çökelişirken eski ortamları ve bir alandaki coğrafi ilişkileri yeniden kurgulayabilirler. Bu tür analizler çoğunlukla, kara, deniz, dağ, ova, vb. dağılımını gösteren bazı haritaların hazırlanmasını sağlar.

Sedimanter ortamlar çoğunlukla karasal ve denizel olmak üzere iki geniş gruba ayrılır. Sahil zonu

her iki grubun özelliklerini de taşıdığından kara ile deniz arasında bir geçiş zonu olarak düşünülebilir. Yandaki şekilde bu iki ana grubun bazı ana alt grupları gösteriliyor. Bunlardan herbiri sedimanların biriktiği ve üzerinde bazı organizmaların yaşayıp öldüğü alanlardır. Her bir alan, egemen koşulları yansıtan karakteristik sedimanter kayaçları oluşturur.

Bir sedimanter tabaka istifi incelendiğinde, belli bir yerde zamanla gelişen ardıl ortam değişikliklerini gözleyebiliriz. Geçmiş zamanda bir ortamda (yanal yönde) gelişen değişiklikler bir sedimanter kayaç biriminin yanal yönde izlenmesiyle anlaşılabilir. Bu doğrudur, çünkü herhangi bir anda geniş bir alanda





**Figure 6.18** When a single sedimentary layer is traced laterally, we may find that it is made up of several different rock types. This can occur because many sedimentary environments can exist at the same time over a broad area. The term *facies* is used to describe such sets of sedimentary rocks. Each facies grades laterally into another that formed at the same time but in a different environment.

farklı çökelme ortamları birbirine komşu olarak bulunabilir. Örneğin, sahilde kum çökelirken daha küçük tane boylu çamurlar açık denize doğru taşınıp biriktirilmektedir. Çok daha açıklarda, karadan taşınan malzemenin çok az olduğu kesimlerde, belki de biyolojik aktivite gözlenecektir. Bu örnekte farklı sedimanlar, aynı zamanda, birbirine komşu alanlara çökelmektedir. Her bir birim farklı koşulları yansıtan farklı özelliklere sahip olacaktır. Bu sediman gruplarını tanımlamak üzere fasiyes terimi kullanılır.

# BÖLÜM 5

## METAMORFİK KAYAÇLAR





Bölüm başlangıç sayfasında gösterilen kayaçları kıvrırmak ve şekil değiştirmek için gerekli koşulları hayal ediniz. Çok muazzam miktarda yönlü basınca ve yüzlerce derecelik sıcaklıkların belki de binlerce ve milyonlarca yıl uygulanmasına ihtiyaç vardır. Bu oldukça uç koşullar altındaki kayaçlar kıvrılarak ve akarak bu duruma yanıt vereceklerdir. Bu bölüm metamorfik kayaçları ‘kaynaklaştıran’ tektonik kuvvetleri ele almakta ve bu kayaçların görünüş ve mineral bileşimini nasıl değiştirdiklerini işlemektedir.

### **Metamorfik Ortamlar**

İlk bölümde değindiğimiz kaya çevrimiyle ilgili kısımdan metamorfizmanın bir kaya türünün bir başkasına dönüşmesi olduğunu anımsayınız. Metamorfik kayaçlar magmatik, sedimanter ve hatta başka metamorfik kayaçlardan dönüşebilirler. Metamorfizma terimi bu süreç için çok uygundur, çünkü bu sözcük kelime anlamıyla “*şekil değiştirmek*” demektir. Metamorfizmanın amilleri (etkenleri) ise, basınç (gerilme) ve kimyasal açıdan aktif akışkanlardır. Sonuçta oluşan değişiklikler hem dokusal hem de mineralojiktir.

Metamorfizma küçük değişimlerden (düşük dereceli) çok köklü değişimlere (yüksek dereceli) kadar giderek artarak gerçekleşir. Örneğin, düşük dereceli metamorfizmada yaygın bir sedimanter kayaç olan şeyl, ‘sleyt’ adı verilen oldukça tıknaz bir metamorfik kayaç haline dönüşür. Bu iki kayacı el örneğinde ayırmak bazen güçtür.

Yüksek dereceli Metamorfizma ise öylesine köklü dönüşümlere yol açar ki, artık ilksel (yani metamorfizma öncesindeki) kayacın belirlenmesi mümkün olmaz. Yüksek dereceli metamorfizmada tabakalaşma düzlemleri, fosiller, gaz boşlukları ilksel kayaçta bulunabilecek özellikler tamamen ortadan kalkar. Dahası, derinlerdeki kayaç eşitsiz basınçlara (gerilimlere) maruz kalırsa yavaş yavaş kıvrımlanarak karmaşık kıvrımlar kazanabilirler (Şekil 7.2). Çok uç metamorfik ortamlarda sıcaklık kayaçları eritecek seviyeye ulaşır. Ancak metamorfizma sırasında bir miktar katı malzeme kalmalıdır; kayacın tamamen eridiği koşullarda magmatik etkinliğin alanına girmiş oluruz.

Metamorfizma, kayacın oluştuğundan farklı koşullara maruz kaldığı yerlerde gerçekleşir. Bu yeni koşullara bir yanıt olarak, yeni ortamla denge durumuna gelene kadar derece derece değişir. Çoğu metamorfik değişimler yerin birkaç kilometre derininden kabuk-manto sınırına kadarki zonda yüksek sıcaklık ve basınçlarda oluşur.

Metamorfizma çoğunlukla şu üç yerleşimden birinde gerçekleşir:

1. Bir kayaç, bir magma kütesinin yakınıdaysa, ya da onunla temas halindeyse kontak metamorfizma oluşur. Burada değişimler başlıca eriyik malzemenin yüksek sıcaklığından kaynaklanır. Aslında bu yan kayaçların bir tür ‘pişirilmesi’dir’.
2. En az yaygın metamorfizma türü fay zonları boyunca oluşandır ve kataklastik metamorfizma olarak bilinir. Burada fayın iki yanındaki bloklar birbirlerine göre hareket ederken kayaçlar kırılıp ufalanır.
3. Dağ oluşumu sırasında, büyük miktardaki kayaç kütleleri sıcaklığa ve yönlü basınçlara maruz kalırlar.

Büyük ölçekli deformasyonla ilgili bu süreçle ilgili olarak bölgesel metamorfizma gelişir. Bu sürecin nihai ürünü çok geniş yayılıma sahip metamorfik kayalardır.

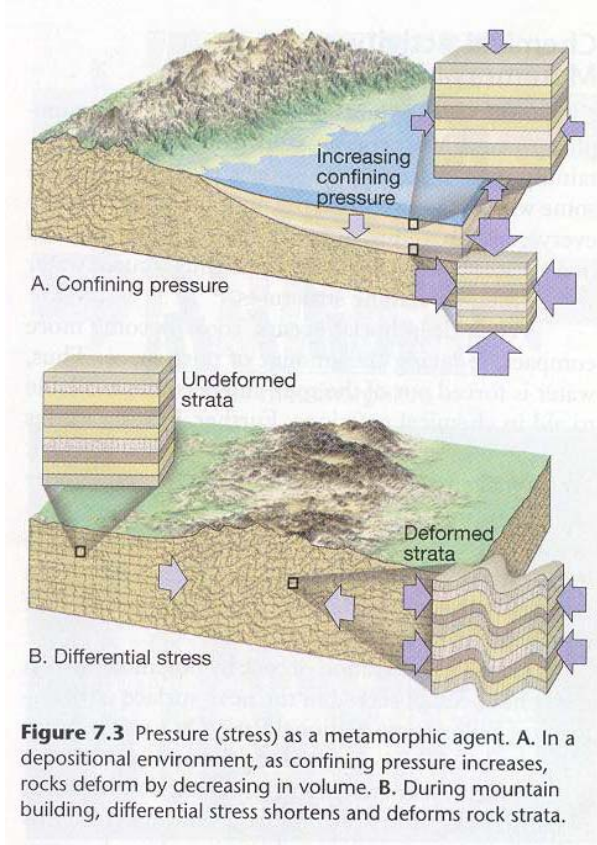
### Metamorfizmanın Nedenleri

Daha önce belirtildiği gibi metamorfizma zonları içinde ısı, basınç (gerilim) ve kimyasal açıdan aktif akışkanlar sayılabilir. Metamorfizma sırasında çoğunlukla bu üç metamorfik ajan da eş zamanlı olarak kayaca etki eder. Ancak metamorfizmanın derecesi ve her bir ajanın katkısı ortamdan ortama büyük ölçüde değişir. Düşük dereceli metamorfizmada kayalar, sedimanların taşlaşması sırasında karşılaştıklarından biraz daha büyük sıcaklık ve basınç koşullarına maruz kalırlar. Yüksek dereceli metamorfizma ise kayacı neredeyse eritecek yükseklikte tektonik kuvvetlerle

ve sıcaklıklarla ilgilidir. Ek olarak, ana kayacın mineralojik bileşimi de, her metamorfik ajanın yaratacağı değişikliğin derecesini büyük oranda belirler. Örneğin, magma varolan kayaca sokulursa, iyonlarca zengin, sıcak akışkanlar ana kayaç içinde çevrilmenebilir. Eğer ana kayaç kuvars kumtaşı ise çok az alterasyon meydana gelecektir. Ancak ana kayaç kireçtaşı ise bu akışkanların etkisi çok köklü olabilir ve metamorfizmanın etkisi magma kütesinden kilometrelerce uzağa kadar yayılabilir.

### Metamorfik ajan olarak ısı

Metamorfik ajanlardan belki de en önemlisi ısıdır; çünkü ısı, minerallerin yeniden kristallenmesi ile sonuçlanan kimyasal değişimleri yönlendiren enerjiyi sağlar. Yeryüzüne yakın oluşan kayalar, aşağılardan yükselen eriyik kızgın malzemenin içlerine sokulmasıyla yoğun bir ısıya maruz kalabilir. Bu kontak metamorfizmanın etkisi ana kayaç ile magma arasındaki sıcaklık farkının çok belirgin olduğu yeryüzünde ya da sığ derinliklerde en belirgindir. Burada ana yan kayalar yerleşen magma tarafından 'pişirilir'. Bu yüksek sıcaklık-düşük basınç ortamında sokulan magma ile altere kayalar arasındaki sınır çoğunlukla oldukça belirgindir. Yükselen ve yüzeye yakın kayaları başkalaşıma uğratan magmaya ek olarak, yüzeye yakın kayalar yavaşça aşağı doğru çökebilirler ve derinlerde başkalaşabilirler. Bilindiği gibi yakınlaşan levha sınırlarında kayalar derinlere doğru çekilirler. Sıcaklığın da derinlere doğru, *jeotermal gradyan* adı verilen bir oran kadar arttığını anımsayınız. Üst kabukta bu artış kilometre başına 20-30° C ' dir. Yalnızca birkaç kilometre derinliğe gömüldüklerinde bile bu mineraller (örneğin muskovit gibi kil mineralleri) duraysız hale gelir ve bu ortamda yeniden kristalleşirler. Özellikle kristalin magmatik kayalardaki mineraller yüksek basınç ve sıcaklıkta bile kısmen duraylıdır. Bunlarda metamorfizmanın gerçekleşmesi için 20 km.



derinliklere kadar gömülme gerekir.

### **Metamorfik ajan olarak basınç ve gerilim**

Basınç da, tıpkı sıcaklık gibi, derinlikle artar. Gömülmüş kayaçlar üstlerindeki yükün uyguladığı bir kuvvet veya gerilime maruz kalırlar. Bu hapsolmuş basınç (ing. Confining pressure) kuvvetin her yönde uygulandığı su basıncına benzer. Okyanusta ne kadar derine giderseniz her yöndeki basınç o ölçüde artar. Aynı şey derinlerdeki kayaçlar için de geçerlidir. Üstteki malzemenin ağırlığının uyguladığı hapsolmuş basınca ek olarak, dağ oluşumu sırasında kayaçlar yönlü tektonik kuvvetlere de maruz kalırlar. Farklı yönlerde eşitsiz olan bu kuvvetler ‘diferansiyel gerilim’ olarak adlandırılır. Bu diferansiyel kuvvetler çoğunlukla sıkışmalıdır (compressional) ve kaya kütlelerini kısaltmaya çalışır. Bazı ortamlarda gerilimler tansiyoneldir (çekme türündedir) ve kaya kütlelerinin boyunu uzatmaya çalışırlar. Diferansiyel gerilimler bir kayacın makaslanmasına da yol açabilirler. Makaslama, bir deste oyun kartını parmaklarınızın arasında sıkıp elinizi zıt yönde hareket ettirdiğinizde kartların birbiri üstünden kayarak uzaklaşmasına benzer bir etki yaratır. Yüzeğe yakın ortamlarda makaslama, kuvvet karşısında bir kayacın dilimlere ayrılarak dilimlerin birbirinin yanı boyunca kaymasından oluşur. Bu deformasyon orijinal mineral tanelerini öğütüp ufalayarak daha küçük taneler haline dönüştürür. Tersine, derinlerde bulunan kayaçlar daha sıcaktır ve büyük hapsolmuş basınç altındadır; bu yüzden deformasyon sırasında plastik olarak davranırlar. Bu durum makaslamaya maruz kaldıklarında onların neden aktığını ya da karmaşık kıvrımlar şeklinde büküldüğünü açıklar.

### **Bir metamorfik ajan olarak kimyasal aktivite**

Kimyasal açıdan aktif akışkanlar metamorfik süreçleri hızlandırır. En yaygın akışkan çözültide iyonları içeren sudur. Neredeyse her kayacın gözenek boşlukları su içerdiğinden su boldur. Ayrıca bazı mineraller hidrattır; (yani kimyasal olarak bağlanmış su içerirler); böylece kristal yapılarında su bulundururlar.

Derin gömülme gerçekleştiğinde, gözenek miktarı azalan kayaçlar daha tıkmaz hale gelirler. Bu yüzden su kayaçtan dışarı atılır ve kimyasal reaksiyonlara yardımcı olmaya hazır hale gelir. Dahası, ısınma minerallerin dehidratasyonuna yol açarak sularını koyvermelerini sağlar. Mineralleri çevreleyen su iyon göçüne yardımcı olan bir katalizör görevi üstlenir. Bazı durumlarda su minerallerin yeniden kristalleşmesini kolaylaştırırken, başka durumlarda iyon alış-verişi tamamen yeni minerallerin oluşmasına yol açar. Yüzeğe yakın ortamlarda kayaçların sıcak, minerallerce zengin akışkanlarla tamamen alterasyonu Yellowstone Ulusal Parkı’nda (ABD) gözlenmiştir. Çok daha büyük ölçekte benzer bir etkinlik okyanus ortası sırt sistemlerinde gerçekleşir. Burada deniz suyu hala sıcak olan bazaltik kayaçlar içine süzülür; Fe ve Mg’ca zengin mineralleri serpantin ve talk gibi metamorfik minerallere dönüştürür.

### **Metamorfizma Kayaçları Nasıl Bozunmaya Uğrattır?**

Metamorfik süreçler kayaçlarda yoğunluk artışı, daha büyük kristal büyümeleri, mineral tanelerinin tabakalı ve bantlı doku şeklinde yeniden yönlennmeleri, düşük sıcaklık minerallerinin yüksek sıcaklık minerallerine dönüşmesi gibi pek çok değişime yol açarlar. Ek olarak iyonların kayaca katılımı bazıları ekonomik açıdan



da önemli olan yeni mineraller oluşturur. Şu halde, metamorfizma derecesinin, metamorfik kayaların dokusu (texture) ve mineralojisi (mineral bileşimi) ile kendini açığa vurduğunu söyleyebiliriz.

### Dokusal Değişimler

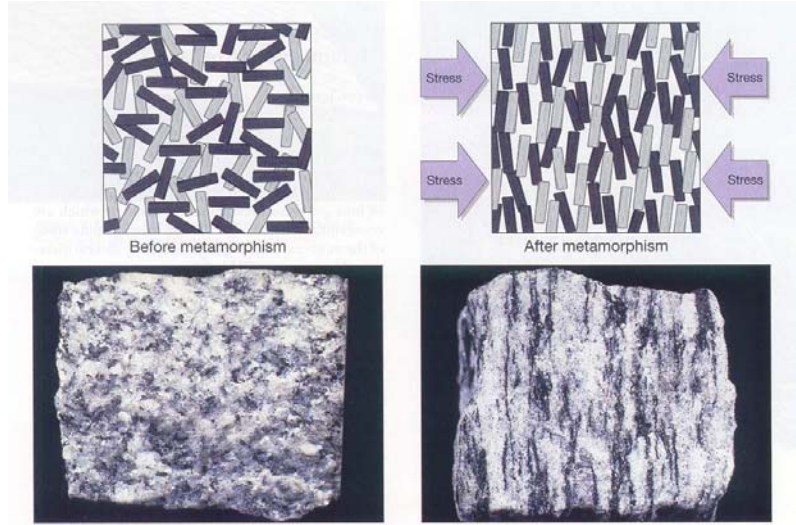
Kayaçlar düşük dereceli metamorfizmaya maruz kaldıklarında, daha fazla tıkHz, dolayısıyla daha yoğun hale

gelirler. Bunun yaygın bir örneği bir sedimanter kayaç olan şeylin metamorfik kayaç arduvaz'a (bazen sleyt de denir) dönüşmesidir. Şeyl, kendisini oluşturan sedimanter gömülme süreçlerindeki biraz fazla sıcaklık ve basınca maruz kaldığında sleyt oluşur. Bu durumda yönlenmiş basınç, şeyldeki mikroskobik kil minerallerini daha tıkHz bir düzenleme oluşacak şekilde yönlendirir. Partiküllerin bu yeniden düzenlenmesi sleyte apayrı bir doku kazandırır.

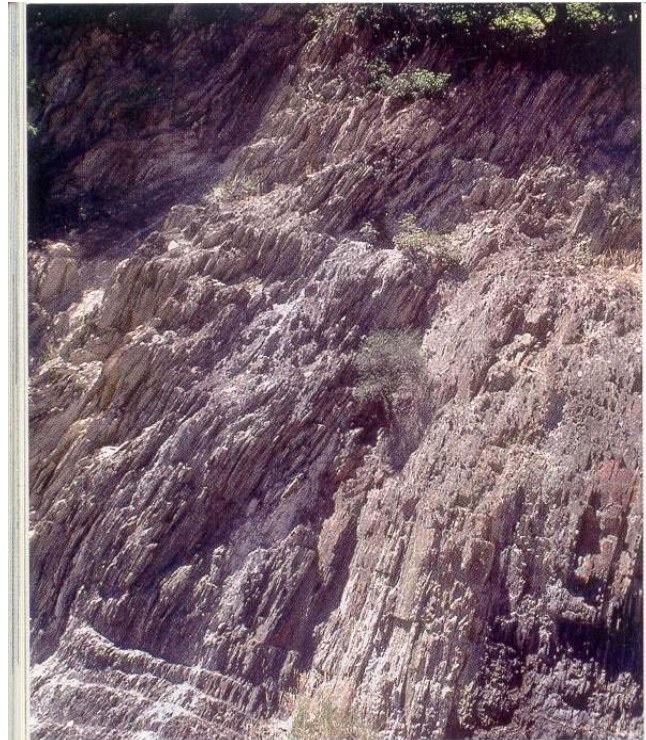
### Yapraklanma Dokuları (Foliated texture)

Çok daha uç koşullarda, basınç, bir kayaçtaki mineral tanelerini yönlendirmenin de ötesinde işlevlere sahiptir. Basınç bazı minerallerin yeniden kristalleşmesine (rekristalizasyonuna) yol açar. Sonuçta, çoğu metamorfik kayaç mikroskobik minerallerden değil, daha çok iri taneli magmatik kayaçlardakine benzeyen gözle görülebilir kristallerden oluşur.

Bazı minerallerin kristalleri, örneğin mikaların (bunlar levhamsıdır) ve hornblend'in (bunlarsa iğne şekillidir), tercihli bir yönlenme göstererek yeniden kristalleşirler. Yeni yönlenmeler, esas olarak, sıkışma kuvvetlerinin yönüne dik olacaktır. Sonuçta oluşan mineral yönlenmesi kayaca tabakalı veya bantlı bir doku kazandırır ki buna



**Figure 7.5** Under directed pressure, flat or needle-shaped minerals (top left) become reoriented or recrystallized so that they are aligned at right angles to the stress (top right). The resulting parallel orientation of mineral grains gives the rock a foliated texture. If the coarse-grained igneous rock (granite, bottom left) underwent intense metamorphism, it could end up closely resembling the metamorphic rock on the bottom right (gneiss). (Photos by E. J. Tarbuck)



**Figure 7.6** Slaty cleavage is the type of rock cleavage exhibited by this metamorphic rock, California. The parallel mineral alignment in this rock allows it to split easily in the flat plates visible in the photo. (Photo by E. J. Tarbuck)

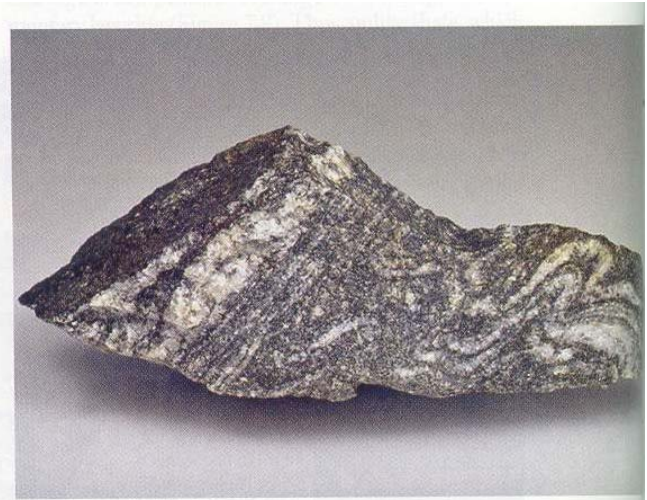
**foliasyon (yapraklanma)** denir. Basitçe söylenirse yapraklanma dokusu, bir metamorfik kayacın mineralleri ve yapısal özellikleri, paralel bir düzenlenmeye zorlanırsa ortaya çıkar.

Foliasyonun, metamorfizma derecesine ve ana kaya türüne bağlı olarak değişik türleri vardır. Burada üçünü kısaca inceleyeceğiz. Kaya veya sleyt klivajı, şistozite ve gnays dokusu.

**Kaya (veya sleyt) klivajı:** Şeylin sleyte dönüşmesi sırasında kil mineralleri küçük mika pulcuklarına dönüşür. Üstelik, bu levhamsı mika kristalleri yassı yüzeyleri az çok paralel olacak şekilde dizilirler. Sonuçta, sleyt mika tanelerinden oluşan bu tabakalar boyunca levha levha ayrılır. Bu özellik, onu minerallerle kendini gösteren diğer klivajlardan ayırt etmek için, *kaya klivajı veya sleyt klivajı* olarak bilinir. Sleyti oluşturan mika pulları çok küçük olduğundan, sleyt gözle görülür bir foliasyona sahip değildir. Fakat kolayca levhalara bölündüğünden sleytin foliasyon gösterdiği düşünülebilir.

**Şistozite:** Çok daha aşırı sıcaklık-basınç rejiminde çok ince mika taneleri pek çok kat büyüyecektir. Çapı 1 cm' ye ulaşan bu mika kristalleri kayaca pulsu bir görünüm verir. Bu tür foliasyon *şistozite* olarak bilinir ve bu özelliğe sahip kayalar 'şist' olarak adlandırılır. İlksel ana kayaca bağlı olarak çeşitli şist türleri vardır ve bunlar mineral bileşenlerine göre isimlendirilirler (*mika şist, talk şist* gibi). Bunlardan en yaygın olanı mika şistlerdir.

**Gnays Dokusu:** Yüksek dereceli metamorfizma sırasında iyon göçü minerallerin ayrılmasına (segregasyon) yol açacak kadar aşırı ölçüde gerçekleşebilir. Şekil 7.5' te alttaki resim bunun bir örneğini gösteriyor. Siyah ve beyaz renkli silikat minerallerinin, kayaca, gnays dokusu adı verilen bantlı bir görünüm kazandıracak şekilde ayrıldığına dikkat ediniz. Bu tür dokuya sahip metamorfik kayalara *gnays* adı verilir. Gnays çoğunlukla granit ve diyoritin metamorfizmasıyla oluşur; fakat gabronun, hatta şeylin yüksek dereceli metamorfizmasıyla da oluşabilir.



**Figure 7.11** Deformed and folded gneiss. (Photo by E. J. Tarbuck)

**Foliasyonsuz Doku:** Bütün metamorfik kayalar foliasyon dokusu göstermez. Tek tür ve eş boyutlu kristallerden oluşan metamorfik kayalarda gözle görülür foliasyon bulunmaz. Örneğin ince taneli bir kireçtaşı (ki bu baskın olarak bir tek mineralden, yani kalsitten oluşur) metamorfizmaya uğradığında küçük kalsit kristalleri, daha büyük birbirine kenetlenmiş kristaller şeklinde büyürler. Sonuçta oluşan kayaç olan mermer iri taneli magmatik kayacinkine benzer bir dokuya sahiptir. Her ne kadar çoğu mermer foliasyon göstermezse de, mermerin mikroskobik incelemesi tanelerin yassılaştığını ve paralelliklerini gözler önüne serer.



Dahası, bazı kireçtaşları ince kil minerali tabakaları içerebilir, ki bunlar metamorfizma sırasında kıvrımlı bir hal alırlar. Bu impüriteler çoğunlukla mermer boyunca akan kıvrımlı koyu malzeme bantları şeklinde gözlenir.

### **Mineralojik Değişimler**

Şeylin sleyte dönüşümüne neden olan metamorfizma sırasında kil minerallerinin mika kristalleri oluşturacak şekilde yeniden kristallendiğini gördük. Çoğu yeniden kristallenmelerde kayacın kimyasal bileşimi değişmez (tabii, su ve karbondioksit kaybını hesaba katmazsak). Daha çok, sudaki iyonlarla ana kayada varolan minerallerin yeni ortamsal koşullarda yeni mineral oluşturmak üzere birleşmeleri söz konusudur. Bunun yaygın bir örneği bolca kuvars içeren kireçtaşının kontak metamorfizma sırasında ısınmasıyla gerçekleşir. Kalsit ve kuvars kristalleri kimyasal olarak reaksiyona girerler. Sonuçta Wollastonit ( $\text{CaSiO}_3$ ) oluşurken karbondioksit serbest kalır.

Bazı ortamlarda ise, metamorfizma sırasında yapıya yeni malzeme katılması söz konusudur. Örneğin büyük bir magma kütesine komşu kayaç hidrotermal çözeltilerden yeni elementler kazanacaktır. Çoğu metalik cevher yatağı hidrotermal çözeltilerden itibaren çökelmiştir.

### **Yaygın Metamorfik Kayaçlar**

Öğrendiğimiz gibi metamorfizma, kayaçlarda yoğunluk artışı, kristal büyümeleri, mineral tanelerinin yeniden yönelmesi ve düşük sıcaklık minerallerinin yüksek sıcaklık minerallerine dönüşmesi gibi pek çok değişikliğe neden olur. Dahası, yeni iyonların yapıya katılması yeni mineralleri oluşturur. Aşağıda, değişik metamorfik süreçlerle oluşan bazı yaygın metamorfik kayaçlar ele alınmıştır.

### **Folyasyonlu Kayaçlar :**

*Sleyt* : Çok ince taneli mika pulcuklarından ibaret, folyasyon gösteren bir kayaçtır. Sleytin en dikkat çekici özelliği mükemmel kayaç klivajı göstermesi, yani yassı levhalar halinde ayrılabilme kabiliyetidir. Sleytin bu özelliği, onun çatılarda, zeminde, kara tahta ve bardo masası olarak kullanılmasına olanak sağlar.

Sleyt, en çok şeylin düşük dereceli metamorfizmasıyla oluşur. Daha ender olarak, volkanik külün metamorfizmasıyla da



**Figure 7.7** Slate used for roofing material on a house in



oluşabilir. Sleytin rengi mineral bileşenlerine bağlıdır. Siyah (karbonlu) sleyt, organik malzeme içerir. Kırmızı sleyt, rengini demir oksite borçludur. Yeşil sleyt çoğunlukla klorit (mika benzeri bir mineral) içerir.

Sleyt, düşük dereceli metamorfizma koşullarında oluştuğundan şeylin orijinal tabakalaşma yüzeyleri çoğunlukla korunmuştur. Ancak sleytteki kaya klivajının yönlenmesi ilksel sedimanter tabakalanmayla belirgin bir açı yapar. Şeyl tabakalaşma düzlemleri boyunca ayrılırken sleyt klivaj yüzeyleri boyunca ayrılır.

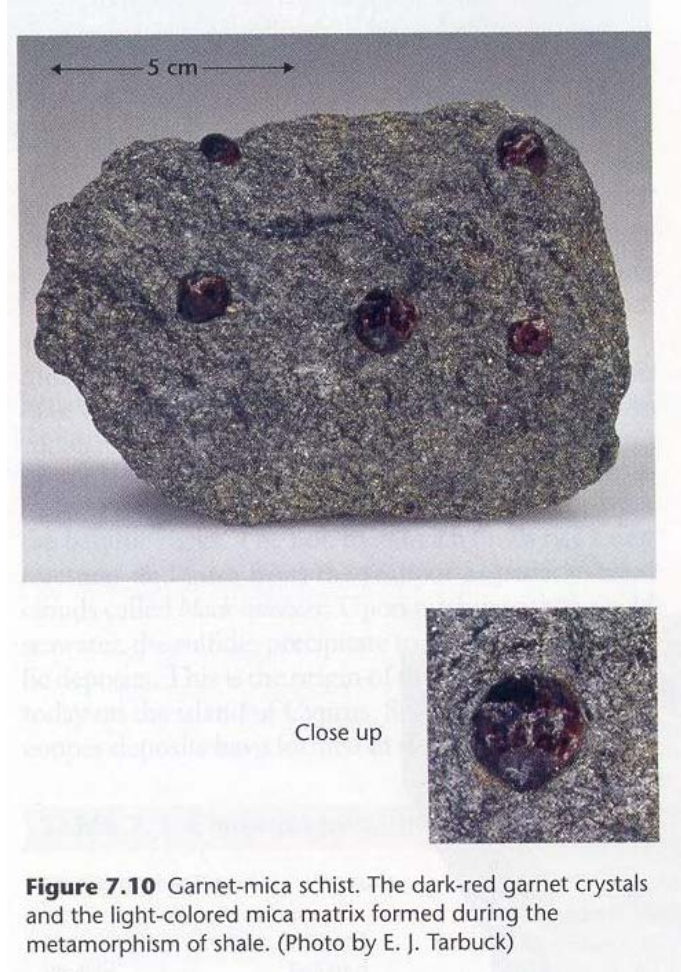
**Fillit** : Bu, sleytle şist arasında bir geçişi temsil eder. Bunu oluşturan levhamsı mineraller sleyttekinden daha iridir ; ancak hala açıklıkla tanımlanabilir kadar büyük değildirler. Fillit sleyte benzerse de, ondan yağsı parlaklığı ile ayrılır. Fillit kayaç klivajı gösterir ve büyük ölçüde, ince taneli muskovit ve klorit kristallerinden oluşur.

**Şist** : Çok belirgin folyasyon gösteren, kolayca ince dilim veya levhalar şeklinde ayrılabilen kayaçlardır. Tanım olarak şistler % 50 'den fazla levhamsı ve çubuksu ( muskovit, biyotit ve amfibol ) mineral içerirler. Sleyt gibi bunun da ana kayacı çoğunlukla şeyldir. Ancak şistin oluşumu için daha şiddetli bir metamorfizmaya ihtiyaç vardır. Çoğu şist büyük dağ oluşum ( orojenez ) dönemleri sırasında oluşur.

Şist terimi bir kayacın dokusunu tanımlar. Bileşimi göstermek için mineral isimleri de kullanılır. Örneğin, başlıca muskovit ve biyotit mikalarından oluşan şiste *mika şist* denir. Metamorfizma derecesine ve ana kayacın bileşimine bağlı olarak aksesuarik mineraller içerebilirler. Bu minerallerin en yaygını granat, stavrolit ve sillimanittir. Şu halde granat ve mika içeren bir şist *granat- mika şist* olarak isimlendirilir.

**Gnays** : Gnays, çoğunlukla çubuksu veya küremsi minerallerden oluşan bantlı metamorfik kayaçlara verilen isimdir. Gnaystaki en yaygın mineraller kuvars, potasyum feldispat ve sodyum feldispattır. Daha az miktarda muskovit, biyotit ve hornblend te bulunur. Koyu ve açık renkli minerallerin ayrılması iyi gelişmiştir; bu, kayaca bantlı bir görünüm kazandırır.

Bu yüzden çoğu gnays beyaz – kırmızı feldispatca zengin zonlarla koyu ferromagnezyum tabakaların



ardalanmasından oluşur. Bu bantlı gnayslar plastik bir haldeyken akma ve kıvrımlanma ile deforme olmuşlardır. Bazı gnayslar levhamsı mineral tabakaları boyunca ayrılabilirse de çoğu düzensiz kırılma gösterirler.

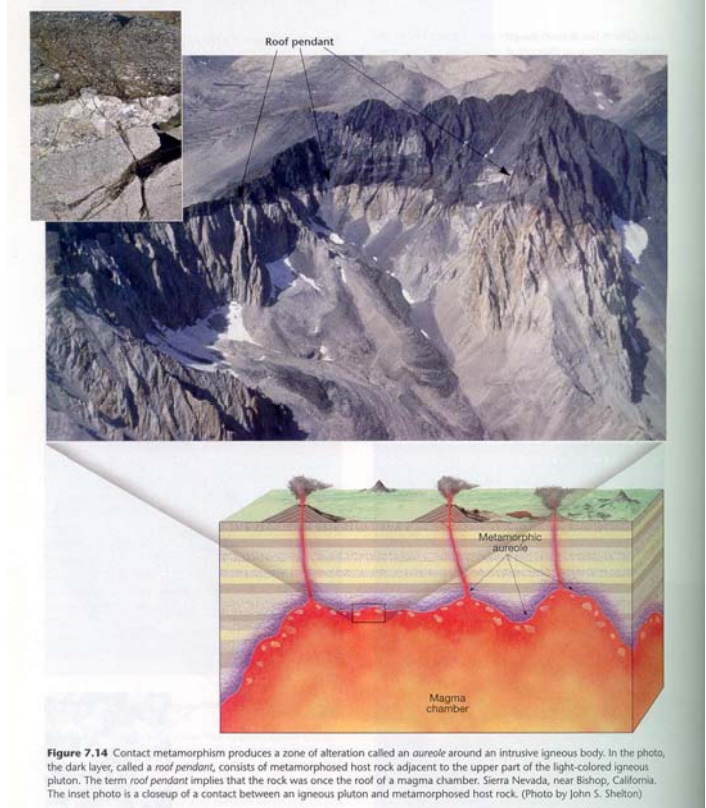
**Mermer** : Ana kayacı kireçtaşı ya da dolomit olan iri kristalli bir kayadır. Saf mermer beyazdır ve esas olarak kalsit mineralinden oluşur. Çekici rengi ve yumuşaklığı nedeniyle (ki sertliği 3 ‘tür) mermer, banka ve hükümet binalarında yapı taşı olarak kullanılır. Beyaz mermer heykel ve anıtların yapımında özellikle tercih edilir. Ancak mermer temel olarak  $\text{CaCO}_3$  ‘tan oluştuğundan asit yağmuru tarafından kolayca etkilenir. Bu yüzden bazı tarihi anıtlar ve mezar taşları kimyasal bozunmadan çok zarar görmüştür.

**Kuarsit** : Çok sert bir metamorfik kayadır. Çoğunlukla kuvars kumtaşının metamorfizması ile oluşur. Orta – yüksek dereceli metamorfizma sırasında kumtaşındaki kuvars taneleri birbirine kaynaşır. Yeniden kristallenme öylesine tamdır ki, kuvarsit ilksel kuvars tanelerinin sınırı boyunca kırılmaz, kristalleri katederek kırılır. Bazı durumlarda çapraz tabakalanma gibi bazı ilksel sedimanter özellikler korunabilir ve kayaca bantlı bir görünüm verebilir. Kuvarsit tipik olarak beyazdır; ancak demir oksit içeriği kırmızı veya pembe lekeler oluşturabilir. Koyu mineral taneleri kayaca gri renk verebilir.

### **Kontak Metamorfizma :**

Kontak Metamorfizma, magmanın daha soğuk kayalar içine sokulması sırasında oluşur. Burada yerleşen magma çevresinde *hale* denen bir bozunma zonu oluşur. Dayk ve silleri oluşturan küçük magma sokulum kütleleri yalnızca birkaç cm kalınlıkta haleleri içerirler. Batolitleri oluşturmak üzere kristalleşen büyük magma kütleleri ise birkaç km kalınlıkta metamorfik kayalar zonları oluşturabilirler. Bu büyük haleler çoğunlukla farklı metamorfik zonalardan ibarettirler. Magma kütlesi civarında granat gibi yüksek basınç mineralleri oluşurken yan kayalar içinde kontakta daha uzaklarda klorit gibi düşük dereceli mineraller üretilir.

Sokulan magma kütlesinin büyüklüğünün yanı sıra yan kayaların mineral bileşimi ve suyun bulunabilirliği de sonuçta oluşacak halenin boyutunu etkiler. Kireçtaşı gibi kimyasal açıdan aktif kayalarda, alterasyon zonu, magma kütlesinden 10 km uzaklara kadar ulaşabilir. Burada



**Figure 7.14** Contact metamorphism produces a zone of alteration called an aureole around an intrusive igneous body. In the photo, the dark layer, called a roof pendant, consists of metamorphosed host rock adjacent to the upper part of the light-colored igneous pluton. The term roof pendant implies that the rock was once the roof of a magma chamber. Sierra Nevada, near Bishop, California. The inset photo is a closeup of a contact between an igneous pluton and metamorphosed host rock. (Photo by John S. Shelton)

granat ve wollastonit gibi mineral oluşumları metamorfik alanları belirler.

Çoğu kontak metamorfik kayaç ince taneli, yoğun, sert ve çeşitli kimyasal bileşime sahiptir. Örneğin şeyl kontak metamorfizma sırasında bir fırındaymışçasına pişer ve porselene benzeyen çok sert, ince taneli bir kayaca dönüşür. Bu kayaçların oluşumunda yönlü basınç asıl etmen olmadığından yapraklanma göstermezler. *Hornfels*, kontak metamorfizma sırasında oluşan, folyasyon göstermeyen sertçe kayaçların tamamı için kullanılan bir isimdir.

Büyük magmatik plütonlar soğurken, kristallenmeyen sıcak, iyonlarca zengin akışkanlar (hidrotermal çözeltiler) dışarıya atılır. Bu çözeltiler yan kayaç boyunca süzülerek onunla kimyasal olarak etkileşirler ve böylece metamorfik süreci hızlandırırlar. Dahası, hidrotermal çözeltiler çeşitli metalik cevher yataklarının kaynağıdır. Bu çökeller başlıca bakır, çinko, demir ve altın içerirler.

Kontak Metamorfizma, şayet metamorfizma, magma ile yan kayacın sıcaklıkları arasındaki farkın büyük olduğu yüzeyde veya sığ derinliklerde gerçekleşiyorsa kolayca tanınabilir. Kuşkusuz kontak metamorfizma derinlerde de çalışır. Ancak oralarda bölgesel metamorfizma yüzünden etki belirsiz kalır.

### Fay Zonları Boyunca Metamorfizma

Yüzeyin yakınında, kayaç gevrek bir katı gibi davranır. Sonuçta bir fay zonu boyunca hareket kayacı kırıp ufalar. Hatta bazı durumlarda kayaç çok ince toz halinde ufalanır. Sonuç fay breşi adı verilen az çok sert, kırılıp parçalanmış kayaç parçalarından ibaret bir kayaçtır. Kaliforniya'daki San Andreas fayı boyunca yer değiştirme 1000 km'lik fay uzunluğu boyunca 3 km genişlikte bir fay breşi zonu yaratmıştır. Bu tür sınırlı alanda gelişen ve tamamen mekanik kuvvetlerin mineralleri ufalamasıyla oluşan metamorfizmaya kataklastik Metamorfizma denir.



**Figure 7.15** Fault breccia consisting of large angular fragments. This outcrop, located in Titus Canyon, Death Valley, California, was produced along a fault zone. The largest dark fragments are about 2 to 3 meters across. (Photo by E. J. Tarbuck)

Fay zonları ile ilgili yoğun deformasyonun önemli kısmı derinlerde oluşur. Bu ortamda kayaç sünümlü akmayla deformasyona uğrar. Sonuçta uzamış taneler oluşur; bu ise kayaca lineasyon ve folyasyon görüntüsü verir. Bu şekilde oluşan kayaçlar *milonit* olarak isimlendirilir. Bütün dünyada yalnız faylanma sonucu oluşan metamorfik kayaçlar, diğer süreçlerle oluşanlara göre azdırlar. Yine de bunlar bazı alanlarda oldukça yaygındırlar.



## Bölgesel Metamorfizma

Daha önce de belirtildiği gibi, en büyük miktardaki metamorfik kayalar dağ oluşumu ile ilişkili bölgesel metamorfizma sırasında üretilirler. Bu dinamik olay sırasında büyük yerkağı parçaları yoğun bir şekilde sıkıştırılır ve aşırı ölçüde deforme hale gelir. Kağıun bu genel kalınlaşması arazinin yükselip deniz seviyesi üstüne çıkmasına sebep olur.

Dağ oluşumu sırasında malzeme (kayalar, topoğrafya) büyük yüksekliklere çıkarsa da, önemli bir kısım malzeme de aşağıya doğru gitmeye zorlanır ve burada yani dağ köklerinde, en yoğun metamorfik aktivite gerçekleşir. Burada deforme olan kayalar eriyecek kadar ısınır. Bir kez yeterince magma oluştuğunda batmazlığı nedeniyle yüzeye doğru yükselir. Yüzeye yakın bir ortamda yerleşen magma bölgesel metamorfizma zonu içinde kontak metamorfizmaya yol açacaktır. Öyleyse bölgesel metamorfizmadan etkilenen alanlar aynı zamanda kontak ve kataklastik metamorfizma da gösterebilirler.

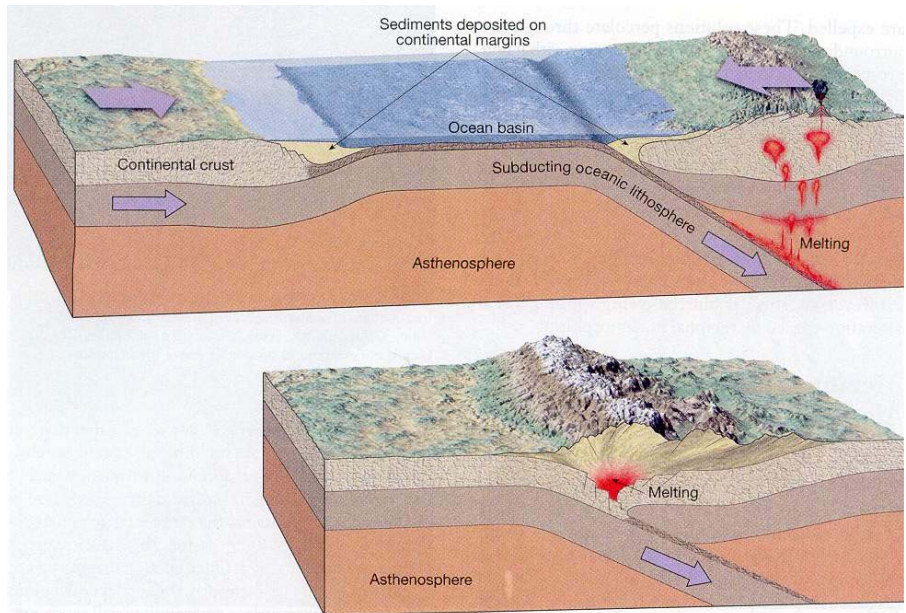
Sonuç olarak çoğu dağ zincirinin çekirdeği kıvrılmış, faylanmış ve çoğunlukla magmatik kayalarla karışmış metamorfik kayalardan oluşur. Bu deforme kaya kütleleri yükseldikçe yüzeysel aşındırma üstteki malzemeyi süpürecek ve böylece dağ zincirinin çekirdeğini oluşturan magmatik ve metamorfik kayalar yüzeylenecektir.

Anadolu'nun iki büyük metamorfik masifi, Menderes ve Kırşehir masifleri, bir bölgesel metamorfizma sürecinin ürünüdürler. Günümüzden yaklaşık 40-25 My önceki bir zaman aralığında ( Oligosen zamanında ) İzmir – Ankara okyanusu adı verilen, günümüzde tamamen ortadan kalkmış bir okyanusun kapanması sırasında oluşan bu kayalar çoğunlukla şist ve gneyslerden ibarettirler.

## Metamorfizma ve Levha Tektoniği

### Metamorfizma

bilgimizin çoğu levha tektoniği teorisi ile özetlenen dinamik dünya davranışı bilgilerimizi desteklemektedir. Bu modelde, çoğu deformasyon ve ilişkili metamorfizma, litosfer levhalarının birbirine yaklaştıkları *yakınlaşan levha sınırları* civarında oluşur. Bazı yakınsak zonlar boyunca kıtasal



**Figure 7.16** Regional metamorphism occurs where rocks are squeezed between two converging plates during mountain building.

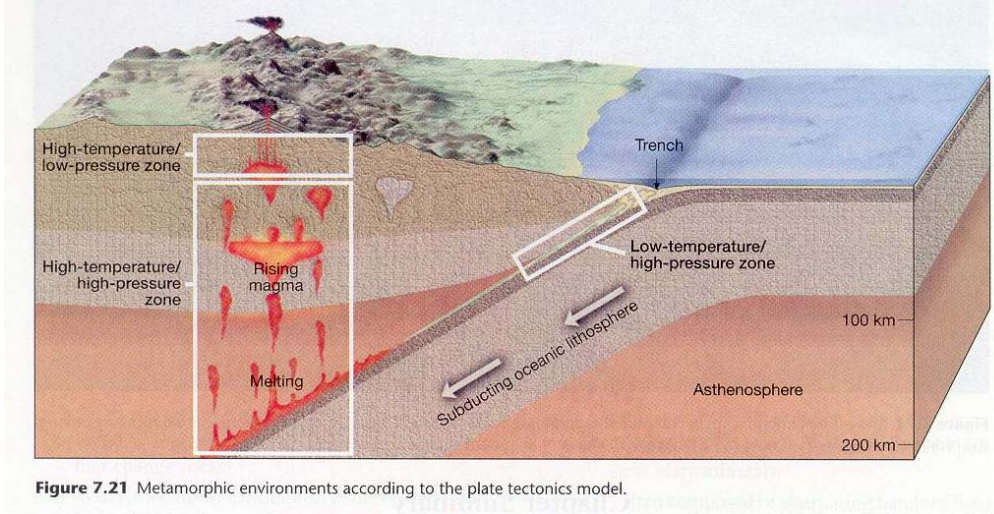


Figure 7.21 Metamorphic environments according to the plate tectonics model.

bloklar  
dağlar  
oluşturacak  
şekilde  
çarşırlar.  
Bu  
yerleşimlerde  
sıkıştırma  
kuvvetleri  
yakınlaşan  
levhaları  
sıkıştırarak

kenarlarını deforme eder. Dünyanın önemli dağ zincirlerinin çoğu, Alpler, Himalayalar, Appalaşlar bu şekilde oluşmuştur. Bu dağ zincirlerinin hepsi iki yakınlaşan levha arasında sıkışmış, (değişik derecelerde) deformasyona ve metamorfizmaya uğramış kayalardan ibarettirler.

Büyük ölçüklü metamorfizma okyanusal levhanın mantoya daldığı yitim zonları boyunca da oluşur. Altteki şeklin ayrıntılı incelenmesi bu tür levha sınırları boyunca birkaç metamorfik ortamın bulunduğunu gösterir. Hendeğin yakınında soğuk okyanusal litosfer dilimleri büyük derinliklere dalar. Litosfer daldıkça sedimanlar ve kabuk kayaları giderek daha fazla sıcaklık ve basınca maruz kalırlar. Fakat levhanın içi soğuk kalır, çünkü kayaç kötü bir ısı iletkenidir. Bu yüksek basınç ve düşük sıcaklık ortamında oluşan kayaç *mavişist* adını alır. Çünkü bir tür mavi renkli amfibol olan glokofanı bol miktarda içerir. KB Anadolu'da Balıkesir ile Eskişehir doğusunda uzanan kayalar bu türdür.

Yitim zonları aynı zamanda önemli magma üretim yerleridir. Bu sebepten yüzeye yakın alanlarda, hendeğin kara tarafına doğru magmatik kütlelerin sokulumuyla ilişkili metamorfizma yaygındır.

# BÖLÜM-6

## JEOLojİK ZAMAN





Bugün hemen her jeologun çalışma odasını renklendiren, her stratigrafi ders kitabının vazgeçilmez bir sayfası yada eki olan *Jeolojik Zaman Çizelgesi*'nin oluşturulması süreci aynı zamanda jeolojinin doğuşuna karşılık gelen hayli ilginç bir stratigrafi macerasıdır.

Kronostratigrafik birimlerin sistematik olarak isimlendirilmeye başlanması, Britanya coğrafyasının William Smith tarafından 1815 yılında tamamlanıp elle boyanan jeolojik haritalarından sonra ortaya çıkmıştır. İlk isimlendirilen periyotlar, doğal olarak en belirgin litolojilerden oluşmuşlardır ki bunlar çalışmaların başladığı kuzey Britanya'da kömürlü birimler ve kuzeybatı Avrupa'da tebeşirlerdir. Bunlardan ilki W. D. Conybeare ve W. Philips tarafından 1822 yılında karbon devri anlamında Karbonifer (Carboniferous) ve ikincisi Belçikalı araştırmacı J. J. d'Omalius d'Halloy tarafından yine 1822 yılında Latince Creta (tebeşir) sözcüğünden türetilerek Kretase (Cretaceous) olarak isimlendirilmiştir.

Paleozoyik'in en alttan üç periyodunun isimlendirilmesi Britiş jeologları Murchison ve Sedgwick tarafından 1835'te, daha önce Smith tarafından haritalanan Devonshire, Cornwall Wales'ta gerçekleştirilmiştir. Bunlardan Devonyen ismi, Devon kasabasından, Kambriyen ismi bugün Wales olan yerin Latince adından (Cambria) , Siluriyen ve Ordovisyen isimleri ise Romalılara karşı savaşmış yerli kabilelerin (Silures ve Ordovicii) isimlerinden kaynaklanıyor. Kabile isimlerinden kökenlenen tek jeolojik zaman bu ikisi değildir. Teksas'da Alt Kretase'yi ithafen kullanılan Komançeyen (Comanchean) Avrupalı istilacılara kafa tutmuş Komançi Kızılderililerine izafeten kullanılmıştır. Büyük Britanya'da kronostratigrafik isimlendirilmelerle ünlenen Murchison, daha sonra Rus çarı tarafından da davet edilmiştir. Murchison Rusya'dan Britanya kömürlü istiflerinin korelanı olan Permiyen sistemini Perm şehrine izafeten türetmiştir.

Hemen hemen aynı zamanlarda Mesozoyik dönemine ilişkin bütün isimlendirmeler Batı Avrupa'dan türetilmiştir. Von Alberti, 1834'te Almanya'daki çalışmalarıyla tipik olarak üç bölümden oluştuğunu saptadığı (bunlar altta kırmızı karasal çökeller, ortada karbonat kayaçlar ve en üstte kırmızı şeyler) birime “üç” sözcüğünün Latince kökünden türetilen Triyas adını vermiştir. Jura devri, çok daha önce 1799'da ünlü Alman coğrafyacısı Alexander von Humboldt tarafından kuzey İsviçre'deki Jura dağlarında gözlenen karbonat kayaçlar için kullanılmıştı.

Senozoyik'te farklı zamanlarda 2 devir ayrılmıştır. G. Ardinia, henüz 1760'ta İtalya'da farklı tipteki dağların istifi için Tersiyer sözcüğünü önermiştir. Kuvaterner sözcüğü daha sonra J. Desnoyer tarafından kullanılmıştır. Bunlar daha sonraları Fransız literatüründe sırasıyla 3. ve 4. zaman olarak kullanılmıştır.

Tersiyer'in ana bölümlere ayrılma önerisi Charles Lyell tarafından 1833 tarihli “Jeoloji'nin Prensipleri “ adlı kitabında önerilmiştir. Bu alt bölümler yeni pliyosen, eski Pliyosen, Miyosen ve Eosen'dir. Pliyosen, Latince “büyük ölçüde güncel”(major recent) anlamına gelen bir kökten türetilmiştir. Nedeni de bu birim içindeki omurgasız fosillerin çoğunlukla %50 oranında güncel faunaya benzemesidir. Miyosen, daha az güncel (minor recent) anlamındaki Latince kökten türetiliyor, Miyosen birimleri içerisinde omurgasız fosillerin güncellerle pek az ortaklığı bulunuyor. Eosen yunanca, “güncelin şafağı (başlangıcı) anlamındaki Latince bir sözcükten geliyor. burada rastlanan omurgasız fosillerin çok çok azı bugün güncel formlara sahiptir.

Çok sonraları 1854'te E. Beyrich, Lyell'in Miyosen ve Eosen'inin arasına Oligosen'i (Oligo (lat.) yok, eksik anlamında bir kök) ve 1874'te Schimper Palosen'i (Paleo:eski, yaşlı köklerinden) öneriyor.

1846'da Edward Forbes Lyell'in yeni Pliyosen'i yerine Pleyistone 'i öneriyor, ve bu Lyell tarafından da uygun görülüyor.

Holosen (holo-tamamı, hepsi; ve kainos; güncel sözcüklerinden türeme) sözcüğü çok sonraları, son kıtasal buzulların çekilmesinden bu yana geçen zaman için kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde kullanılan standart bir Jeolojik zaman çizelgesi Şekil 14'te gösterilmiştir.

### Jeolojik Zamanın Kavranmasında Biyostratigrafi

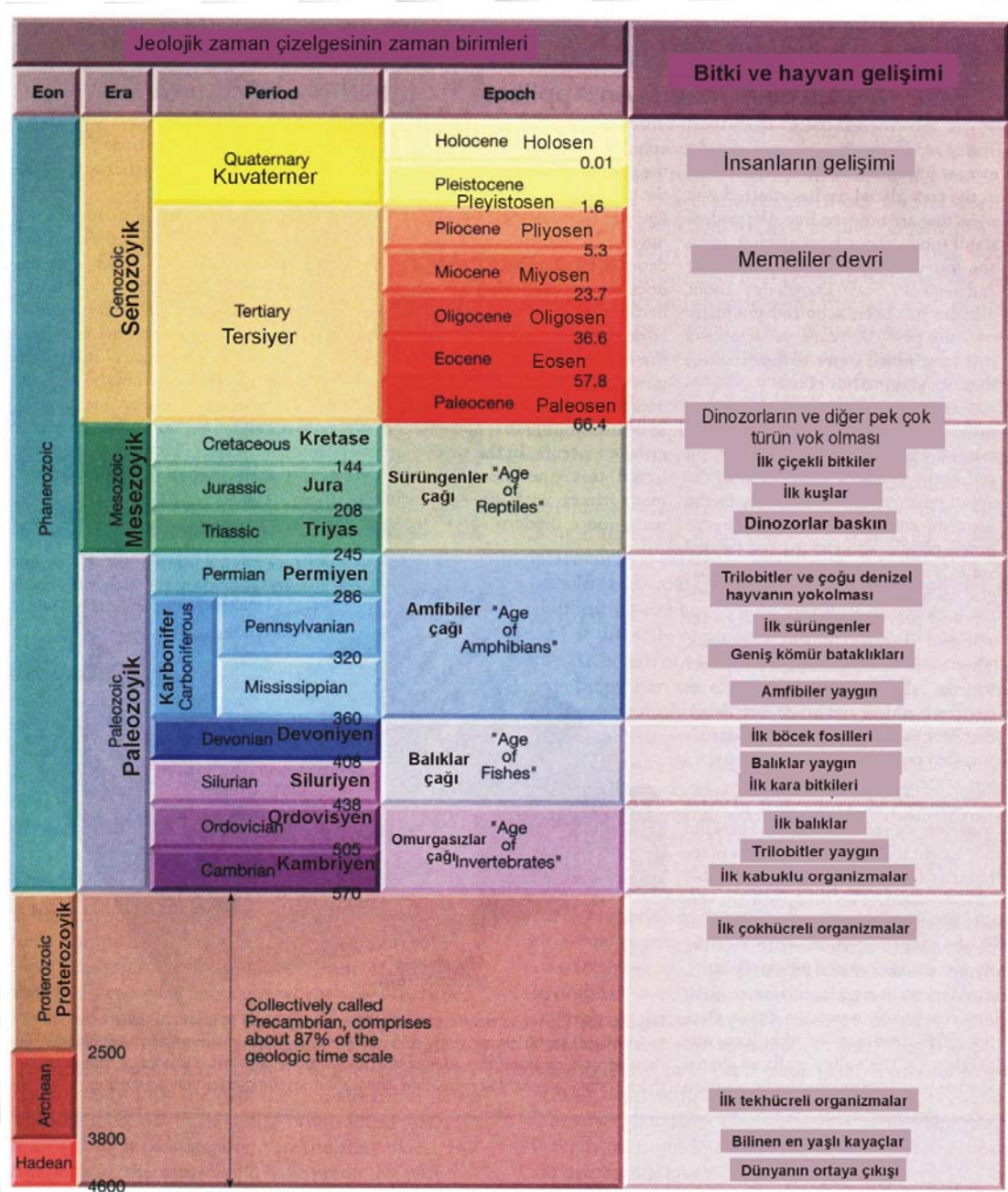
Stratigrafik kayıt, başlangıçta tamamen kaya türü temelinde üstteki gibi ayırtlanırsa, bu çalışmaların sayısının artmasıyla birlikte Sistem'lerin de alt birimlerine ayrılabilirliği sorgulanmaya başlandı. Bu kavram, aynı zamanda biyostratigrafinin gelişmesinde çok önemli rol oynamış Alcide Dessalines d'Orbigny (1802-1857) 'in çalışmalarından doğmuştur (Şekil 15).

D'Orbigny, jeolojik kaydı 6 an birime ayırıyor, ve bu ana birimler (sistem) içinde 28 evre ayırıyor. Araştırmacının bu bölümlenmesi, onun aynı zamanda Jura faunası üzerinde (bunu 10 evreye bölüyor) ne denli kapsamlı bilgi birikimine de sahip olduğunu gösteriyor. Ancak, bugünkü bilgilerimiz çerçevesinde d'Orbigny'in bu bölümlenmesi ardındaki felsefeye baktığımızda onun inanç sisteminden kaynaklanan ciddi hataları görüyoruz.

D'Orbigny, "Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphiques" adlı kitabında "...dünyanın jeoloji zamanları boyunca biri diğerini izleyen evrelerdeki faunalar birbirlerinden tamamen farklıdır, bir evreden diğerine hiçbir geçiş faunası olmaksızın geçiliverir, yani evreler birbirlerinde ani yıkımlarla

Rock Units	Stages
Contemporary	28. Contemporary or present epoch
	27. Subapennine
Tertiary	26. Falunian { Upper Falunian Lower Falunian or Tongrian
	25. Parisian
	24. Suessonian
	23. Danian
	22. Senonian
	21. Turonian
Cretaceous	20. Cenomanian
	19. Albian
	18. Aptian
	17. Neocomian
	16. Portlandian
	15. Kimmeridgian
	14. Corallian
	13. Oxfordian
Jurassic	12. Callovian
	11. Bathonian
	10. Bajocian
	9. Toarcian
	8. Liasian (Liasic)
	7. Sinemurian
Triassic	6. Saliferian
	5. Conchylia
	4. Permian
	3. Carboniferous
Paleozoic	2. Devonian
	1. Silurian { Upper Silurian or Murchisonian Lower Silurian

Figure 13.1. Classification of Rock Units by A. D. d'Orbigny (From Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphiques (Paris: Victor Masson, 1849-1852), 1:263).



**Figure 1.7** The geologic time scale. Numbers on the time scale represent time in millions of years before the present. These dates were added long after the time scale had been established using relative dating techniques. The Precambrian accounts for more than 85 percent of geologic time. (Data from Geological Society of America)

Şekil 14: Standart bir Jeolojik Zaman Çizelgesi



ayrılmışlardır” demektedir. Gerçi bu fikirler yeni değildir. Daha önce Cuvier de ani yıkım kuramını, paleontolojik verilere dayanarak ortaya atmıştı. Bu fikir, Elie de Beumont’un “her seferinde dağ silsileleri yükselip su üstüne çıkıyor, böylece bu ani su hareketleri sırasında faunanın tamamı yok oluyor” düşüncesine de yakındı. D’Orbigny yokoluşlar ve izleyen toplam 28 yeniden ortaya çıkışın gizemli çözümü olarak sonunda “ardıl yaradılışlar” kuramında karar kıldı. Kuşkusuz bu hem yaradılışçıları hem de inanmazları rahatsız etti. Hristiyanlığın kitabında böyle defalarca yaratma bulunmuyordu, hele sonra ortaya çıkanın ilkinden daha yetkin oluşu insanın nihai yaratık olmayabileceği gibi bir sonuca çıkıyordu ki bu kabul edilemezdi. İnanmazların nedeni ise çok daha geçerliydi; inanç ve bilim çok ayrı düzlemlerdi.

D’orbigny’in ölümünden iki yıl sonra Darwin’in evrim teorisi ile birlikte faunal ardılık problemi çözüme kavuştu. Ancak, bugünden bakıldığında gözükten bu çözüm o günkü bilimsel/toplumsal ortamı büsbütün karıştırdı. Darwin, D’orbiyn’in belirttiği gibi faunal formların sıçramalı olmadığını, tersine aralarında dereceli geçişler (gradualism) bulunduğunu söylüyordu. Bu fikir paleontologlara da yabancıydı, çünkü o zamana kadar paleontologlar bunu verilerle ortaya koymamıştı. Transformism adı verilen bu Darwinci anlayışın ortaya çıkmasıyla birlikte yapılan araştırmalar zamanla farklı evrelerin formları arasındaki akrabalıkları ve bazen de evreler boyunca değişmeden kalan faunaları (yaşayan fosiller) ortaya çıkardı.

Yavaş yavaş evrimleşen (ya da hiç evrim göstermeyen) fosil gurupları bugünkü ortamsal koşulları geriye doğru uzatma olanağı sağladıklarından giderek önem kazanmaya başladı ve buradan paleontolojik fasiyes kavramı ortaya çıktı. Bu kavram, ilk kez 1836 başlarında Amanz Gressly tarafından iki farklı durum için kullanıldı. Bunlardan ilki herhangi bir kaya biriminin verili bir petrografik özelliği işaret etmek üzere (buna litofasiyes deniyor) , ikincisi de bu kaya türünün sahip olduğu paleontolojik topluluk (biyofasiyes) idi.

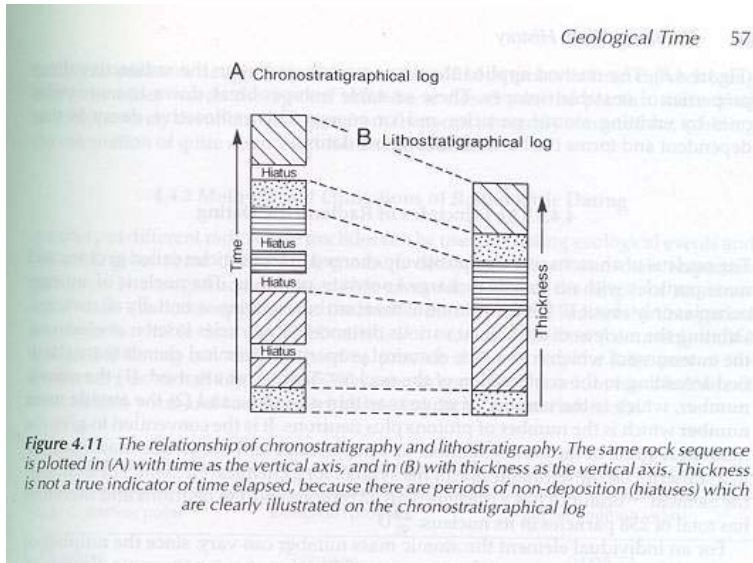
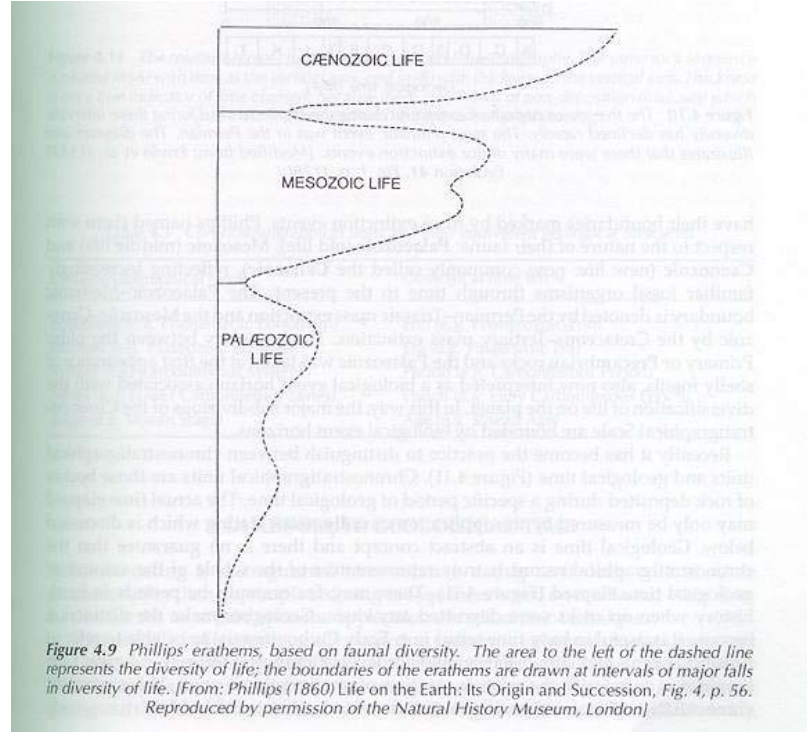
Öte yandan bazı güncel faunaların spesifik bazı ortamlarda yaşamalarına bakılarak, iki ana fosil türü ayırtlanır. Bunlardan indeks fosiller, hızla evrimleşen ve geniş alanlara yayılan, kayaçların yaşlandırılması için kullanışlı türleri, ender olarak cinsleri içerir. Fasiyes fosiller, sınırlı bir ortamda yaşayan ve geçmiş paleocoğrafyayı kurgulamakta kullanılan cins veya genus için kullanılmıştır. Aslında fasiyes fosil kavramı 1695’lere kadar geriye gider. Woodward, pelajik ve litoral formları ayırmış, bu bölümlenme sonradan Lavoisier ve Rouelle tarafından da kullanılmıştır.

## **KRONOSTRATİGRAFİ CETVELİ**

Stratigrafinin önemli nihai amaçlarından biri jeolojik birimler için global standart bir zamandizini (kronoloji) inşa etmektir. Verilen bir alandaki kayaçları bu global ölçekle denestirmek mümkün olmalıdır. Öylesine ki bir jeologdünyanın neresinde çalışıyor olursa olsun bu kayaçları dünya tarihi içinde bir yere koyabilsin. Bu global ölçek kronostratigrafi ölçeği olarak bilinir ve oluşumu pek çok jeoloğun emeğiyle olmuştur. Kronostratigrafi ölçeği (veya çizelgesi) kronostratigrafi birimlerinden oluşur. Kronostratigrafi birimleri belirli jeolojik zaman dilimlerinde oluşmuş kayaç kütleleridir. Kronostratigrafi birimlerinin sınırları zaman ilişkilidir, yani bütün yerküreyi aynı zaman boyunca katederler.

Kronostratigrafi birimlerine , bazen onları kaya-stratigrafi birimlerinden ayırmak için zaman stratigrafi birimleri adı da verilir. Kronostratigrafi birimleri bütün stratigrafi bilgisinin depolandığı bir alandır. Kronostratigrafi cetveli, jeologların bir yerlerde çalışırken gözlemedikleri kendi kaya istiflerini dengeştirebilecekleri bir standarttır. Cetvelin önemli bir kısmı son 150 yıl içinde geliştirilmiştir ve bir dizi sistemden ibarettir (Karbonifer Sistemi, riyas Sistemi gibi). Her bir sistem aynı zaman aralığında oluşmuş kayalardan oluşur. Sistemler başlangıçta genel litolojik benzerliklerine

dayanarak belirlenmiştir. Ancak, çoğu fosil içeriği temelinde tanımlanırlar. Çoğu kronostratigrafi birim sınırı biyostratigrafi kullanılarak tanımlanır. Diğer bazı teknikler de giderek daha sık kullanılmaktadır. Bütün



Şekil 19: Kronostratigrafi ile litostratigrafinin ilişkisi. Aynı kaya istifi A kolonunda düşey eksen zaman olarak, B'de düşey eksen kalınlık olarak işaretlenmiştir.

Kronostratigrafi birimlerinin mevcut olduğu dünyada bir lokalite bulunmadığından, tek tek sınırlar dünyanın değişik yerlerindeki stratotip kesitler üzerinden tanımlanır.

Sistemler, eratem olarak bilinen daha büyük birimler olarak gruplanır. Bunlar da faunal değişikliklere göre tanımlanır.

John Phillips (1800-1874) – William Smith'in yeğeni-fosilleri içeren jeolojik kaydı fauna değişimlerini dikkate alarak üç alt bölüme ayırmıştır (Şekil 18). Bu eratemlerin

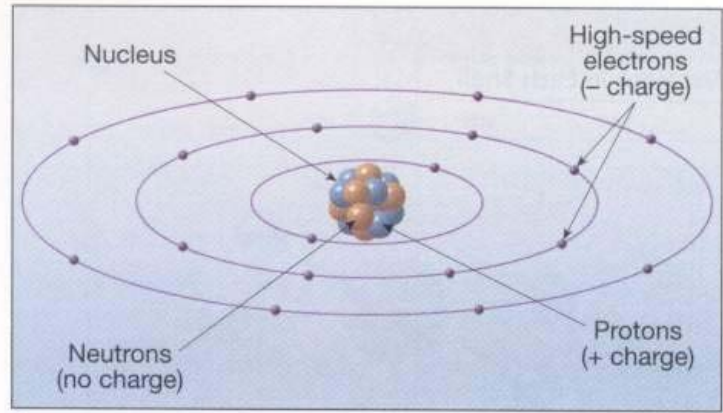
sınırları kitlesel canlı yokoluş olayları ile belirlenir. Phillips, onları faunalarına göre Paleozoyik (eski yaşam), Mesozoyik (orta yaşam) ve Kanezoyik (ya da Senozoyik; yeni yaşam) olarak isimlendirmiştir. Eskilikte bu günkü canlılara benzemezlik ölçü olarak alınmıştır.

Günümüzde Kronostratigrafi birimleri ile jeolojik zamanı birbirinden ayırmak olağan bir uygulama haline gelmiştir. Kronostratigrafi birimi, belirli bir jeolojik zaman diliminde oluşan kayaç kütleleri için kullanılan bir kavramdır. Geçen zamanın miktarı ise radyometrik yaşlandırma uygulamaları ile ortaya çıkarılabilir. Jeolojik zaman soyut bir kavramdır ve kronostratigrafik kaydın geçen jeolojik zamanın tamamını içerdiğini garanti edemeyiz. Yer tarihinde çökmenin gerçekleşmediği zaman dilimleri mevcuttur (Şekil 19).

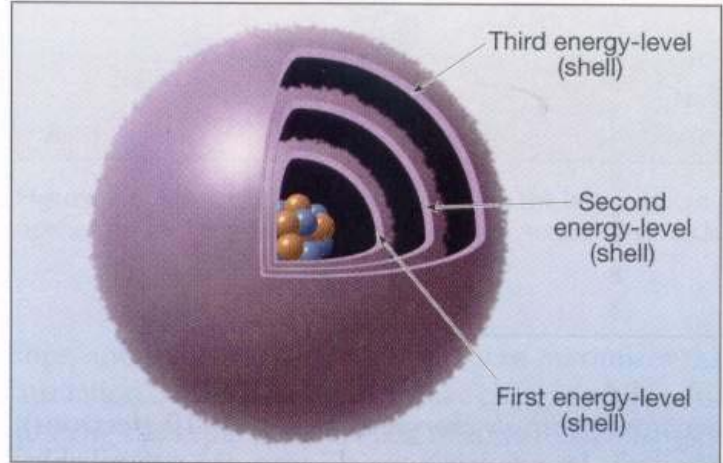
### Mutlak Jeolojik Yaş

Mutlak yaşlandırma bağıl yaşlandırmadan fosil veya başka verilere göre basit istif düzenlenmesinden ziyade rakamlarla ilgilendiği için farklıdır. Çoğunlukla radyometrik tekniklerin uygulanmasına dayanır.

Kayaçları yaşlandırmada doğal olarak oluşmuş radyoaktif elementlerin kullanılabilirliği 20yy. başlarında fizikçi Lord Rutherford tarafından ileri sürüldü. Arthur Holmes, radyometrik yaşlandırmaya dayalı jeolojik zaman cetveli inşa eden ilk jeolog idi. Uygulanan yöntem, duraysız izotopların radyoaktif bozunmasına dayanır. Bu duraysız/karasız izotoplar atomik partiküller veya enerji yayarak daha kararlı izotoplara dönüşürler. Bu radyoaktif bozunma zaman bağımlıdır ve radyometrik yaşlandırmanın temelini oluşturur.



A.



B.

**Figure 2.4** Two models of the atom. **A.** A very simplified view of the atom, which consists of a central nucleus, consisting of protons and neutrons, encircled by high-speed electrons. **B.** Another model of the atoms showing spherically shaped electron clouds (energy level shells). Note that these models are not drawn to scale. Electrons are minuscule in size compared to protons and neutrons, and the relative space between the nucleus and electron shells is much greater than illustrated.



### ***Radyoaktif yaşlandırma ilkeleri***

Temel atomik yapıyı gösteren iki model Şekil 20'de veriliyor. Atom, çekirdek denen bir merkezi bölgeye sahiptir. Bu bölge içinde proton (bunlar pozitif elektrikle yüklüdür) ve aynı yoğunlukta nötronlar (bunlar yüksüzdürler) bulunur. Çekirdeği, elektron adı verilen hafif partikül çevreler. Bunlar negatif yüklüdür ve çok hızlı hareket ederler. Kolaylık açısından atomlar, tıpkı merkezde güneş ve onun çevresindeki yörüngelerde gezegenler gibi, merkezde çekirdek ve çevresindeki yörüngelerde dolaşan elektronlar şeklinde gösterilir. Ancak elektronların dönüşü gezegenlerinkine benzemez. Yüksek hızları yüzünden elektronlar çekirdek çevresinde enerji seviyeleri veya kabukları adı verilen negatif yüklü zonlar oluştururlar. Bu yüzden bir atomu, Şekil 20' de olduğu gibi çekirdek çevresinde hızla dönen bulut benzeri elektronları içeren bir kütle olarak hayal etmek daha doğrudur. Atom çekirdeğinde bulunan protonların sayısı *atom numarasını* ve *atomun adını* beliler. Örneğin altı protonu olan bütün atomlar karbon atomlarıdır , 8 protonu olanlar da oksijen atomu. Atomlar eşit miktarda proton ve elektron içerdiklerinden atom numarası, çekirdek çevresinde dolaşan atomların sayısını verir, yani atomlar elektriksel olarak nötraldirler. En hafif element olan hidrojen çekirdeğinde bir protonu ve onun çevresinde dönen bir elektronu içerir. Peryodik cetvelde ardarda sıralanan her bir atomun bir fazla proton ve bir fazla elektronu, ve değişen sayıda nötronu bulunur. Elektron konfigürasyonu çalışmaları her bir elektronun sistematik bir şekilde özel bir enerji seviyesine eklendiğini gösteriyor. İlk temel seviye en çok iki elektron, sonrakiler 8 veya daha fazla elektron tutarlar. Daha sonra göreceğimiz gibi genellikle en dış elektronlar (bunlara değerlik elektronları da denir) kimyasal bağlanmaya katılır.

Eldeki bir elementin atom ağırlığı, çekirdekdeki nötronlar her zaman sabit kalmadığından, değişebilir. Aynı proton sayısına sahip ancak farklı sayıda nötron bulunduran atomlara izotop denir. Örneğin Oksijenin iki izotopu vardır. İkisinin de 8 protonu olmasına karşın birisinin 8 diğerrinin 10 nötronu bulunur. Bir elementin her izotopuna nüklit denir. Hepsisi değil, ama bazı izotoplar kararsızdır; zamanla karalı hale gelmek için emisyon yayarlar, ya da tersine elektromanyetik radyasyonu ve atomik partikülleri tutarlar. Buna radyoaktif bozunma adı verilir. Radyoaktif bozunmada orijinal izotop ebeveyn nüklit (parant nuclide) ve bozunma ürünü de yavru izotop (daughter nuclide) adını alır. Bu sürecin jeoloji açısından önemi bu bozunmanın zaman grafiğinin üssel olması ve zaman bağımlı olmasıdır. Bozunmanın zaman ölçeği çoğunlukla nüklidin *yarılanma ömrüyle* ifade edilir. Bu, belli sayıdaki ebeveyn nüklidin sayısının yarıya inmesi için gerekli olan zamandır.

Bu ilkeler dahilinde şu veriler sağlandığı sürece, özel bir radyoaktif nüklitten bir mutlak radyoaktif yaş elde etmek mümkündür. 1) Ebeveyn nüklidin günümüzdeki oranı, 2) Yavru nüklidin günümüzdeki oranı, 3) Yarılanma ömrü. Bunlara ek olarak yüksek oranda hassas yaşların elde edilebilmesi için şu koşullar da yerine gelmelidir. a) Bir radyoaktif nüklit oluştuğunda ya da kayaca girdiğinde radyoaktif olmayan nüklitlerin hiçbiri bulunmamalıdır. b) Yaşı belirlenecek kayacıkta hiçbir ebeveyn veya yavru nüklit ekleme çıkarması olmamalıdır. Yani sistem kapalı olmalıdır. Pratikte bu ideal koşullar ender olarak karşılanır; sapmalar için sonucu doğruya yaklaştıracak bazı düzeltmeler yapılır.

### Radyoaktif yaşlandırma yöntemleri ve sınırlılıkları

Jeolojik olayların yaşlandırılması için çok çeşitli radyoaktif nükleitler kullanılabilir. Şekil 21, en yaygın bozunma serilerinden bazılarını ve yarılanma ömürlerini göstermektedir. Yarılanma ömrünün büyüklüğü yöntemin uygunlukla kullanılabilmesi zaman uzunluğu hakkında bir fikir vermektedir. Yarılanma ömrü ne kadar kısa ise o yöntemle güvenilir olarak ölçülecek yaş o kadar kısadır. Örneğin  $^{14}\text{C}$  (karbon 14 diye okunur) yalnızca

**Table 4.2** A selection of radioactive reactions used in dating the geological record

Parent: starting point	Daughter: product	Half-life (million years)
$^{14}\text{C}$ Carbon	$^{14}\text{N}$ Nitrogen	0.005 73
$^{87}\text{Rb}$ Rubidium	$^{87}\text{Sr}$ Strontium	48 000
$^{40}\text{K}$ Potassium	$^{40}\text{Ar}$ Argon	11 930
$^{232}\text{Th}$ Thorium	$^{208}\text{Pb}$ Lead	14 000
$^{235}\text{U}$ Uranium	$^{207}\text{Pb}$ Lead	704
$^{238}\text{U}$ Uranium	$^{206}\text{Pb}$ Lead	4 469
$^{147}\text{Sm}$ Samarium	$^{143}\text{Nd}$ Neodymium	106 000

Kuvaterner'in son dönemi için (50.000 yıl) uygun yaşlar verir. Buna karşın  $^{238}\text{U}$  Prekambriyen kayaçlarının yaşlandırılmasında kullanılabilir. Radyoaktif yaşlandırmanın bir sınırlılığı onun neredeyse yalnız kristalin kayaçlara (magmatik ve metamorfik) uygulanabilir olmasıdır. Bu kayaçlar büyük ölçüde kapalı sistemlerdir. Radyoaktif saat, kristallenme ile birlikte çalışmaya başlamıştır. Sedimanter kayaçlardan elde edilecek yaşlar ise yalnızca kaynak kayaçların yaşını verecektir.  $^{14}\text{C}$  yaşlandırması sedimanlardaki organik maddelerin yaşlandırılmasında kullanılır. Duraysız  $^{14}\text{C}$  nüklidi, atmosferin üst tabakalarında  $^{14}\text{N}$ 'ün kozmik ışınlarla bombardımanı sayesinde oluşur. Bu radyoaktif karbon, atmosferden hidrosfer ve biyosfere uzanır. Bir kez sedimanlarda organik madde şeklinde hapsedildikten sonra kapalı bir sistemdeymiş gibi davranır, ve saat çalışmaya başlar.

Metamorfik kayaçların minerallerinin radyometrik yaşlandırması metamorfik olayların yaşının belirlenmesinde kullanılabilir. Başkalaşmış magmatik kayaçlar ayrıca ilksel kristallenme yaşını da verebilirler.